

00566



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

**ESTUDIO DEL USO DE MODELOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA
CORRELACIONAR CARACTERISTICAS SENSORIALES Y DE TEXTURA DE
MASAS Y TORTILLAS ELABORADAS CON HARINA DE MAIZ
EXTRUDIDAS ALCALINAMENTE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRIA EN CIENCIA DE
ALIMENTOS (INGENIERIA)
P R E S E N T A
SALVADOR ALEJANDRO SANCHEZ TOVAR



México, D.F. 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE

Pag

RECONOCIMIENTOS

Resumen/Abstract

I.	FUNDAMENTACION	1
I.1	EL MAIZ, GELATINIZACION DE SUS ALMIDONES	3
I.2	LA NIXTAMALIZACION	5
I.3	LA EXTRUSION	9
I.3.1	Generalidades	9
I.3.2	Extrusión de granos	12
I.3.3	Tipos de extrusores	17
I.4	REOLOGIA DE LA EXTRUSION DE MASAS	18
II.	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	22
II.1	HIPOTESIS	22
II.2	OBJETIVOS	22
III.	MATERIALES Y METODOS	23
III.1.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	23
III.2.	MATERIALES Y METODOLOGIAS	25
III.2.1	Materiales	25
III.2.2	Determinación de parámetros fisicoquímicos	25
III.2.3	Determinación de parámetros reológicos	27
III.2.3.1	Descripción del viscosímetro Brookfield	28
III.2.3.2	Descripción del viscoamilógrafo Brabender	31
III.2.4	Descripción del texturómetro Instron	32

	Pag
III.2.5	Descripción del texturómetro Brabender Structograph32
III.2.6	Otras pruebas33
III.2.7	Nixtamalización de los granos.....33
III.2.8	Extrusión de los granos.....37
III.3	EQUIPO.....37
III.4	ANALISIS ESTADISTICOS.....38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....40
IV.1	CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA.....40
IV.2	ANALISIS BROMATOLOGICO DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS...42
IV.3	ANALISIS ESTADISTICOS GENERALES51
IV.4	EXPERIMENTOS REALIZADOS EN EL VISCOSIMETRO Brookfield.....58
IV.4.1	Análisis reológicos de suspensiones de harina extrudida.....58
IV.4.2	Análisis estadístico del experimento.....59
IV.4.3	Análisis reológicos de suspensiones de harina extrudida al 5% en base seca tratadas térmicamente (atoles).....66
IV.4.4	Análisis estadístico del experimento.....74
IV.5	ANALISIS DE COMPRESION DE MASAS USANDO EL TEXTUROMETRO UNIVERSAL INSTRON.....76
IV.5.1	Análisis de compresión de masas elaboradas con harinas extrudidas de maíces blanco y amarillo.....76
IV.5.2	Análisis estadístico de compresión de masas elaboradas con harinas de maíz blanco.....76
IV.5.3	Análisis estadístico de compresión de masas elaboradas con harinas de maíz amarillo.....77
IV.6	ANALISIS DE LA PENETRACION DE TORTILLAS UTILIZANDO EL TEXTUROMETRO UNIVERSAL INSTRON.....78
IV.6.1	Análisis estadístico para las pruebas en tortillas elaboradas con harina de maíz blanco.....78

IV.6.2	Análisis estadístico para las pruebas en tortillas elaboradas con harina de maíz amarillo.....	79
IV.7	ANALISIS DE COMPRESION DE MASAS EN EL TEXTUROMETRO Brabender (Struct-o-graph).....	80
IV.7.1	Análisis estadístico para masas de maíz blanco.....	81
IV.7.2	Análisis estadístico para masas de maíz amarillo.....	81
IV.8	DETERMINACION DE LA VARIACION DEL INDICE DE ABSORCION DE AGUA.....	82
IV.8.1	Análisis estadístico de la variación del índice de absorción de agua para harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz blanco.....	83
IV.8.2	Análisis estadístico de la variación del índice de absorción de agua para harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz amarillo.....	83
IV.9	VARIACION DEL INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA.....	84
IV.9.1	Análisis estadístico de la variación del índice de solubilidad en agua para harinas de maíz blanco.....	85
IV.9.2	Análisis estadístico de la variación del índice de solubilidad en agua para harinas de maíz amarillo.....	85
IV.10	DETERMINACIONES FINALES.....	86
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
V.1	CONCLUSIONES.....	98
V.2	RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFIA.....	101
	APENDICE A. METODOS ANALITICOS.....	106
A.1	Humedad absoluta.....	106
A.2	Cenizas.....	106
A.3	Extracto etéreo.....	107
A.4	Proteína.....	107

	Pag
A.5 Determinación de triptofano.....	108
A.6 Determinación de lisina.....	111
A.7 Determinación de azúcares reductores.....	114
A.8 Grosor del pericarpio.....	116
A.9 Peso de 1000 granos.....	116
A.10 Peso hectolítrico.....	116
A.11 Densidad aparente.....	117
A.12 Determinación del porcentaje de impurezas.....	118
A.13 Determinación de color.....	118
A.14 Determinación de los índices de solubilidad en agua (ISA) y de absorción de agua (IAA).....	118
A.15 Determinaciones con en texturómetro universal Instron...	119
A.16 Determinaciones con el viscosímetro Brookfield.....	120
A.17 Determinaciones en el texturómetro Brabender.....	120
APENDICE B. DATOS EXPERIMENTALES.....	122
APENDICE C. DATOS COMPLEMENTARIOS.....	180
APENDICE D. TABLAS ESTADISTICAS.....	185
D.1 Tablas de "t student".....	186
D.2 Tablas de "distribución F" (95 ésimos)....	187
D.3 Tablas de "distribución F" (99 ésimos)....	188

RECONOCIMIENTOS

Este proyecto se realizó con fondos de la Facultad de Química de la UNAM. Se tuvo el apoyo técnico de la QFB Hilda Elizabeth Calderón Villagómez, técnico académico responsable de la extrusión y procesamiento de granos y semillas del Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, para todas las pruebas de extrusión, para la operación del texturómetro Brabender y para los análisis químicos. Se contó con el apoyo académico del Dr. Alfredo Salazar Zazueta y la M. en C. Gricelda Vázquez del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de la SARH, así como del uso de sus equipos (texturómetro universal Instron y viscoamilógrafo Brabender). También se contó con el apoyo técnico del Ing. A. Castillo del Departamento de Industrias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chapingo, para las pruebas con el texturómetro universal Instron. El equipo de extrusión fue adquirido con fondos del proyecto Conacyt clave PCCBBNA-020395 y el texturómetro Brabender y el alimentador para el extrusor fueron adquiridos con fondos de los proyectos OEA bienio 1986-87 "Industrialización del maíz para consumo humano" y OEA bienio 1988-89 "Industrialización del maíz y sorgo para consumo humano".

RECONOCIMIENTOS ESPECIALES

Los autores desean agradecer a los Dres. Baltazar Mena, Andrés Iruegas y Alfredo Salazar, así como a los M. en C. Zoila Nieto y Héctor Cejudo por su valiosa revisión del mecanoscrito. Su apoyo académico es grandemente reconocido.

Asimismo, desean agradecer a los miembros del Departamento de Alimentos y Biotecnología, especialmente a los estudiantes de licenciatura y posgrado, que apoyaron este esfuerzo. Entre ellos destacan Jimmy Arnaldo Cañipa y Roberto Pérez Ramírez. También se tuvo el apoyo del Pas. D.I. Miguel Rangel Silva.

También se da aquí el debido reconocimiento al personal administrativo de la Facultad de Química, en especial al Ing. Héctor Serrano por su apoyo en las reparaciones y puesta a punto del extrusor, al Sr. Filiberto Chávez, por su apoyo en la transportación de materias primas y documentos, a la Srita. María Eugenia Ríos Andrade por el trabajo gráfico y, especialmente, a la Lic. Yoselinda Monsalvo, secretaria administrativa, por su apoyo para las tareas administrativas inherentes a cualquier proyecto de investigación.

Uno de los autores recibió becas, tanto del Banco de México, como del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por lo que se agradece dicho apoyo.

Finalmente, los autores reconocen al Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental por el apoyo logístico para esta publicación en su serie de Tecnologías Limpias.

**ESTUDIO DEL USO DE MODELOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA
CORRELACIONAR CARACTERISTICAS SENSORIALES Y DE TEXTURA DE MASAS Y
TORTILLAS ELABORADAS CON HARINAS DE MAIZ EXTRUDIDAS ALCALINAMENTE**

RESUMEN

La extrusión alcalina se ha propuesto para sustituir el cocimiento tradicional del maíz para producir tortillas, tanto a escala industrial como en molinos y familiar. En el presente estudio la temperatura de extrusión y la humedad inicial de la materia prima se emplearon para controlar las características reológicas y sensoriales, mediante un modelo de superficie de respuesta, de harinas de maíz extrudidas alcalinamente para producir harina precocida usada para preparar tortillas. El experimento se llevó a cabo en un extrusor de bajo costo construido en México (velocidad de giro de 450 rpm, relación L/D de 7, sin boquilla). La temperatura en la sección de extrusión se controló mediante resistencias (90, 105 y 120°C). Se emplearon harinas de dos variedades de maíz, uno blanco cristalino o "criollo" y uno amarillo comercial importado de los EEUUA. Las condiciones de proceso fueron: harinas con granulometría malla 40, adición de 0.2 g Ca(OH)_2 /100g de harina de maíz agregada, velocidad de alimentación de 50 kg/h. Las harinas se alimentaron a tres diferentes contenidos de humedad inicial (15, 20, y 25%, en b.s). Las harinas precocidas por extrusión alcalina y sus contrapartes nixtamalizadas tradicionalmente se caracterizaron empleando índices de absorción de agua y de solubilidad en agua, se evaluó la textura de las masas maleables producidas, determinando la resistencia a la penetración y los módulos de elasticidad en un texturómetro Brabender (Struct-o-graph) y en un texturómetro universal Instron. La evaluación del sabor, masticabilidad y enrollado de tortillas elaboradas con estas masas se llevó a cabo empleando una prueba escala hedónica. Los resultados obtenidos del modelo de superficie de respuesta indican que las condiciones de cocimiento óptimo para el maíz blanco están entre 24% y 119.5°C y 28% y 114°C y para el maíz amarillo entre 24% y 113°C y 28% y 103°C de humedad inicial y temperatura de extrusión, respectivamente. Con las condiciones antes determinadas se llevó a cabo otra serie de experimentos evaluando las masas formadas como las obtenidas con anterioridad, así como tortillas elaboradas con ellas. Los resultados muestran que los productos tienen un comportamiento reológico similar al de las masas obtenidas por el método tradicional y que no hay diferencia significativa entre ellas. En lo concerniente al sabor, masticabilidad y enrollado los jueces dieron una calificación más alta a las tortillas obtenidas mediante la extrusión alcalina que a sus contrapartes nixtamalizadas tradicionalmente.

USE OF RESPONSE SURFACE MODELS TO CORRELATE SENSORY AND TEXTURAL CHARACTERISTICS OF CORNDOUGHES AND TORTILLAS MADE OF ALKALINE EXTRUDED CORNMEALS

ABSTRACT

Alkaline extrusion has been proposed to substitute traditional lime-cooking of corn (*Zea mays*) for producing "tortillas", both at familiar mill level or industrial scale. Extrusion temperature and raw cornmeal moisture initial content were used to control the rheological and sensory characteristics, through a surface response model, of alkaline extruded cornmeals to produce precooked meals used for preparing Mexican "tortillas". A low-cost extruder built in Mexico was used in the experimental (rotational speed of 450 rpm, screw L/D of 7, and no die). Temperature in extrusion section was controlled with a set of electric resistances (90, 105, and 120°C). Raw cornmeal of two corn varieties, white crystalline "Criollo" and yellow commercial U.S. imported corn (40 mesh, 0.2 g Ca(OH)₂/100 g cornmeal added, 50 kg/h feed rate) was fed at three different values of initial moisture content (15, 20, and 25%, dry basis). Alkaline extruded precooked meals were characterized using water absorption and water solubility indices. Doughs were formed by tap water addition until a maleable dough was obtained. Its characterization was done by penetration resistance and modulus of elasticity determination in a Brabender texturometer (Structograph), and in an Instron Universal machine. "Tortillas" were prepared with the doughs and its characterization was done, like doughs, by penetration in a Brabender texturometer and an Instron Universal machine. Sensory tests were carried out by using scalar hedonic tests for flavor characteristics and orderly tests for mastication and rolling characteristics. Results from the surface response model indicate that, for white corn at 24% and 119.5°C, and at 28% and 11°C, for initial moisture content and extrusion temperature, and for yellow corn at 24% and 113°C, and 28% and 103°C, respectively, the best cooking conditions can be found. With these variables, a last set of extrusion experiments was carried out, and the extruded doughs were evaluated against its traditionally made counterpart. Results show that these products had a rheological behavior similar to that of the traditionally lime-cooked doughs and "tortillas" were not significantly different from its traditional counterparts. Concerning flavor, and mastication and rolling characteristics, the judges qualifications for extruded cornmeal "tortillas" were higher than for those given to the lime-cooked products.

I. FUNDAMENTACION

La agricultura representó la base económica y social de los primeros pobladores del continente americano ya que pasaron de ser nómadas a ser sedentarios. El maíz fue el principal cultivo de las culturas prehispánicas de América. Todas las culturas avanzadas de Mesoamérica incluyeron al maíz en su teología. Así, Centéotl fue la diosa azteca del maíz, la diosa maya del maíz fue Yum Kaxx e, inclusive el Popol Vuh, libro céntrico de la religión maya describe al hombre formado por los dioses con maíz (México Enciclopedia de, 1978).

En México se consumen una gran variedad de productos con base en el maíz: Tamales, atole, gorditas, tlacoyos, frituras, dulces como gelatinas o temblorosos, pan de maíz, fermentados alcohólicos como el teshuino y no alcohólicos como el pozol. Sin embargo, la forma más generalizada de consumo es la tortilla la cual se elabora por el método tradicional de nixtamalización (México Enciclopedia de, 1978).

En México el maíz se cultiva, tanto en zonas de riego como de temporal, siendo estas últimas las que mayoritariamente usa la población campesina para autoconsumo.

México ha sido en los últimos 50 años uno de los países con mayor crecimiento demográfico, donde la alimentación de la mayoría de su población es con base en las tortillas. Esta constituye una fuente energética e incluso proteínica en la dieta de los sectores más desfavorecidos y, obviamente, mayoritarios de los mexicanos, por su contenido de carbohidratos en el endospermo y grasas y proteína en el germen.

Las familias de más bajos ingresos consumen, per cápita, el doble de maíz que las de ingresos medios y altos. También consumen 30% más frijol que es, además de la tortilla, su fuente principal de proteínas (Bonfil, 1984, en Durán, 1988). Sin embargo, su consumo diario en kilocalorías es menor al mínimo diario establecido por el Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Este segmento de la población se distribuye principalmente en el centro y sur de México, tanto la que recibe sus ingresos del campo, como la que lo hace por labores no agrícolas (Durán, 1988).

Además de la problemática que ofrece la falta de fuentes adecuadas de alimentos para la mayoría de la población mexicana, existen, asociados a la producción de tortillas de maíz, otros problemas tales como:

- La pérdida del 30% de las cosechas de maíz, debida principalmente a la falta de sistemas de almacenamiento adecuados que hacen posible el ataque de insectos, roedores y hongos,

- La nixtamalización se realiza en el campo consumiendo cantidades importantes de madera (sin la regeneración de los bosques) o en las áreas semiurbanas o urbanas en molinos de nixtamal con poco control sanitario o técnico durante la producción y también con consumos energéticos y de agua muy considerables,
- La masa elaborada a nivel casero o en los molinos tiene una vida de anaquel muy corta (3 a 7 horas, dependiendo del clima) ya que entra en descomposición por microorganismos,
- En el caso de las zonas semiurbanas y urbanas, la elevada producción de aguas residuales (conocidas como "nejayote"), con una alta carga orgánica crean problemas ambientales severos,
- En el caso de las zonas urbanas, se han desarrollado sistemas para producir harinas precocidas de maíz para tortillas siguiendo procesos que consumen cantidades considerables de agua y energía, además de introducir en las harinas concentraciones de cal que exceden lo asimilable por el aparato digestivo humano y que crean problemas de formación de "cálculos" biliares o renales, además de producir cantidades muy importantes de aguas residuales contaminantes (Durán, 1988).
- La importación de cantidades importantes de maíz amarillo no apto para consumo humano, debido a los déficits de producción de maíz en México desde fines de la década de los setenta y que se ha ido incrementando paulatinamente. Este grano no puede ser procesado eficientemente por el proceso de nixtamalización tradicional porque se tienen pérdidas considerables de materia prima en las aguas residuales ya que es muy frágil y viene roto y/o dañado, creando aún mayores problemas ambientales por la generación de aguas residuales con mayores contenidos de materiales contaminantes. Además, en ocasiones viene contaminado con hongos que producen toxinas (aflatoxinas), que resultan sumamente nocivas para la salud y que no son totalmente eliminadas por el proceso de nixtamalización, además de que los residuos de toxinas que se van con las aguas de proceso van directamente al ambiente.

Con esta problemática, se inició un proyecto de investigación desde la década de los setenta para generar tecnologías apropiadas para el procesamiento del maíz en el campo buscando reducir las pérdidas postcosecha y minimizar los efectos negativos de la falta de almacenamiento adecuado, así como instrumentarla también para las zonas semiurbanas y urbanas (Durán, 1977). Este proyecto, que aún continúa, ha desembocado en el desarrollo de patentes y paquetes tecnológicos, tanto para generar una tecnología limpia para producir harinas precocidas y masas listas para preparar tortillas, como para reaprovechar las aguas residuales de la tecnología tradicional (Durán, 1988).

Este trabajo forma parte de dicho proyecto y en los próximos páginas se darán las bases en las que se sustenta, sus objetivos

(página 22) y metas, cómo se desarrolló la fase experimental y los resultados obtenidos, así como las conclusiones derivadas de esos experimentos y las recomendaciones para la continuación del estudio.

I.1 EL MAÍZ. GELATINIZACION DE SUS ALMIDONES

El maíz es una gramínea que pertenece al género y especie Zea mays L., el cual cuenta con una sola especie pero con diferentes variedades, las cuales se clasifican de acuerdo con la estructura de la semilla y su uso, que depende principalmente de las características de su endospermo, de las que se enumeran a continuación algunas de ellas: Maíz duro (rico en amilopectina o "palomero"), maíz harinoso o suave (rico en amilosa o "cacahuazintle"), maíz criollo (con una proporción amilosa:amilopectina de 65:35, que lo hace apto para la producción de tortillas), etc (Matz 1959; Winton 1950, en Pérez y Rodríguez 1988).

La composición proximal del maíz se presenta en la tabla 1.1 y en la figura 1.1 se ofrece un diagrama esquemático del grano. Como puede observarse de ellas, los carbohidratos constituyen el componente principal. Puede decirse que estructuralmente el grano está formado por cuatro partes principales:

- Pericarpio o cascarilla. Tiene el mayor contenido de fibra cruda del grano,
- Germen. En esta parte se halla la mayor cantidad de lípidos y nutrientes que favorecen el desarrollo de la plántula durante la germinación,
- Capa superficial. Aquí se encuentra la aleurona que se compone de 28% de grasa y proteína. Esta capa que morfológicamente forma parte del endospermo, rodea la parte almidonosa y colinda con el escutelo, el endospermo y las capas más externas del grano que constituyen el salvado,
- Endospermo. Contiene el 87% del almidón y su textura varía dependiendo del tipo de éste, el cual puede ser harinoso suave y que, en algunas variedades constituye el 54% del peso y el endospermo vítreo que, en esas variedades constituye el 46% del peso. Estas proporciones obviamente varían considerablemente, dependiendo de la variedad del maíz (Pérez y Rodríguez, 1988),

Se define al maíz como un grano rico en almidones y se le describe como sigue: "El almidón de maíz se compone principalmente de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina. La amilosa es el producto de la condensación de las hexosas (D-glucopiranosas) y forma cadenas largas lineales

que pueden tener de 200 a 2500 unidades con pesos moleculares de hasta un millón de daltones" (Baduí, 1981).

"El almidón se encuentra en forma de gránulos, que tienen un tamaño y forma muy característicos dependiendo del tipo de grano del que provienen. La estructura rígida está formada por capas concéntricas de amilosa y amilopectina radialmente distribuidas y que permanecen sin cambios durante la molienda seca (Figs. 1.2 y 3)" (Baduí, 1981).

"De una manera lenta, a través de los gránulos de almidón se absorben diferentes cantidades de agua, según la especie y las fracciones de las porciones constitutivas. El gránulo en presencia de agua fría se hincha y aumenta ligeramente de tamaño, lo cual sólo puede observarse en el microscopio" (Baduí, 1981).

"Cuando las suspensiones de almidón se calientan a más de 50-55 grados centígrados, los puentes de hidrógeno de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua en un fenómeno conocido como gelatinización. En estas condiciones se puede apreciar visualmente un aumento considerable del tamaño del gránulo, que va paralelo a la pérdida de birrefringencia debido a una ruptura del arreglo radial de los polímeros (Baduí, 1981).

"A medida que se incrementa la temperatura aumenta el agua absorbida y parte de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular se disuelven y se difunden fuera del gránulo, mientras las cadenas de mayor tamaño permanecen en él impidiendo más solubilización de las de bajo peso molecular. La figura 1.4 es una representación esquemática de la absorción de agua por el almidón en el que las zonas cristalinas del gránulo están representadas por las líneas más intensas que reciben el nombre de micelas" (Baduí, 1981).

"La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos se llama temperatura de gelatinización y a esta temperatura existe un alto grado de absorción de agua que hace que las dispersiones de este polímero alcancen grandes viscosidades. A medida que continúa este proceso los gránulos se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa y amilopectina y la viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor en lo que se estabiliza (Fig. 1.5)" (Baduí, 1981).

"La temperatura de gelatinización se expresa como un intervalo en el que ya no todos los gránulos se hinchan al mismo tiempo, debido a que unos son más resistentes que otros. A veces pueden requerir de intervalos de hasta 10°C entre ellos. La determinación de la temperatura de gelatinización se hace con un microscopio de luz polarizada y capa caliente llamado Kofler" (Baduí, 1981).

"La solubilización y destrucción total del gránulo sólo se consigue cuando se somete a temperaturas de autoclave y se

acelera con una agitación violenta. El resultado de este proceso es una pasta en la que existen moléculas de amilosa hidratada, que rodean los agregados hidratados que resultan del hinchamiento del gránulo. Estos últimos están formados básicamente por cadenas de amilosa y amilopectina de alto peso molecular. La cantidad de agua absorbida por los almidones varía entre los diferentes tipos de gránulos, pero puede considerarse que se encuentra entre los 50 y 55 gramos de agua por cada 100 gramos de almidón" (Baduí, 1981).

"El poder de absorción puede ser expresado por el peso del gránulo hinchado dividido entre el peso seco de almidón y es una propiedad de los almidones comerciales que debe conocerse, sobre todo en el intervalo de temperaturas empleado en la industria alimentaria. Se puede observar que el almidón de maíz se hincha muy poco comparado con el de papa, tapioca y sorgo céreo y, además, que los almidones modificados tienen poderes de hinchamiento muy diferentes a los de las llamadas formas nativas (Fig. 1.6)" (Baduí, 1981).

1.2. LA NIXTAMALIZACION

El nombre de este proceso precolombino viene de las raíces aztecas nexlli, que significa cenizas de cal y tamalli, masa de maíz cocido. Tradicionalmente consiste en cocer el maíz en agua con un porcentaje específico de hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$, respecto al peso del grano y dejarlo reposar de 10 a 20 horas, con el fin de proporcionar un tratamiento térmico alcalino que permita remover el pericarpio (cascarilla), gelatinizando parcialmente los almidones y produciendo la hidrólisis alcalina sobre la zeína y otras proteínas de maíz (Wall y Paulis, 1985), mejorando la disponibilidad del triptofano al favorecer la reducción de la relación leucina-isoleucina, ya que la leucina se destruye por el tratamiento alcalino (Gopalan y Rao, en Baduí, 1981). El diagrama de flujo de dicho proceso se presenta en la Figura 1-7.

Segurajáuregui y Santín (1987) realizaron un censo a molinos de nixtamal y tortillerías encontrando pérdidas de calor en: el cocimiento del nixtamal, en las tinas de nixtamalización, por la mala ventilación de los locales y en el consumo de electricidad de los molinos. Estos autores demostraron que durante el funcionamiento promedio de las máquinas tortilladoras se genera 264 a 498 kilocalorías por kilogramo de tortilla producida, de las cuales solo el 66% es energía útil para cocimiento de las tortillas.

En los molinos de nixtamal se generan de 146 a 219 kilocalorías por kilogramo de maíz nixtamalizado. Sin embargo, sólo el 55% de esta energía se utiliza para cocer el grano (Segurajáuregui y Santín, 1987).

Tabla 1.1 Composición química promedio del grano de maíz dentado maduro (Pomeranz, 1987)

Fracción	(% en peso seco)				
	grano entero	germen	endospermo	cabeza	pericarpio
% grano	100.0	11.5	82.3	0.8	5.40
almidón	72.4	8.3	85.42	5.3	0.98
grasa	4.7	35.0	0.8	3.8	0.98
proteína	9.6	18.5	8.6	9.7	3.50
cenizas	1.4	10.3	0.31	1.7	0.67
azúcares	1.94	11.0	0.61	1.5	0.34
humedad	9.96	16.9	4.26	78.0	93.53

Cascarilla (pericarpio)

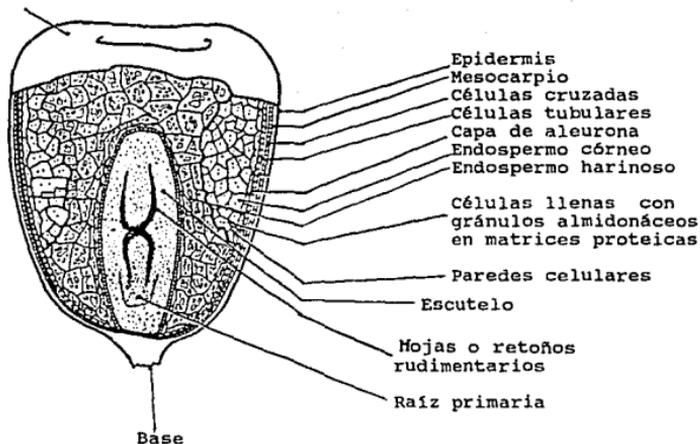


Figura 1.1 Esquema de la estructura interna de un grano de maíz (Brooker, et al. 1974)

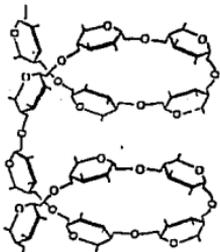


Figura 1.2. Estructura de la amilosa (Baduí, 1981)

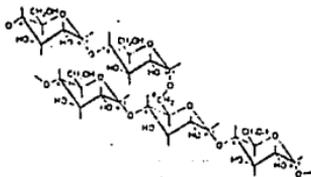


Figura 1.3. Estructura de la amilopectina (Baduí, 1981).

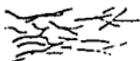


Figura 1.4. Almidón natural (der) Almidón hinchado (izq) (Baduí, 1981).

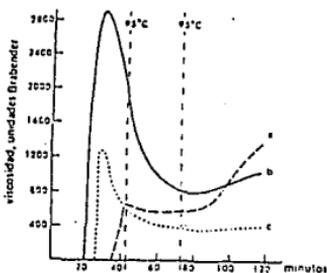


Figura 1.5. Aumento de la viscosidad en el proceso de gelatinización, a) maíz, b) papa, c) maíz céreo (Baduí, 1981)

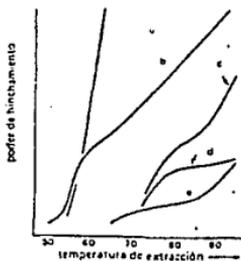


Figura 1.6. Variación del poder de hinchamiento, curva (e) corresponde a maíz (Baduí, 1981)

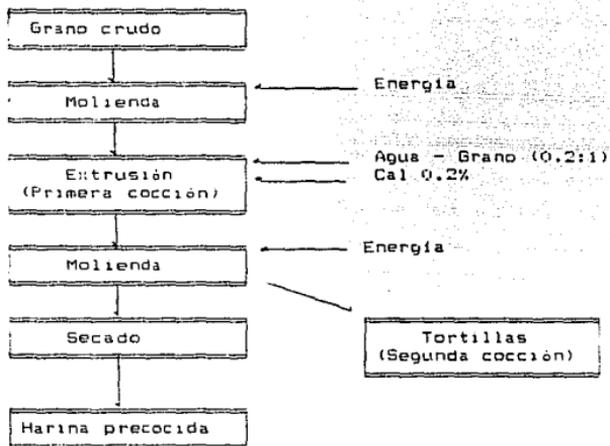


Figura 1- Diagrama de flujo del proceso de extrusión térmico alcalina de harina de maíz (Duran y colaboradores, 1988).

Por ello, desde el punto de vista tecnológico para las condiciones actuales de producción y consumos de este cereal, este proceso tradicional presenta desventajas, como el alto consumo de energía, los tiempos de operación (10-20 horas), el elevado volumen de aguas residuales (conocidas como "nejayote", otra palabra de origen náhuatl que significa caldo de cenizas de cal) y el costo de los sistemas de tratamiento de esas aguas residuales (Durán, 1987).

Consecuentemente, desde la década de los setentas se iniciaron los estudios tendientes a generar tecnologías o métodos alternativos de cocción (Durán, 1978, 1988). De entre ellos, destaca la extrusión alcalina, que sigue los mismos principios que la nixtamalización tradicional pero que, al disminuir el tamaño de partícula reduce los tiempos de reacción y el consumo de agua necesarios, así como el consumo energético requerido. Este proceso puede describirse como se muestra en la figura 1-8.

I.3. LA EXTRUSION

I.3.1. Generalidades

El control de la humedad y la temperatura durante los procesos de preparación de los alimentos es vital en todo tipo de procesos. Diversos autores han presentado trabajos desde la década antepasada sobre la influencia de ambos factores sobre la esterilización (Hayakawa, 1969), la pérdida de nutrimentos (Labuza, 1972) y la transferencia de calor, velocidades físicas de proceso (cristalización, secado y extracción) y su influencia en la calidad final (Thijssen y Kerkhof, 1976). La extrusión no es un caso aparte ya que la humedad y temperatura son los factores que requieren de mayor control durante el proceso.

La extrusión alcalina es una alternativa a la nixtamalización y consiste principalmente en moler el grano crudo y alimentar la harina producida al extrusor por medio de un tornillo sinfin.

En algún punto de este proceso, preferentemente en la zona de alimentación, se adicionan agua y cal a las harinas crudas. La presión generada y el calor de la fricción causan un aumento de la temperatura que cuece los gránulos y los gelatiniza parcialmente, obteniéndose una masa o harina precocidas dependiendo de la cantidad de agua que contenga el producto. Las variaciones de la humedad y la temperatura serán determinantes en el grado de gelatinización del almidón y en consecuencia en la textura y consistencia de los productos extrudidos o los elaborados con harinas extrudidas rehidratadas.

Dowrschak (1981) encontró que ocurría una descomposición oxidativa de lípidos y proteínas, así como su asociación a carbohidratos por medio de reacciones de Maillard. Esto,

combinado con la temperatura que destruye los pigmentos naturales del maíz altera el color de los productos.

Gómez y Aguilera (1983), encontraron que al disminuir la humedad de extrusión aumentaba el porcentaje de solubilidad en agua, absorción de agua, al igual que el grado de gelatinización (Tabla 1.2). Resultados semejantes fueron publicados posteriormente (Gómez y Aguilera, 1984). En este último trabajo, se determinó la viscosidad en unidades Brabender en afán de presentar un modelo fisicoquímico para la extrusión de almidón por medio de un modelo de superficie de respuesta.

Smietzana y colaboradores (1986) demostraron que la extrusión varía las propiedades fisicoquímicas de las proteínas al extrudir harina de trigo en un extrusor Wenger X-5 con 25% de proteína de leche, 20- 25 % de humedad y 120-130°C. Dichos autores encontraron que las proteínas de la leche (caseínas) y las del cereal (gluteínas y prolaminas forman agregados produciéndose el bloqueo de los grupos polares y reduciéndose la solubilidad en soluciones amortiguadoras de fosfato.

Fig. 1-8. Diagrama de flujo del proceso de extrusión térmico-alcalina de harina de maíz (Durán, 1988)

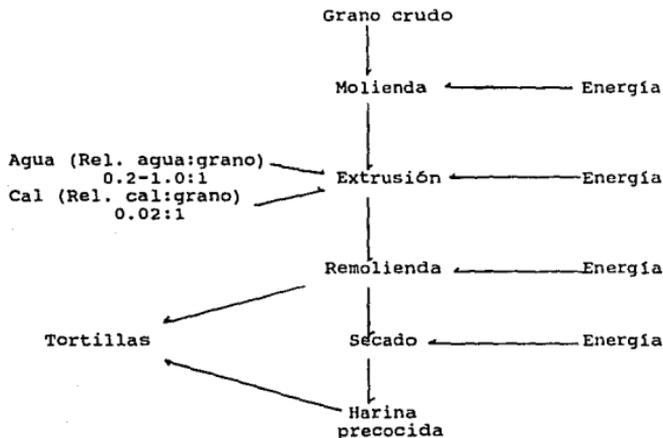


Tabla 1.2. Características de almidones de maíz extrudidos (Gómez y Aguilera, 1983)

Muestra	HAE	SE	IAA	ISA	gG1
Almidón de maíz		0.43±0.1	1.73±0.0	4.23±0.1	0.00
E1	23.7	7.68±0.2	7.22±0.6	16.1±0.1	33.9±2.0
E2	18.5	8.39±0.2	6.57±0.1	27.0±1.2	48.0±2.0
E3	15.4	9.07±0.2	5.34±0.12	30.2±2.3	68.6±1.5
E4	13.9	9.01±0.2	5.79±0.11	35.9±0.3	70.3±2.0
E5	7.6	10.13±0.2	42.5±0.10	46.0±0.1	76.3±2.0

HAE = Humedad antes de la extrusión (%)

SE = Susceptibilidad a alfa amilasa de Bacillus licheniformis expresada en gramos de maltosa por 100 g de muestra

IAA = Índice de absorción en agua (%)

ISA = Índice de solubilidad en agua (%)

gG1 = Grado de gelatinización (%)

Cuando se extrude a baja humedad esto incrementa el esfuerzo cortante y favorece el daño mecánico de los gránulos de almidón. La actividad del agua es aún más importante que el contenido de ésta, puesto que sales y azúcares compiten por ella reduciendo la concentración efectiva para la gelatinización, lo que aumenta los requerimientos de temperatura y tiempo de residencia. La extrusión a baja humedad y corto tiempo de residencia rinde productos inflados y secos típicos de la extrusión adiabática (Elwood y colaboradores, 1989).

Hsieh y colaboradores (1990) estudiaron los efectos de la concentración de sales, azúcares y la velocidad del extrusor sobre la calidad de productos extrudidos de harina de maíz usando sacarosa (0-4% b.s.) y cloruro de sodio (0-3%) y las rpm (200) y observaron que aumentaba la energía específica pero disminuía el % de torque y la caída de presión en el dado. Al subir las concentraciones de azúcar (6-8%), se incrementaban los tres parámetros de proceso y al subir las rpm (250), disminuía la caída de presión y el torque, pero aumentaba la energía específica.

Han sido publicados modelos reológicos para masas de maíz a humedad baja e intermedia (Mackey y Ofoli, 1990), los cuales utilizaron un reómetro capilar Instron modelo 4202 con el que obtuvieron un modelo extraordinariamente complejo en el que se incluyen parámetros como la energía de activación, el peso molecular promedio y más de 20 variables a determinar lo que lo convierte en impráctico para el uso industrial.

Chen y colaboradores (1991) realizaron estudios para analizar la influencia de la humedad y la temperatura y su nivel de significancia sobre las propiedades sensoriales aplicando un modelo de superficie de respuesta. Encontraron que cuando se

extrude a bajas temperaturas y humedades se obtienen productos extrudidos de textura uniforme ya que las bajas humedades favorecen la distribución del agua rindiendo una masa elástica de textura fina, las altas temperaturas con bajas y altas humedades rinden productos rugosos y quebradizos con puntos más gelatinizados que los otros.

Una alta temperatura con baja velocidad de la flecha o mayor tiempo de residencia y exposición al calor aumenta la densidad y la viscosidad de las masas. Una alta temperatura con alta velocidad de flecha reduce la exposición al calor y se reduce la densidad. Cuando se produce una sobreextrinixación se obtiene una estructura quebradiza por falta de gelatinización.

Los extrusores son reactores continuos en los cuales el tiempo de residencia depende de la geometría de la flecha y el grado de mezclado que ésta produzca. Al igual que en otros reactores continuos, el extrusor proporciona calor de interacción y cambios en la viscosidad de flujo y esfuerzo cortante. En un reactor de flujo pistón infinitamente mezclado el tiempo de residencia puede variar para cada componente reaccionante aunque se alimenten al mismo tiempo produciéndose un gradiente de concentraciones de tipo exponencial, que sigue una reacción del tipo:

$$C = C_0 e^{(-t/tr)} \quad (1-1)$$

donde

C = concentración al tiempo t
C₀ = concentración en la alimentación
tr = tiempo de residencia

y

$$tr = V_r/v \quad (1-2)$$

donde

V_r = volumen del reactor
v = flujo volumétrico

1.3.2. Extrusión de granos

Aunque el extrusor fue originalmente usado para plásticos, la idea de usarlos en la elaboración de pastas de trigo y de cereales para el desayuno se remonta al siglo pasado para las primeras y a la década de los cincuenta para los segundos (Elwood y colaboradores, 1989).

Los pasos típicos usados en la extrusión alcalina de alimentos son los siguientes (Guerra, 1978):

- a) Molienda
- b) Alimentación mediante un medio ininterrumpido o dosificado
- c) Preacondicionamiento de materiales con cal o una lechada de cal
- d) Aplicación de humedad por medio de vapor o agua
- e) Paso a través de las diferentes secciones del extrusor
 - e.1) Primera sección de mezclado y humidificación a temperatura constante
 - e.2) Segunda sección de transición en la que se eleva la temperatura por la fricción, por adición de vapor vivo o calor (resistencias eléctricas)
 - e.3) Tercera sección de cocción o extrusión propiamente dicha, que incluye la salida por la boquilla que da forma al producto extrudido y, de manera opcional, puede cortarse al tamaño deseado por medio de una cuchilla colocada en el exterior del extrusor
- f) Secado, enfriamiento y remolienda
- g) Empaque

Como se mencionaba anteriormente, considerando al extrusor como un reactor continuo, el tiempo de residencia, la transferencia de calor y la textura del producto final dependerán del grado de gelatinización del almidón que se produzca, la fusión de los lípidos y la vaporización y absorción del agua, de ahí que deban considerarse:

- a) La gelatinización del almidón como una reacción que depende de la temperatura y se rige por la ley de Arrhenius (Pravisaní y colaboradores, 1985)

$$\ln K = \ln A - E_a/RT \quad (1-3)$$

$$t = \ln(1-X) = -Kt \quad (1-4)$$

donde K = Constante de velocidad de reacción
 E_a = Energía de activación (cal/mol)
 T = Temperatura de reacción (°C, K)
 R = Constante de los gases (1.987 cal/mol K)
 X = Conversión
 A = Constante que depende de las condiciones iniciales
 t = Tiempo de reacción

Para almidón de papa, Pravisaní y colaboradores, (1985), encontraron valores para la energía de activación de 196±46 kcal/mol a T<67.5°C y de 58.2±13 kcal/mol T>67.5°C.

Con base en esta ley se han obtenido ecuaciones que determinan el tiempo de residencia aproximado (Elwood y colaboradores, 1989):

$$t = (1/A) (\ln(X_s/X_{sf})) e^{(-E_a/RT)} \quad (1-5)$$

donde X_s = Almidón inicial no gelatinizado
 X_{sf} = Almidón final no gelatinizado

Durante la gelatinización el agua es el reactivo limitante y, consecuentemente, cuando se encuentra en exceso, ésta ocurre mejor. Durante la extrusión, a bajas humedades se produce rotura y daño físico de los gránulos e inclusive se llegan a producir reacciones de dextrinización, además de que los ingredientes higroscópicos como las sales y azúcares compiten por el agua reduciendo la concentración efectiva. Al incrementarse la humedad y el tiempo de residencia decrecen los requerimientos de temperatura permitiendo la formación de materiales esponjados de gran humedad típicos de los extrusores de alto esfuerzo cortante con o sin operaciones de precocción de vapor (Elwood y colaboradores, 1989).

- b) Intercambio energético: Dependerá de las fuentes de calor anexas a la conversión de energía mecánica y si se considera:

$$E_i/dT = UA\Delta T \quad (1-6)$$

donde E_i/dT = Energía intercambiada por unidad de temperatura (Kcal/K)

U = Coeficiente global de transferencia (kcal/kg K)

A = Área total de intercambio (m^2)

dT = Diferencial de temperatura (K)

La transferencia de calor, evidentemente, no es la misma en todos los puntos del extrusor. Además, el coeficiente de transferencia tampoco es constante debido al cambio de estado físico de los materiales y a la evaporación del agua (Elwood y colaboradores, 1989).

Un balance global de transferencia de energía puede expresarse en la figura 1-9 (Elwood y colaboradores, 1989).

Un balance global de energía podrá expresarse en la ecuación (1-7) (Harper, 1981):

$$Et/m = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \int_{P_1}^{P_2} dP/p + nH_0 + nsl \quad (1-7)$$

donde Et/m = Energía total absorbida por unidad de masa (kcal/kg min)
 T = Temperatura (K)
 p = densidad (g/cm³)
 Cp = Calor específico del producto (kcal/kg K)
 nH^o = Calor absorbido por los reactivos (kcal/kg min)
 nsl = Calor absorbido por la fusión de los lípidos (kcal/kg min)

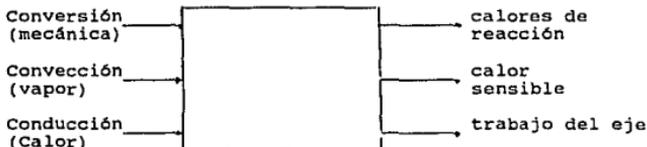


Fig. 1-9. Balance global de energía en un extrusor (Elwood y colaboradores, 1989)

Cuando no se dispone de datos adecuados se desarrollan ecuaciones empíricas con base en datos experimentales previos que permiten obtener, en este caso, calores específicos aproximados, como la ecuación 1-8 (Heldman y Singh, 1981) y las ecuaciones 1-9 y 10 (Shepherd y Bhardwaj, 1986):

$$Cp = 1.424 Xc + 1.549 Xp + 1.675 Xg + 0.837 Xa + 4.187 Xh \quad (1-8)$$

$$Cp = 1.171 (Xh (4.187 - Cd) + Cd) + 0.00304 T - 0.292 \quad (1-9)$$

$$Cd = 0.587 Xc + 0.712 Xp + 0.838 Xg + 0.837 \quad (1-10)$$

donde X = fracciones en peso de c (carbohidratos), p (proteína), g (grasa), a (ceniza) y h (humedad)

Cd = calor específico de la materia seca (kcal/kg K)

El calor total de reacción puede ser calculado como (Elwood y colaboradores, 1989):

$$nH^{\circ} = nHs^{\circ} + nHp^{\circ} = \sum_{i=1}^n X_i (nH^{\circ} X_{si} + nHp_i^{\circ} X_{pi}) \quad (1-11)$$

donde nH^o = Calor total de reacción (kcal/kg producto min)

nHs^o = Calor de gelatinización del almidón

nHp^o = Calor de desnaturalización de la proteína

X_i = Fracción del componente i en la fórmula

nH_{si}° = Calor de reacción del almidón en el componente i
 nH_{pi}° = Calor de reacción de la proteína en el componente i
 X_{si} = Fracción de almidón en el componente i
 X_{pi} = Fracción de la proteína en el componente i

Si se careciese de datos de calores de reacción, la ecuación empírica (1-12) (Elwood y colaboradores, 1989), permite calcular el calor de reacción aproximado

$$nH^{\circ} = 14 X_s + 95 X_p \quad (1-12)$$

Donde: X_s = Fracción de almidón inicial no gelatinizado
 X_p = Fracción proteínica.

Siguiendo el principio de Joule

$$E_t = E_h + E_m + E_s \quad (1-13)$$

donde E_t = Energía total absorbida en el proceso
 E_h = Calor por conducción
 E_m = Calor por convección mecánica
 E_s = Calor por inyección de vapor

Y

$$E_s = m_s (h_s - h_w) \quad (1-14)$$

donde m_s = Flujo másico de vapor alimentado (kg/min)
 h_s = Entalpía del vapor (kcal/kg vapor alimentado)
 h_w = Entalpía del agua de condensación (kcal/kg de vapor alimentado)

$$h_s = 2700 + 0.828 P_s \quad (1-15)$$

$$h_w = 4182 + 0.181 \quad (1-16)$$

donde P_s = Presión absoluta del vapor a la temperatura T (N/m^2)
 T = Temperatura de alimentación del vapor (K)

En un extrusor adiabático

Energía térmica = Energía mecánica = Energía eléctrica (1-17)

La potencia del motor se define para motores DC:

$$P = I * V \quad (1-18)$$

donde I = Intensidad (amperes)
 V = Voltaje (voltios)

Para motores AC:

$$P = \sqrt{3} V * I \cos \theta \quad (1-19)$$

donde θ = Número de fases AC
 θ = Angulo de las fases

1.3.3. Tipos de extrusores

Los extrusores usados en alimentos se clasifican de acuerdo con la presión y nivel del esfuerzo cortante generados y el calor transmitido y producido durante el proceso (Elwood y colaboradores, 1989):

- a) Extrusores de bajo esfuerzo y alta presión: Usan bajas velocidades de giro de la flecha para obtener bajos esfuerzos y generan esfuerzos menores a 100 seg^{-1} . Estos extrusores de una o flechas gemelas (Fig. 1-10), se usan para masas y deben de considerarse las condiciones especiales para cada tipo de cereal ya que son productos no newtonianos que, por lo general, obedecen a la ley de la potencia siendo la viscosidad inversamente proporcional a velocidad de corte. Ofrecen una amplia área de transferencia de calor y solo el 30% de la energía calorífica transmitida proviene de conversión mecánica. Para lograr la alta presión tienen una reducción del volumen del canal en una razón de 9:1 del inicio de la flecha a la salida del dado. Este tipo de extrusores fue adaptado de la industria del plástico para producir cereales de los llamados para desayuno y son distribuidos por Werner & Pfleiderer y APV Baker (Elwood, y colaboradores, 1989).
- b) Extrusores de bajo esfuerzo y baja presión: Con este tipo de equipos desarrollados por Mapimpianti se busca la mínima degradación del almidón, y usa una serie de estados de compresión para redistribuir el flujo y favorecer la transferencia de calor en ausencia de altos esfuerzos cortantes y desarrollo de presión por lo que el flujo siempre permanece granular, lo que permite incorporar ingredientes y descargar con el dado abierto (Elwood y colaboradores, 1989).
- c) Extrusores de alto esfuerzo: Son los más versátiles. Este tipo de extrusores puede trabajar con altas humedades e incrementar las densidades de flujo ($0.40\text{-}0.80 \text{ g/cm}^3$) a ($1.2\text{-}1.6 \text{ g/cm}^3$). Este tipo de aparatos ofrecen gran capacidad de mezclado permitiendo incorporar ingredientes sólidos o líquidos o vapor de agua hasta 100 N/cm^2 (150 psig) (Fig. 1-11).
- d) Extrusores adiabáticos: Son equipos como los anteriores tipos de extrusores a los que, además de generar energía por conversión mecánica, pueden incorporarse camisas de vapor o resistencias eléctricas, termopares y transductores de presión con controles automáticos de válvulas de alivio y pueden aislarse con el fin de reducir el consumo de energía (Fig. 1-12) (Elwood y colaboradores, 1989).

Existen, además, extrusores usados para investigación que, por su tamaño y nivel de control, pueden reproducir ciertas características que, posteriormente, pueden aplicarse en los extrusores reales. Entre ellos destacan:

- e) Extrusor Brabender: Es de tipo politrópico. Se compone de una flecha de paso constante. Genera calor por conversión mecánica pero, además, puede suministrarse calor por resistencias o vapor vivo. Cuenta con termopares y manómetros para control de temperaturas y presión. También ofrece control de velocidad del tornillo, además de boquillas fácilmente intercambiables (Guerra, 1978).
- f) Extrusores de bajo costo: Es de tipo autógeno ya que sólo produce calor por conversión de energía mecánica debido a la presión y a la fricción. Este tipo de extrusor fue diseñado en los EEUU por Crowley (1975) y adaptado a las condiciones de México por los ingenieros Acosta, Corte y Camacho en el Centro de Investigaciones y Asistencia Tecnológica del Estado de Chihuahua (CIATECH) en un sistema a escala de banco y piloto (Durán, 1988).

1.4. REOLOGIA DE LA EXTRUSION DE MASAS

Este punto constituye la parte fundamental del trabajo de esta investigación, ya que existe poca información para alimentos, en concreto para masas de maíz nixtamalizadas y extrudidas (Pérez y Rodríguez, 1988; de Padua y Padua, 1984).

La extrusión fue originalmente aplicada a los plásticos y la mayoría de los modelos reológicos existentes son aplicados a ellos. Como ya se mencionó en los párrafos anteriores, para los alimentos la situación cambia desde el momento en que el contenido de grasa y humedad, la temperatura y la presión hacen que varíen grandemente la textura, la dureza y la viscosidad y, por ende, su comportamiento reológico. Se han propuesto, además de las ecuaciones empíricas ya mencionadas, algunos modelos que se basan en la descomposición de las velocidades y considerando la existencia de los flujos de arrastre Q_a y el flujo de presión Q_p , de donde el flujo neto se determina con la ecuación (20) (Figs. 1.13 y 1.14):

$$Q_{\text{neto}} = Q_a + Q_p \quad (1-20)$$

De acuerdo con estas bases se diseñó una serie de experimentos para estudiar el comportamiento reológico de masas de maíz producidas a partir de harinas extrudidas alcalinamente con cal. En los siguientes dos capítulos se presentan la hipótesis en la que se basa este trabajo y los materiales y métodos empleados.

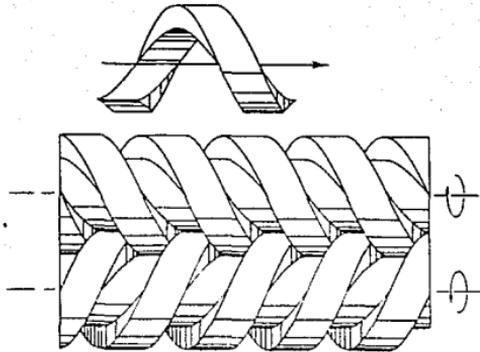


Figura 1.10 Extrusor de flechas gemelas o doble tornillo (Elwood et al., 1989)

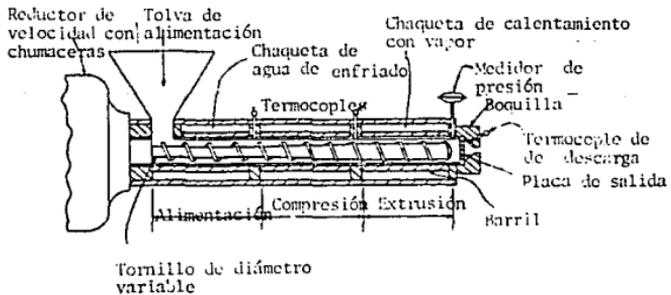


Figura 1.11 Extrusor de alto esfuerzo (Elwood et al., 1989)

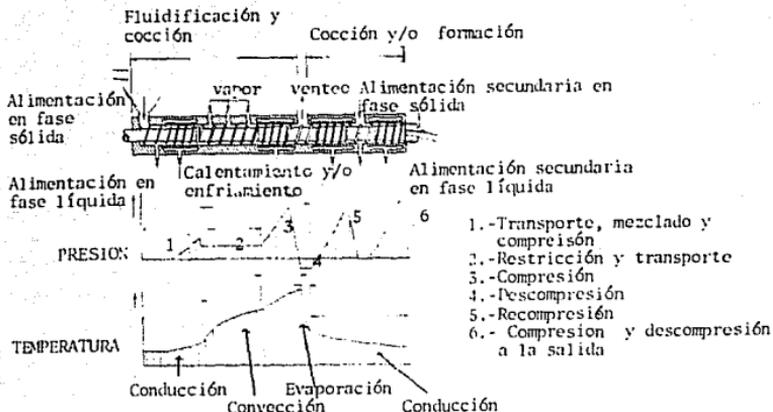


Figura 1.12. Esquema de la estructura interna de un extrusor adiabático (Elwood et al. 1989)

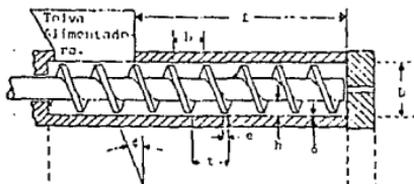


Figura 1.13. Tornillo y barril de un extrusor (Guerra, 1978) (D=diámetro del barril, L=longitud de la flecha, ϕ =ángulo formado por los álabes, e=ancho del álabes, b=distancia entre álabes, h=distancia entre el barril y el tornillo,

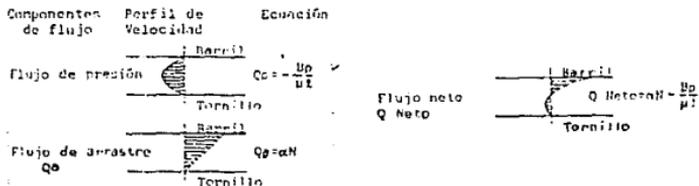


Figura 1.14. Flujos entre barril y flecha de un extrusor (Guerra, 1978)

II. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

II.1. HIPOTESIS

La hipótesis de esta investigación es la siguiente:

Es posible realizar las reacciones de gelatinización y retrogradación del almidón que se llevan a cabo en la nixtamalización tradicional del maíz usando el proceso de extrusión alcalina si se aplican a las harinas crudas de maíz, la temperatura de cocción, la humedad y la concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 adecuados, así como el esfuerzo cortante que lleve el daño mecánico sobre los gránulos de almidón a las condiciones similares a las que ocurren durante la nixtamalización tradicional.

Esto ha sido ya realizado de manera empírica pero no existen modelos que permitan predecir estas condiciones de operación para diferentes variedades de granos. Por ello, los objetivos de esta parte de la investigación, son los siguientes:

II.2. OBJETIVOS

1. la determinación del comportamiento reológico de las masas de harinas de maíz rehidratadas (a partir de harinas extrudidas alcalinamente), comparándolas con las masas de harinas rehidratadas y masas frescas elaboradas por nixtamalización tradicional.
2. La determinación de las características de textura de las masas y tortillas elaboradas con masas frescas y rehidratadas de harinas nixtamalizadas y extrudidas.
3. La comparación de las características de textura con las propiedades sensoriales (organolépticas) de las tortillas.

Para alcanzar estos objetivos, se llevaron a cabo experimentos en un extrusor de bajo costo adaptado para las condiciones de México. En el próximo capítulo se presentan los materiales y métodos empleados.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Como se mencionaba, no existe un modelo reológico que permita determinar el comportamiento de las masas de maíz nixtamalizado tradicionalmente y, obviamente, de sus sucedáneos como son las masas de harinas rehidratadas de maíz macerado o extrudido.

Por ello, cuando se evaluaron los productos extrudidos en 1979, para determinar algún tipo de correlación entre viscosidad aparente de masas con un contenido de humedad constante y una temperatura también constante, se empleó un consistómetro Haake y las viscosidades aparentes encontradas estuvieron entre 600,000 y 800,000 cP. En estos experimentos, se supuso que las masas tenían un comportamiento newtoniano y que las masas de harinas extrudidas rehidratadas que tenían esta viscosidad aparente eran adecuadas para elaborar tortillas y otros productos de maíz nixtamalizado (Durán y colaboradores, 1979).

Los resultados experimentales obtenidos empleando pruebas sensoriales con paneles de jueces entrenados y evaluaciones químicas para determinar la calidad nutricia de las harinas extrudidas, se correlacionaron bien con los resultados obtenidos de estas suposiciones por lo que se siguió trabajando con estas masas que, aparentemente, seguían un comportamiento newtoniano. Las pruebas se hicieron en un extrusor Brabender de laboratorio, en un extrusor Wenger X-5 y en un extrusor de bajo costo (Durán y colaboradores, 1979; Durán y Guerra, 1980).

Para corroborar este aserto y establecer un modelo que permita evaluar de manera objetiva la correlación entre esfuerzo cortante y deformación, para establecer parámetros de comparación entre masas de harinas nixtamalizadas y extrudidas rehidratadas se llevó a cabo un diseño de experimentos con base en pruebas preliminares (las cuales se detallan en el apéndice B) y consiste en realizar experimentos en el extrusor de bajo costo existente, utilizando harina cruda de maíz de endospermo duro (malla 40), obtenida de maíz blanco cristalino tipo criollo y de maíz amarillo de importación usado para fabricar tortillas en el Distrito Federal.

Se experimentó con tres niveles de temperatura en la zona de extrusión (120, 105 y 90°C) y con tres niveles de humedad inicial en base seca (25, 20 y 15%). La concentración de hidróxido de calcio se mantuvo en 0.2g/100g (base seca) con base en experimentos anteriores (Pérez y Rodríguez, 1988).

Esto dió nueve combinaciones por variedad que fueron etiquetadas de acuerdo a la codificación siguiente: Color, humedad, temperatura de extrusión. P. ej: BL 25 120 que significa el uso

de la variedad de maíz blanco a 25% de humedad y a una temperatura de extrusión de 120°C.

Los experimentos realizados fueron entonces:

BL 25 120	BL 20 120	BL 15 120
BL 25 105	BL 20 105	BL 15 105
BL 25 90	BL 20 90	BL 15 90
AM 25 120	AM 20 120	AM 15 120
AM 25 105	AM 20 105	AM 15 105
AM 25 90	AM 20 90	AM 15 90

Los productos extrudidos fueron molidos en un molino de dientes especial para cereales (CeCoCo) a malla 40 y, al igual que a las harinas crudas, se les determinó el contenido de humedad en una termobalanza O'Haus y, posteriormente, fueron deshidratados en un desecador de charolas marca Gravesend & Dartfordkap (Apex Construction LTD, Chemical Engineers Northfeet) por medio de aire caliente hasta alcanzar una humedad promedio de 10±1% en base seca. Se almacenaron a -4°C en bolsas de polivinilo negro, herméticamente cerradas para proteger las harinas del aire y de la luz.

Aunque durante este proceso teóricamente no hay pérdidas de materiales, debido a la evaporación instantánea que ocurre al salir el material del extrusor, se realizaron análisis bromatológicos de todas las harinas (crudas, nixtamalizadas y extrudidas) con el fin de conocer su composición. Se usaron como parámetros de comparación harinas comerciales precocidas de maíz nixtamalizado (Minsa y Maseca), ya que éstas cumplen teóricamente con la norma oficial mexicana (NOM-F-46-S, 1980).

Como parámetros de respuesta se tomaron el comportamiento reológico y mecánico de suspensiones, atoles, masas y tortillas para comparar los productos elaborados por nixtamalización con los producidos por extrusión alcalina y con los elaborados con las harinas comerciales.

Para el análisis de datos se aplicó un modelo de superficie de respuesta como el que ha sido aplicado por Artz y colaboradores (1990), para obtener una respuesta polinomial del tipo:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1X_2 + e$$

En esta ecuación, Y = viscosidad aparente, X₁ = Porcentaje de humedad, X₂ = temperatura de extrusión y e = error experimental. Esto permite determinar la influencia de cada condición de operación en una respuesta.

Una vez determinadas matemáticamente las condiciones de operación óptimas se realizó una última corrida aplicando éstas en el extrusor CIATECH. Las harinas extrudidas fueron sometidas a un

análisis bromatológico y reológico igual a las producidas en el diseño factorial realizando, además, una evaluación sensorial por los métodos escalar hedónico y por ordenamientos para determinar su aceptación por un panel entrenado.

III.2. MATERIALES Y METODOLOGIAS

III.2.1. Materiales

Los cereales utilizados en este proyecto fueron:

- * Maíz blanco cristalino de endospermo duro ("criollo tipo chalqueño") y
- * Maíz amarillo (molinero de importación).

El maíz blanco fue adquirido en la población de San Matías Cuijingo, en el valle de Chalco, estado de México y el maíz amarillo en una bodega molinera de Xochimilco, en el D.F.

A los granos se les caracterizó físicamente por medio de las siguientes pruebas:

<u>Prueba</u>	<u>Método</u>
-Humedad	Peso constante (AOAC,14:02,1984)
-Densidad aparente	Peso de 1 L de maíz (INIFAP, 1992)
-Peso hectolítrico	Balanza hectolítrica (INIFAP, 1992)
-Impurezas	Por criba 12/64, 8/64 (INIFAP, 1992)
-Dureza	Perlado y cribado (INIFAP, 1992)
-Grosor del pericarpio	Promedio con Vernier (INIFAP, 1992)

Se adquirieron harinas precocidas (nixtamalizadas) comerciales al azar en tiendas. También se adquirieron granos de maíz cuyas características son bastante diferentes a las de los maíces en estudio. Estos fueron maíz reventador tipo palomero (con características de endospermo duro) y maíz cacahuazintle (con características harinosas). Las harinas comerciales se denominarán MINSa y MASECA. Todas ellas se emplearon como testigos para comparar las características viscoamilográficas de los maíces en estudio.

III.2.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Para preparar las harinas nixtamalizadas y extrudidas se tomaron como base las normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Norma NOM-F-46-S, 1980) que se presentan en la Tabla 3-1 (Secofi, 1980).

También se hicieron relaciones comparativas entre los valores de amilosa-amilopectina de cada muestra del proceso (harina cruda, nixtamalizada o macerada y extrudida), con el objeto de poder determinar la relación que existe entre la gelatinización con las propiedades reológicas de las masas obtenidas con estas harinas.

Los parámetros sensoriales a considerarse fueron los establecidos por Secofi (1980) y se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-1. Parámetros para harina de maíz nixtamalizado (Secofi, 1980)

Humedad	Mínimo	Máximo
Proteínas (Nitrógeno x 6.25)	8.0%	11.0%
Cenizas	-	1.5%
Extracto etéreo	4.0%	-
Fibra cruda	-	2.0%

Tabla 3-2. Parámetros para harinas de maíz nixtamalizado (Secofi, 1980)

Parámetro	Característica
Color	Blanco o amarillento característico del grano empleado
Olor	(<u>Sui géneris</u>) No presenta signos de rancidez
Sabor	(Característico) No presenta sabor extraño
Aspecto	Granuloso con una finura tal que el 75% de los gránulos como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250mm de abertura de malla, tamiz NOM No. 24 M.-60 U.S.

Todos los parámetros se determinaron por los métodos experimentales de la AOAC (1984) y la AACC (1976). Su descripción detallada se encuentra en el Apéndice A. A

continuación se describen los análisis realizados, la metodología usada y el laboratorio en que fueron hechos:

-Color	Medidor de color de reflectancia Hunterlab	INIFAP
-Humedad	AOAC 14:02 1984 Peso constante	UNAM
-Ceniza	AOAC 14:006 1984	UNAM
-Extracto etéreo	AACC 02-01 1976 Extracción por reflujo en éter	UNAM
-Proteína cruda	AOAC 2.054 1984 Análisis Kjeldhal	UNAM
-Acidez	AACC 30-10 1976 titulación con KOH 0.0178 N	UNAM
-Lisina	Colorimetría con 2-Cl,3,5 dinitropiridina (Villegas y col., 1990)	INIFAP
-Triptofano	Colorimetría con ácido glioxílico (Villegas y col., 1990)	INIFAP

III.2.3. Determinación de parámetros reológicos

Con el fin de contar con una base de datos para la elaboración del modelo reológico se realizaron las siguientes pruebas: Mediciones de viscosidad dinámica y cinemática, viscosidad aparente, variación del esfuerzo cortante y velocidad de corte. Se pensó en algunas metodologías para análisis de masas y suspensiones, como las propuestas por Clark (1978), para viscosímetros tipo cono plato, de cilindros coaxiales o flujos en tuberías "Tipo Poiseuille".

Para ello se utilizaron un viscosímetro Brookfield (VB-RVT Serie 77825, Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, MA, EEUA), descrito con la Fig. 3-1 y un viscoamilografo Brabender (Duisburg, RFA), presentado en la Fig. 3-2.

Para medir las características de textura de las masas y tortillas se usaron un texturómetro universal Instron (Fig. 3-3) y un texturómetro marca Brabender modelo Struct-o-graph (Fig. 3-4). A continuación se describen brevemente y en el Apéndice B se presentan los resultados obtenidos con ellos.

III.2.3.1 Descripción del viscosímetro Brookfield

1.- Partes. El aparato se compone principalmente de tres secciones

- a) Sección de mando
- b) Sección de lectura de datos
- c) Sección de prueba

La sección A se halla en la parte superior y consta de un motor sincrónico de velocidad variable y un sistema de engranes de transmisión acoplados a la carátula, el botón de selección de velocidad, el embrague (clutch) y el nivel de burbuja (Tecante, 1985)

La sección B se compone de carátula e indicador de aguja. Esta carátula gira libremente en el sentido de las manecillas del reloj hasta que se detiene en un número en el momento en que se detiene la palanca del embrague y se toma la lectura. Esto funciona de acuerdo a que cuando se ha logrado el torque, éste es proporcional al esfuerzo cortante y al arrastre viscoso (Tecante, 1985).

La sección C se compone del cople enroscado, el protector de husos y los husos, que son siete en total, en forma de discos con un eje central y uno en forma cilíndrica. Todos cuentan con una ranura indicadora de nivel el cual no deberá exceder el fluido que se examina (Tecante, 1985).

Este viscosímetro permite hacer mediciones en los intervalos que se presentan en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Intervalos de medición del viscosímetro Brookfield (Tecante, 1985)

Constante de torsión del resorte (Dina - cm)	7187
Número de velocidades	8
Velocidades, rpm	0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 10.0, 20.0, 50.0, 100.0
Número de husos	7
Viscosidad mínima, cP	100
Viscosidad máxima, cP	8,000,000

Para el análisis de datos en el viscosímetro puede usarse varios métodos de análisis: Métodos prácticos, teóricos y académicos.

Los primeros son solo con el fin de control de calidad y solo usan las lecturas como parámetros de comparación entre muestras.

Los métodos teóricos son aquellos en los que se supone que las lecturas proporcionadas por el VB pueden manejarse como si la rapidez de deformación y el esfuerzo cortante estuvieran bien definidos. En el caso del VB-RVT, las lecturas se tratan como si realmente se tuviera un control sobre el patrón de deformación.

A pesar de ello, estos métodos son útiles ya que permiten tener correlaciones expresadas en términos de parámetros reológicos y de parámetros empíricos. Sin embargo, debe de tenerse en cuenta que las correlaciones obtenidas de esta forma tienen una aplicabilidad limitada y, por lo general, no es conveniente usarlas para predecir comportamientos más allá del intervalo de esfuerzo cortante y velocidad de deformación del cual se obtuvieron.

Los métodos académicos son aquellos en los que se necesitan datos exactos y bien definidos, para lo que se necesitan geometrías bien definidas, i.e. cono-plato; cilindros concéntricos con las que el VB no cuenta (al menos en el que se tenía disponible no contaba con ellos) de ahí que los datos deban tratarse usando métodos teóricos (Tablas 3-4 a 6) (Tecante, 1985). Un método teórico desarrollado en Polonia por Mitschka, en 1982, permite obtener datos de esfuerzo cortante y viscosidad aparentes que permiten predecir comportamientos de los fluidos en estudio. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Registrar los pares de datos o valores de deflexión (lectura en la escala), L, y valores de velocidad angular, N, (rpm).
- 2.- Transformar los valores de L en viscosidad aparente empleando el factor adecuado por medio de la ecuación

$$u = F * L \quad (3-1)$$

donde

u = Viscosidad aparente (cP)
F = Factor de conversión (cP)
L = lectura del viscosímetro

- 3.- Los valores de L pueden transformarse a esfuerzo cortante por medio de la ecuación:

$$t = Kat * L \quad (3-2)$$

t = Esfuerzo cortante (N/cm²)
Kat = Factor de conversión (N/cm²)
L = Lectura del viscosímetro

Tabla 3.4. Factores para el VB-RVT. (Tecante, 1985)

Número de huso	Velocidad angular, rpm							
	0.5	1.0	2.5	5.0	10	20	50	100
1	200	100	40	20	10	5	2	1
2	800	400	160	80	40	20	8	4
3	2000	1000	400	200	100	50	20	10
4	4000	2000	800	400	200	100	40	20
5	8000	4000	1600	800	400	200	80	40
6	20000	10000	4000	2000	1000	500	200	100
7	80000	40000	16000	8000	4000	2000	800	400

Tabla 3.5. Factores de conversión para husos del VB-RVT (Tecante, 1985)

Número de huso	1	2	3	4	5	6	7
Kat	0.035	0.119	0.279	0.539	1.050	2.35	8.4

- 4.- Se grafican los pares $u - N$ y $t - N$ en coordenadas log-log. Si la gráfica se asemeja a una línea recta, entonces se considera que el fluido sigue la ley de la potencia y la pendiente equivale al índice de comportamiento n . Se pueden convertir las RPM a valores de velocidad de deformación promedio usando la ecuación

$$\bar{n} = \text{constante} = K_{ng} (n) N \quad (3-3)$$

donde

\bar{n} = Velocidad de deformación promedio 1/seg
 n = Índice de deformación
 K_{ng} = Factor de conversión
 N = Lectura

Cuando las gráficas no se asemejan a una recta sino a una curva se traza ésta y las pendientes (una pendiente para cada punto), representan los valores del índice de comportamiento al flujo aparente. Las velocidades de deformación se obtienen por la ecuación:

$$\bar{n} = K_{ng} (n^\circ) N \quad (3-4)$$

donde n° = Índice de deformación puntual

Tabla 3.6. Factores de conversión para el VB-RVT (Tecante, 1985)

Número de huso	1	2	3	4	5	6	7
Kng n=0.1	1.728	1.431	1.457	1.492	1.544	1.366	1.936
n=0.2	0.967	0.875	0.882	0.892	0.907	0.851	1.007
n=0.3	0.705	0.656	0.656	0.658	0.663	0.629	0.681
n=0.4	0.576	0.535	0.530	0.529	0.528	0.503	0.515
n=0.5	0.499	0.458	0.449	0.445	0.442	0.421	0.413

III.2.3.2 Descripción del viscoamilógrafo Brabender

El viscoamilógrafo Brabender es un instrumento que se utiliza para estudiar la viscosidad de los líquidos y su relación con la temperatura. Es esencialmente un viscosímetro de torsión en el cual una suspensión es calentada uniformemente a velocidad constante (2.5°C/min). En un recipiente cilíndrico de acero inoxidable que es calentado por resistencias eléctricas a través de un baño de aire, a la vez que un termómetro regulador entra en la suspensión permitiendo control del calentamiento por las resistencias y el enfriamiento por medio de un serpentín de agua fría, lo que produce un calentamiento uniforme en todos los puntos del fluido y conforme aumenta la viscosidad de las pasta se ejerce torsión sobre un eje que contiene ocho agujas fijas la cual se transmite a un mecanismo electrónico y de este va a un graficador de donde se obtiene una curva de viscosidad contra tiempo y temperatura de calentamiento de la pasta a lo largo del procedimiento (véase apéndice C).

Esta prueba fue realizada con el fin de comparar el grado de gelatinización de suspensiones al 14±1% (según recomendación del fabricante (Muller, 1979), de harinas comerciales (MINSA y MASECA) con (17 a 20% de amilosa) crudas y nixtamalizadas de muestras de maíz blanco y amarillo (materia prima anteriormente descrita, 19-20% de amilosa). Además, fueron comparadas con muestras de harina cruda y nixtamalizada de maíz duro (palomero, 13% de amilosa) y maíz suave (cacahuazintle, 48-50% de amilosa) como puntos extremos de comparación.

Pueden diseñarse diversas pruebas de medición de viscosidad en relación a tiempo y temperatura. En este trabajo se empleó un tiempo inicial de 30 minutos hasta llegar a 92°C, luego se mantuvo por otros 20 minutos a esta temperatura para llegar al grado máximo de gelatinización. Concluido este tiempo se produjo el enfriamiento uniforme (-2.5°C/min) hasta 30°C con el fin de inducir la retrogradación del almidón y llegar al grado de viscosidad máxima de la suspensión.

Las gráficas obtenidas se muestran y comentan en el apéndice C para comparación de la materia prima.

III.2.4. Descripción del texturómetro Instron

El texturómetro universal Instron es esencialmente una prensa, la cual aplica una fuerza uniforme sobre un área determinada induciendo una fuerza de reacción por parte del sólido, gel, sol o pasta sobre la cual es aplicada y que es traducida a un integrador electrónico el cual la registra por medio de una gráfica tipo pico (véase apéndice C).

Para realizar este experimento se usó el Texturómetro Universal Instron del Departamento de Industrias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chapingo. Con este instrumento se realizaron experimentos de compresión de masas y de penetración en tortillas.

Para el primer experimento se hicieron muestras de 10 gramos de masas con 55% de sólidos en base seca, las cuales se conformaron como cilindros y fueron comprimidas al 98% utilizando la celda de 200 kg.

Para el segundo experimento se hicieron tortillas, las cuales tenían un espesor promedio de 2 mm y un diámetro de 10 ± 0.1 cm, las cuales se penetraron con el punzón tipo estrella usando la celda de compresión de 0.5 kg.

Las gráficas tipo pico tanto para los testigos como para los productos extrudidos se muestran en el apéndice C.

III.2.5. Descripción del texturómetro Brabender Struct-o-graph

Este instrumento, desarrollado en la República Federal de Alemania, tiene un comportamiento semejante al texturómetro Instron con la diferencia de que su espacio, tamaño y costo lo hacen más accesible. Consiste en una pequeña plataforma la cual eleva la muestra contra un accesorio que puede ser una superficie plana para compresión de masas, un pico para penetración o barras y cuchillas para fractura y corte (véase figura 3-4).

El equipo fue utilizado para determinación del módulo de la elasticidad de masas, el cual es una medida indirecta de la fuerza de unión intermolecular de un semisólido o gel (Bull, 1971) (véase figura 3.5) lo que puede dar una relación con respecto del grado de gelatinización del almidón y la fuerza de unión intermolecular que este proceso genera.

Para la realización de este experimento fueron elaborados cilindros de masas de $H_1 = 2 \pm 0.1$ cm de altura por $D_1 = 1.8 \pm 0.1$ cm de diámetro, los cuales fueron elevados para comprimirse

contra un accesorio plano con una fuerza de 10 Newtons hasta una altura H2 y un diámetro D2. El módulo de elasticidad se determinó por la ecuación:

$$M.E. = F * H1 / A (H1-H2)$$

(3-5)

donde

M.E. = Módulo de elasticidad (Newton/cm²)
F = Fuerza de compresión (Newtons)
H1 = Altura antes de la compresión (cm)
H2 = Altura posterior a la compresión (cm)
A = Area posterior a la compresión (cm²)

III.2.6. Otras pruebas

Se probaron otros dos tipos de viscosímetros, uno de cono y plato (reogoneómetro Weissenberg, Fig. 3-6) y una jeringa tipo Poiseuille (Fig. 3-7). Sin embargo, los resultados no fueron adecuados. Para el primer caso, el aparato no ofreció lecturas adecuadas y consistentes ya que éstas nunca alcanzaron la estabilidad en la pantalla electrónica, a diferencia de lo sucedido con las soluciones de calibración a base de glicerol (obsérvese la figura C-1).

Para el segundo caso no fue posible hacer fluir masas en una estrangulación de diámetros ya que quedan burbujas atrapadas que luego fluyen hacia los manómetros y transductores y al comprimirse alteran las lecturas. Además, fue necesario diluir las masas con agua hasta un 30% de sólidos en base seca para tener un flujo más homogéneo, produciéndose un flujo en "correas" que no mantenía mediciones de presión constantes.

III.2.7. Nixtamalización de los granos

La nixtamalización de las muestras se llevó a cabo a una concentración de 1% de Ca(OH)₂ con relación al peso del grano y manteniendo la suspensión a temperatura de ebullición durante 30 minutos hasta un cambio de coloración de blanco a amarillo intenso para maíz blanco y a un naranja intenso para maíz amarillo de importación (proceso tradicional en el valle de México). El tiempo de reposo después de la cocción fue de 12 a 16 horas con el fin de alcanzar la máxima difusión de iones Ca⁺⁺ y OH⁻. El "nejayote" (agua de cocción) fue decantado y el maíz lavado con chorro de agua para eliminar el pericarpio y el exceso de cal. El nixtamal limpio fue molido en un molino de dientes (CeCoCo) y desecado en un secador de charolas con corriente de aire caliente durante cuatro horas.

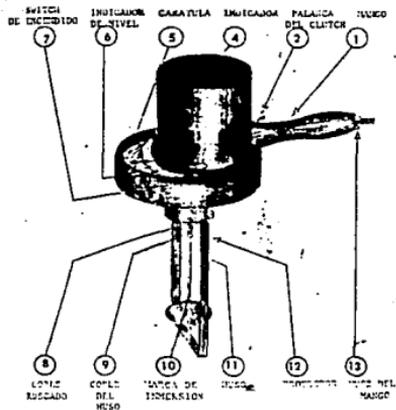


FIGURA 3.1

Figura 3.1 Esquema del viscosímetro Brookfield (Tecante, 1985)

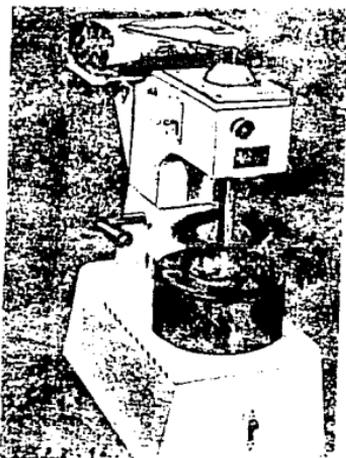


Figura 3.2 Esquema del viscoamylógrafo Brabender (Muller, 1976)

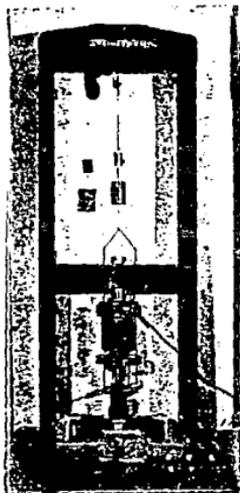


Figura 3.3 Esquema del Texturómetro Universal Instron

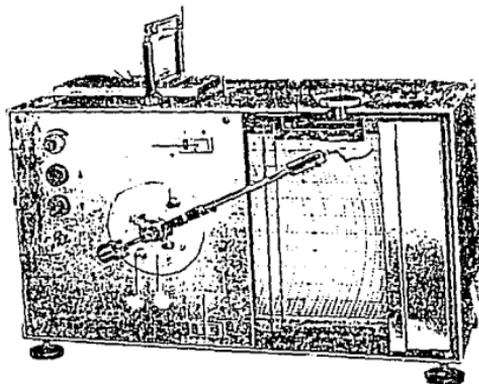


Figura 3.4 Esquema de texturómetro Brabender Struct-o-graph

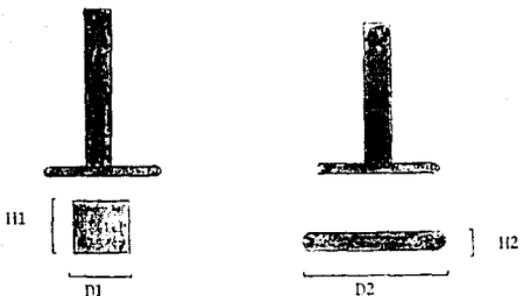


Figura 3.5 Proceso de compresión de masas en el Struct-o graph

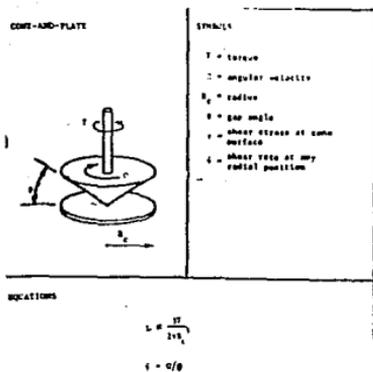


Figura 3.6 Reogoniómetro Weissenberg

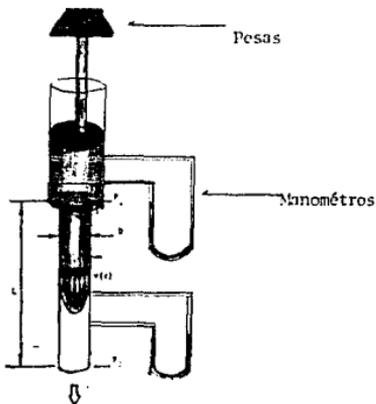


Figura 3.7 Flujo de Poiseuille

Posteriormente, fue molido hasta malla 40 y guardado a -4°C en bolsas de plástico negras con cerrado hermético para protegerlo del aire y la luz. Se realizó su análisis bromatológico para comprobar que cumpliera con la norma oficial mexicana (Secofi, 1982).

III.2.8. Extrusión de los granos

Se empleó un extrusor de bajo costo modificado con resistencias eléctricas ubicado en la Facultad de Química de la UNAM, el cual se describe en el apartado III.3. Después de varias pruebas preliminares se estableció el diseño de experimento descrito en el apartado III.1. Para la preparación de las muestras el maíz fue molido en un molino de piedra volcánica en San Francisco Culhuacán y, posteriormente, cernido para eliminar el pericarpio.

Se evaluó la granulometría de las harinas resultantes empleando tamices, obteniéndose 85% del peso de los gránulos en la malla 40 y 15% en la malla 60. Se determinó la humedad de la harina por peso constante la cual fue de $10\pm 1\%$ en base seca. Para la adición del agua y la cal se procedió a medir el agua en probetas y a disolver la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adecuada para llegar a 0.2% en base seca en el peso final de la harina humedecida.

La solución de cal fue aplicada por medio de un atomizador a las harinas dispersadas sobre charolas y, posteriormente, mezcladas manualmente durante 5 minutos y empacadas en bolsas negras cerradas herméticamente antes de proceder al proceso de extrusión.

III.3 EQUIPO

El extrusor empleado, como se mencionó en el primer capítulo es de bajo costo. Era originalmente de tipo autógeno ya que sólo se producía calor por conversión de energía mecánica, debido a la presión y a la fricción.

Este tipo de extrusor fue diseñado en los EEUU por Crowley (1975) y adaptado a las condiciones de México por los ingenieros Acosta, Corte y Camacho en el Centro de Investigaciones y Asistencia Tecnológica del Estado de Chihuahua (CIATECH), dependiente del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en un sistema a escala de banco y piloto (Durán, 1988).

Los planos detallados de construcción fueron elaborados por el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, dependiente de la SEP (Cidesi). Ambos centros desaparecieron a finales del sexenio 1982-88.

El CIATECH construyó uno a escala de banco que está instalado actualmente en el Laboratorio de Ingeniería Química de la

Facultad de Química de la UNAM. Fue empleado para evaluar harinas de maíz, sorgo y sus mezclas (Durán y colaboradores, 1987; Pérez y Rodríguez, 1988).

Se le adaptaron dos resistencias de banda de 110 volts y 30 amperes en la zona de cocimiento que, además, cuentan con pirómetros electrónicos, lo que permite un control de temperatura con un intervalo de 2°C de lo que se observa en el control. La Figura 1-15, del capítulo I, presenta un diagrama dimensionado de este extrusor.

III.4 ANALISIS ESTADISTICOS

Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente usando las metodologías presentadas en la bibliografía (Spiegel, 1990).

Se empleó un programa computacional, denominado Statgraphics (Statgraphics Inc., Rockville, EEUUA), para realizar toda la evaluación estadística de las superficies de respuesta.

El programa calcula, además, el coeficiente de determinación múltiple equivalente (R^2), el cual es el cuadrado del coeficiente de regresión múltiple, recordando que R^2 se define como el por ciento de explicación ($R^2 = \text{Variación explicada} / \text{variación total}$) y el coeficiente de determinación ajustado para los grados de libertad del experimento.

Calcula también el error estándar medio (MAE) y el error estándar de estimación (que es la raíz cuadrada del error estándar medio y mide la variabilidad inexplicada en la variable dependiente).

El programa realiza también un análisis de la varianza para la regresión completa, por medio del cual calcula la suma de cuadrados del modelo, la suma de cuadrados del error y la total, así como los grados de libertad totales, los del modelo y los del error, la media de los cuadrados y la media del error, además de la razón F o relación de variación para la muestras. El valor F puede ser comparado con el de las tablas estadísticas o bien calculado como la probabilidad exacta (como el "valor P", el cual permite calificar directamente al modelo si el valor de P es mayor muy por arriba de 0.01 o 1% de significancia el modelo es improbable ya que la probabilidad de cometer un error tipo 1 sería muy alta). Se calculó además el coeficiente de correlación para los grados de libertad, el cual puede tomarse como una medida de la varianza explicada (Pedrero y Pangborn, 1989).

El programa sumaria los residuales y ofrece la medida del sesgo y la curtosis mediante los respectivos coeficientes comparados a valores estándar si la distribución hubiese sido o sea una distribución normal. Para el caso del coeficiente de sesgo, el sesgo positivo tiende a la derecha y un sesgo más negativo a la izquierda de la distribución, lo cual puede observarse en la dirección de las superficies de respuestas (apéndice B).

Para el caso de la curtosis, los coeficientes semejantes al valor estándar indican una distribución normal o "mesocúrtica", los más positivos una distribución puntiaguda o "leptocúrtica" y los más negativos una distribución aplastada o "platocúrtica" (Spiegel, 1990). Calcula también las matrices de correlación y los intervalos de confianza al 95%, los cuales no deben exceder los valores estimados de las variables independientes. Estos análisis se explican para cada experimento en sus respectivos apartados.

En los siguientes dos capítulos se presentan los resultados obtenidos de estos experimentos, así como su discusión detallada y las conclusiones que pueden derivarse de ellos y las recomendaciones para continuar con esta fase del proyecto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, para corroborar la hipótesis de trabajo propuesta y establecer un modelo que permita evaluar de manera objetiva la correlación entre esfuerzo cortante y deformación, para establecer parámetros de comparación entre masas de harinas nixtamalizadas y extrudidas rehidratadas, se llevó a cabo un diseño de experimentos con base en pruebas preliminares (las cuales se detallan en el apéndice B).

Se incluyeron experimentos en el extrusor de bajo costo existente, utilizando harina cruda de maíz de endospermo duro (malla 40), obtenida de maíz blanco cristalino tipo criollo y de maíz amarillo de importación usado para fabricar tortillas en el Distrito Federal.

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos.

IV.1. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados de la caracterización física de las materias primas y las harinas industriales nixtamalizadas usadas como testigo se presentan en la tabla 4-1. La tabla 4-2 da los datos bromatológicos y de color de las harinas en estudio.

Se puede observar de la tabla 4-1 que el contenido de impurezas tanto para el maíz blanco como para los testigos extremos (reventador y cacahuazintle) no es mayor del 3%. Sin embargo, el maíz amarillo de importación presenta un alto contenido de otras variedades principalmente maíz azul, el cual contiene alta cantidad de pigmentos que influyen de manera directa en la coloración de las tortillas y su aceptación psicológica.

De la prueba de dureza se observa (Tabla 4-1), al comparar la materia prima con respecto al maíz reventador (que puede considerarse de endospermo duro) y al maíz harinoso o cacahuazintle (considerado como un maíz de endospermo suave), que el maíz blanco puede caracterizarse como de endospermo duro y el amarillo como de dureza media.

De la tabla 4-1, al comparar los pesos hectolítricos, las densidades relativas y el peso de 1000 granos puede observarse que las materias primas (maíz blanco y maíz amarillo) son semejantes entre sí, mientras el maíz reventador y el harinoso tienen densidades más alta y más baja, respectivamente.

Las pruebas de granulometría por tamizado muestran que las harinas comerciales no cumplen con las características recomendadas por la norma vigente instaurada por la Secofi (Tabla 3-2).

Como éstas se emplearon como testigos, fue importante preparar masas y harinas nixtamalizadas de los granos en estudio, tratando de que éstas sí cumplieran con la norma oficial.

Con estas muestras patrón, además de las muestras comerciales, se llevaron a cabo experimentos reológicos en el viscoamilógrafo Brabender, con las suspensiones en agua caliente a diferentes temperaturas (elaboradas a partir de las dos harinas comerciales y de las obtenidas de la nixtamalización de los granos en estudio y de los granos testigos, palomero y cacahuazintle).

Los resultados obtenidos de las características reológicas de los testigos se presentan en las figuras 4-1 a la 3. Esta pruebas se realizaron según la metodología expuesta en el apartado III.2.3.2. De estas gráficas se tomaron como datos de comparación las viscosidades aparentes de gelatinización, que son los valores máximos de la viscosidad alcanzada cuando la temperatura permanece constante a 95°C por 20 minutos y la viscosidad máxima de retrogradación que es la viscosidad máxima cuando la temperatura ha descendido al mínimo de 50°C al final del experimento. Estos datos se resumen en la tabla 4-5.

La Fig. 4-1 muestra la comparación de los viscoamilogramas de harina de nixtamal comercial (MASECA), maíz blanco criollo nixtamalizado y harina de maíz blanco crudo. Se observa que las curvas de harina nixtamalizada comercial (MASECA) y de nixtamal de maíz producen curvas semejantes en la gelatinización pero, en el caso del nixtamal blanco alcanza 55 unidades viscoamilográficas más que la MASECA (viscosidad aparente) y 155 unidades más que la harina cruda en la viscosidad de retrogradación.

El nixtamal amarillo y la harina MINSA tienen curvas muy semejantes, tanto en la gelatinización como en la retrogradación y varían en promedio de la harina cruda de maíz amarillo en 115 y 265 unidades viscoamilográficas, respectivamente.

Las pruebas realizadas al testigo extremo (maíz reventador) muestran que cuando no se nixtamaliza ocurren muy levemente dichos fenómenos y, después del tratamiento térmico alcalino, se producen ligeramente ambos fenómenos. El caso contrario ocurre para el maíz de endospermo harinoso ("cacahuazintle"), el cual aún sin nixtamalizarse alcanza altos valores y después de dicho tratamiento la suspensión llegó a ser tan viscosa que al enfriarse a temperatura ambiente (20°C), prácticamente formó una gelatina.

Podría pensarse que estos cambios fueran debidos al cambio de organización molecular, como lo afirman Anderson y colaboradores, (1969) y Mercier y colaboradores, (1979).

Robles-de-la-Torre, en 1986, trató de demostrar el papel de los iones Ca⁺⁺ y OH⁻ en la gelatinización del maíz trabajando con harinas cocidas (maíz hervido), crudas y nixtamalizadas. Este autor concluyó que la gelatinización de los gránulos no es

homogénea (igual en todos los puntos del gránulo) y que, en la nixtamalización, el anión -OH lleva a cabo la hidrólisis de las matrices proteínicas y el catión Ca^{++} se asocia a las redes de amilosa, aunque su papel no está muy claro. El mismo autor encontró que, al incrementar la concentración de $Ca(OH)_2$ se incrementaba la viscosidad máxima y que la temperatura de máxima gelatinización se reducía de $92^{\circ}C$ hasta $76^{\circ}C$, donde se mantenía constante aunque se aumentara la concentración de la base.

En los experimentos aquí descritos podría suponerse que la penetración de iones se dificulta conforme aumenta la dureza del grano. Quizás el mayor grado de la gelatinización obtenido en un maíz harinoso se deba que sus proteínas no envuelven a los gránulos de almidón como ocurre con los maíces "criollos" y el agua no tiene que vencer la barrera proteínica para llegar al almidón.

Puede verse que los resultados de dureza parecen equipararse en el hecho de que a mayor dureza hay menor grado de gelatinización. Sin embargo, para corroborar cualquiera de estas hipótesis se requiere de un estudio más especializado que equivaldría a otro tema de investigación. Para este trabajo, los viscoamilogramas permiten observar un comportamiento semejante entre las materias primas en estudio y las harinas industriales comerciales de maíz nixtamalizado.

Con respecto de los análisis bromatológicos de las materias primas (Tabla 4-2), puede verse que cumplen con las normas establecidas por Secofi (contenidos de humedad, cenizas, proteína y extracto etéreo) (Tablas 3-1 y 3-3).

Para las determinaciones de lisina como factor nutricio (prueba realizada únicamente a las muestras de maíz blanco y maíz y maíz amarillo), los resultados presentados en las tablas 4-2 a la 4 indican que no hay diferencias significativas entre las harinas crudas y nixtamalizadas (al 0.1% de significancia), lo que hace prever que no haya disminución significativa de los contenidos de lisina a las condiciones de operación después de nixtamalizar y extrudir las muestras.

IV.2 ANALISIS BROMATOLOGICO DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

Como en el proceso de extrusión alcalina se produce la pérdida de humedad del producto ya que el agua sobrecalentada sufre una caída brusca de presión al salir el producto extrudido a la atmósfera, el producto se expande de manera simultánea (Williams y col., 1977 en Miller, 1985).

Este fenómeno podría producir cambios en las características bromatológicas de los productos extrudidos con respecto de los nixtamalizados (Tablas 4-3 y 4).

Tabla 4-1. Caracterización física de los granos y harinas comerciales nixtamalizadas

Característica física	Maíz blanco	Maíz amarillo	Maíz reventador	Maíz cacahuazintle
Peso hectolítrico (kg/hL)	77.80	71.05	84.90	61.3
Peso de 1000 granos	468.08	449.32	602.03	328.54
Densidad aparente (kg/L)	1.74	1.16	1.98	0.47
Grosor del pericarpio (mm)	0.12	0.15	0.17	0.042
Impurezas (g/100g)				
-totales	2.45	3.39	0.20	1.61
-picados	2.02	2.36	0.00	0.00
-rotos	0.43	0.70	0.00	1.41
-insectos	0.10	0.33	0.00	0.21
-otras variedades	0.00	2.75	0.00	0.00
Dureza % (% entero)	28.70	31.07	99.10	5.06
(% roto)	71.30	68.93	0.90	94.94
Granulometría: Base 50g harina HR 30%				
Tbs 21.1°C	Malla	Minsa	Maseca	
	100	32.5%	26.8%	
	80	44.7%	44.1%	
	40	15.2%	10.2%	
	Finos	7.6%	29.1%	

Tabla 4-2. Caracterización bromatológica de las harinas crudas y nixtamalizadas comparadas con las muestras testigo

Característica bromatológica	Tipo de harina			
	Maíz blanco crudo	Maíz amarillo crudo	Maíz blanco nixtamal	Maíz amarillo nixtamal
Humedad (g H ₂ O/100g)	12.71	12.01	10.00	10.90
Proteína (g/100g)	9.45	9.50	9.60	9.30
Lisina (g/100g proteína)	0.245	0.208	0.247	0.200
Grasa (g/100g)	4.63	4.66	4.80	4.29
Ceniza (g/100g)	1.74	1.65	2.20	2.10

Característica bromatológica	Tipo de harina			
	Reventador crudo	Cacahuazintle crudo	MINSA	MASECA
Humedad (g H ₂ O/100g)	12.90	11.70	10.80	10.12
Proteína (g/100g)	12.59	8.30	12.21	11.10
Grasa (g/100g)	4.17	4.25	4.60	4.66
Ceniza (g/100g)	1.80	1.60	1.70	2.10

Tabla 4-3. Caracterización colorimétrica y bromatológica de las harinas comerciales nixtamalizadas, así como de las elaboradas con las materias primas en estudio por el método de nixtamalización tradicional

Muestra	L	Color a	b	AE	Grasa	Ceniza
MINSA	81.0	-1.1	20.0	83.54	4.66	1.73
MASECA	84.0	-1.3	15.0	85.34	4.60	2.10
NIX BL	81.0	-1.0	18.3	83.04	4.80	2.20
NIX AM	82.0	-1.2	17.2	83.79	4.29	2.10
u =	82.0	-1.15	17.62	83.92	4.60	2.03
S =	3.0	0.129	2.09	0.99	0.21	0.20

Muestra	Proteína g/100g	Lisina g/100g	Triptofano g/100g
MINSA	12.21	0.24	0.060
MASECA	11.10	0.26	0.063
NIX BL	9.60	0.25	0.065
NIX AM	9.30	0.28	0.060
u =	10.55	0.25	0.062
S =	1.35	0.01	0.0024

u = Media aritmética
 S = Desviación estándar de la muestra
 C.V. = Coeficiente de variación

Tabla 4-4. Caracterización bromatológica de las muestras de harinas extrudidas deshidratadas en base seca, realizadas conforme al diseño del experimento

Muestra	Color			AE	Grasa	Ceniza
	L	a	b			
BL 25 120	77.3	-1.1	10.6	78.03	4.98	1.93
BL 25 105	82.6	-1.5	10.7	83.30	4.81	1.86
BL 25 90	78.6	-0.6	8.2	79.03	4.93	1.91
BL 20 120	77.1	-1.1	13.1	79.20	4.40	1.88
BL 20 105	72.9	-1.5	10.9	80.50	4.50	2.05
BL 20 90	61.9	-2.9	12.6	79.60	4.34	2.04
BL 15 120	77.3	-1.0	12.3	78.28	4.80	1.81
BL 15 105	82.3	-1.9	12.2	83.21	4.55	1.74
BL 15 90	78.3	-2.0	12.5	79.79	4.92	1.94
X =				80.10	4.700	2.030
Sx =				2.095	0.232	1.906
Sx-1 =				1.975	0.246	0.094
t =				-5.015	1.140	-3.705
AM 25 120	75.6	-0.8	12.9	76.70	4.61	1.91
AM 25 105	82.3	-0.5	9.3	82.83	4.80	1.75
AM 25 90	77.8	-1.3	15.9	79.42	4.05	2.09
AM 20 120	77.1	-1.1	8.8	77.61	4.82	2.06
AM 20 105	72.9	-1.5	9.1	73.48	3.95	1.98
AM 20 90	61.7	-2.9	14.7	63.49	4.08	1.64
AM 15 120	77.3	-1.0	8.9	74.94	4.91	2.89
AM 15 105	82.3	-1.9	10.5	79.82	4.02	1.90
AM 15 90	78.8	-2.0	10.3	77.91	4.77	1.85
X =				76.244	4.699	2.000
Sx =				5.197	0.231	0.334
Sx-1 =				5.512	0.245	0.360
t =				-3.838	1.140	0.236

X = Media aritmética
 Sx = Desviación estándar de la muestra
 Sx-1 = Desviación estándar de la población
 t = Valor estadístico de "student"

Cont. Tabla 4-4

Muestra	Proteína g/100g	Lisina g/100g	Triptofano g/100g
BL 25 120	10.05	0.20	0.064
BL 25 105	9.88	0.21	0.052
BL 25 90	9.79	0.24	0.067
BL 20 120	9.70	0.25	0.063
BL 20 105	9.67	0.28	0.058
BL 20 90	9.08	0.26	0.061
BL 15 120	9.74	0.21	0.063
BL 15 105	9.26	0.25	0.063
BL 15 90	9.07	0.28	0.060
X	= 9.582	0.242	0.060
Sx	= 0.336	0.028	3.54X10-3
Sx-1	= 0.356	0.030	3.67X10-3
t	= -7.700	0.737	-1.541
AM 25 120	9.92	0.24	0.063
AM 25 105	9.12	0.24	0.060
AM 25 90	9.16	0.28	0.067
AM 20 120	9.21	0.26	0.061
AM 20 105	9.34	0.21	0.064
AM 20 90	9.08	0.26	0.063
AM 15 120	9.89	0.24	0.059
AM 15 105	9.87	0.23	0.063
AM 15 90	9.92	0.26	0.064
X	= 9.50	0.0246	0.0626
Sx	= 0.363	0.0194	2.26X10-3
Sx-1	= 0.385	0.0206	2.39X10-3
t	= 7.780	-0.4667	-0.7810
X	=	Media aritmética	
Sx	=	Desviación estándar de la muestra	
Sx-1	=	Desviación estándar de la población	
t	=	Valor estadístico de "student"	

Tabla 4-5. Viscosidades de gelatinización y retrogradación para suspensiones al 14% de sólidos en base seca de harinas de maíz crudas y nixtamalizadas medidas en el viscoamilógrafo Brabender

Muestra	Viscosidad de gelatinización (Unidades Brabender)	Viscosidad de retrogradación (Unidades Brabender)
-MASECA	210	330
-Nixtamal de maíz blanco	225	385
-Maíz blanco crudo	105	230
-MINSA	230	420
-Nixtamal de maíz amarillo	220	430
-Maíz amarillo crudo	110	160
-Nixtamal de maíz reventador	80	170
-Maíz reventador crudo	10	40
-Nixtamal de maíz cacahuazintle	280	520
-Maíz cacahuazintle crudo	120	250

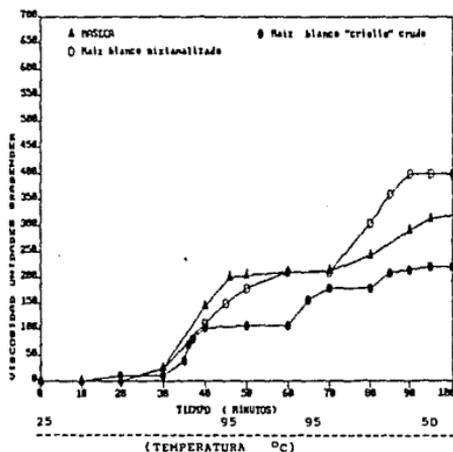


Figura 4-1. Análisis viscoamilográfico para maíz blanco crudo, maíz nixtamalizado y harina comercial MASECA

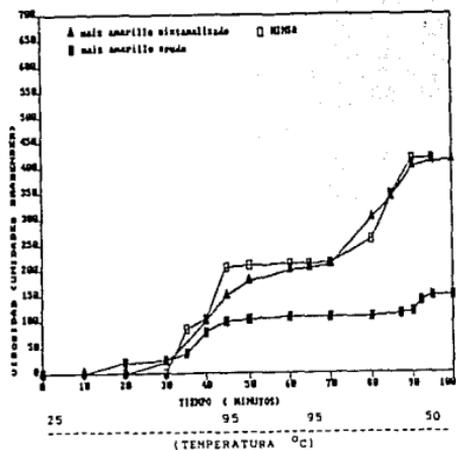


Figura 4-2. Análisis viscoamylográfico para harinas de maíz amarillo crudo, nixtamalizado y harina comercial MNSA

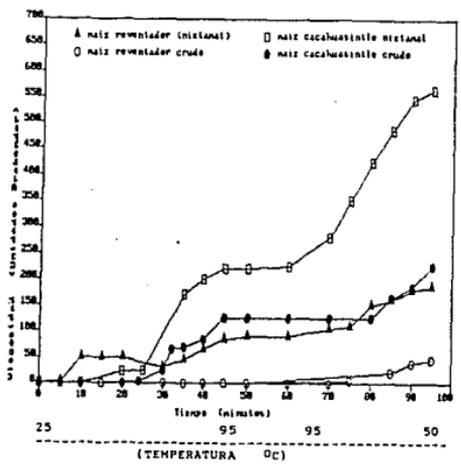


Figura 4-3. Análisis viscoamylográfico para los maíces: "reventador" (crudo y nixtamalizado) y "cacahuazintle" (crudo y nixtamalizado)

Para verificar si esta expansión súbita tiene algún efecto en el contenido de nutrimentos y si sufre algún deterioro se realizó un análisis proximal a las harinas extrudidas y como parámetro de comparación se usaron las medias aritméticas de los testigos y como medidas de variabilidad entre las muestras de diferentes tratamientos se utilizó la desviación estándar de la muestra, la de la población, el coeficiente de variación y el valor estadístico "t-student" (Spiegel, 1990). Este último parámetro permite comparar la variación de las medias de los experimentos con la media de los testigos, es decir:

Ho si $u = X$; No hay diferencia significativa
H1 si $u \neq X$; Si hay diferencia significativa

Como los experimentos constan de 9 resultados promedio, se consideran 8 grados de libertad para un análisis de dos colas al 0.05 de significancia encontrando que t debe estar en el intervalo de -2.31 a 2.31.

Teóricamente no debieran variar los porcentajes en las composiciones pero, observando la tabla C-1 del apéndice C, se verá que los productos extrudidos a 180°C solo dan resultados que no tienen diferencias significativas para cenizas con respecto al valor de la media de los testigos. Los productos extrudidos obtenidos a esta alta temperatura tienen forma de hojuelas de color pardo intenso, muy quebradizas, que al molerse no forman suspensiones en agua sino que parte se disuelve y parte se precipita, como si hubiesen ocurrido reacciones de caramelización o de desnaturalización de proteínas.

Los extrudidos elaborados con 3% de cal a 160 y 140°C en las pruebas preliminares tienen un intenso color amarillo y textura plástica (masas que rebotan) lo que indica que hubo un cambio considerable en la reología de las masas resultantes.

Mercier y colaboradores (1979), trabajando con almidones de maíz extrudidos a baja humedad 13% y a altas temperaturas (170 a 225°C) informan que ocurren cambios estructurales en la molécula de amilosa, encontrados por medio de cristalografía de rayos X. La estructura estable de la amilosa llamada "V" se transforma en una estructura metaestable conocida como amilosa "E". La primera estaba formada por seis residuos de glucosa separados 1.38 nm, la segunda por siete residuos de glucosa separados 1.50 nm. Esta segunda estructura se retransformaba en la primera al hidratar al 30 por ciento. Sin embargo, esto no se puede probar con estos experimentos y será recomendable trabajar en ello posteriormente si se desea corroborar este aserto.

El análisis de proteínas no muestran variación significativa al 0.01 (nivel de significancia) entre las medias de los productos extrudidos de maíces blanco y amarillo. Con respecto a los testigos, los valores de t "student" son de -7.70 y -7.78 para harinas de maíz blanco y amarillo, respectivamente. Si se consideran los promedios de MINSA y MASECA y de 1.01 y 0.367 cuando se refiere a la media de los productos nixtamalizados.

Como se mencionó antes, Smietzana y col., (1986), informaron que las proteínas de la leche se asociaban a los carbohidratos lo que reducía su digestibilidad. Sin embargo, la metodología Kjeldahl para cuantificar nitrógeno, no daría un valor confiable para medir una diferencia estructural de las proteínas. Si alguien deseara hacer un estudio nutricio debería someterlas a una prueba de digestibilidad in vitro o in vivo.

Para el caso de grasas no se encuentran tampoco diferencias significativas entre ambos granos con respecto a los testigos.

Para el caso de cenizas ocurre lo mismo, lo cual indica que tienen proporciones semejantes de hidróxido de calcio que los testigos nixtamalizados.

Para los contenidos de lisina y triptofano no hay tampoco diferencias significativas, ya que aunque cambiara la estructura cuaternaria de la proteína no variarían las proporciones de la misma. Para el caso de las pruebas preliminares, en los productos elaborados a 180°C no se detectaron proteínas probablemente por la desaminación de las mismas.

Si se observa la tabla C-2 del apéndice C se verá que al calcular los calores específicos de las harinas humedecidas antes de la extrusión, usando las ecuaciones de Shepherd y Bhardwaj (1986), estos disminuyen de manera directamente proporcional a la humedad, lo que debe de influir de manera directa en la transferencia de calor durante la extrusión y, en consecuencia, en el grado de gelatinización del almidón.

IV.3 ANALISIS ESTADISTICOS GENERALES

Como parámetros de respuesta se tomaron el comportamiento reológico y mecánico de suspensiones, atoles, masas y tortillas para comparar los productos elaborados por nixtamalización con los producidos por extrusión alcalina y con los elaborados con las harinas comerciales.

Para el análisis de datos, como ya se dijo, se aplicó un modelo de superficie de respuesta como el que ha sido aplicado por Artz y colaboradores (1990), por medio del programa computacional Statgraphics para obtener una respuesta tipo polinomial del tipo:

$$Y = b_0 + b_{11}X_1 + b_{22}X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 + e \quad (4.1)$$

En esta ecuación, Y = viscosidad aparente, X₁ = Porcentaje de humedad, X₂ = temperatura de extrusión, y e = error experimental. Esto permite determinar la influencia de cada condición de operación en una respuesta.

Las tablas 4.6 recopila los coeficientes de regresión para las siete diferentes pruebas realizadas en masas, tortillas,

supensiones y atoles de harinas extrudidas para la ecuación 4.1, además de la suma del error experimental estimado como desviaciones de regresión en el modelo propuesto.

Como un parámetro de comparación se midieron las diferencias entre la media de los testigos y la media de las muestras, mediante las hipótesis (para un análisis de dos colas, véanse las tablas D-1 y D-2 del apéndice D):

- H1 Si $u = X$ no hay diferencia significativa (4-2)
- H2 Si $u \neq X$ si hay diferencia significativa (4-3)

u = media de los testigos
 X = media de los extrudidos

para lo cual se tomó como referencia el valor estadístico "t student" para dos colas y la distribución F para ambas, al 5 y 1% de significancia. Los resultados se discuten más ampliamente en el próximo apartado.

Si se observan las tablas del apéndice B, podrá notarse que el programa "Statgraphics", además de realizar la regresión, ofrece un análisis estadístico completo de la regresión polinomial realizada, los coeficientes de regresión para cada variable independiente y el error estándar.

Por otro lado, calcula el "valor t" (el cual se obtiene de dividir el coeficiente de regresión entre el error estándar) que mide la contribución marginal de cada variable independiente como si ésta hubiera sido la última que se introdujera en el modelo y el nivel de significancia para cada "valor t", dando la más alta probabilidad de que ocurra un error tipo 1, si éste fuera una contribución no marginal de la variable.

Una variable que presentara un menor nivel de significancia está más altamente correlacionada y, por lo tanto, demuestre más influencia en el fenómeno.

Tabla 4-6 a. Media de los valores de los testigos para las pruebas realizadas en harinas nixtamalizadas y sus derivados.

Masas		Tortillas	Harinas	
Compresión (Resist. kgf)	Módulo de la elasticidad (New/cm2)	Penetración (Resist. kgf)	ISA (g/g)	IAA (g/g)
370	3.5440	1.875	0.0396	3.4797

Suspensiones

17.5% (b.s) cruda n (cP/rpm)	5% (b.s.) cocida n (cP/rpm)
-0.6288	-0.03181

Tabla 4-6 b. Matrices de tratamientos y totales para las pruebas realizadas con harinas de maíz blanco extrudidas alcalinamente.

	Masas		Tortillas
	Compresión (Resist. kgf) (New/cm2)	Módulo de la elasticidad	Penetración (Resist. kgf)
BL 25 120	360	3.7210	1.40
BL 25 105	340	2.9963	1.20
BL 25 90	245	2.7497	1.05
BL 20 120	350	3.1704	1.00
BL 20 105	310	2.3489	0.90
BL 20 90	230	2.3149	0.55
BL 15 120	350	3.0360	0.90
BL 15 105	200	1.9469	0.70
BL 15 90	140	1.4984	0.475
Coeficientes de regresión			
BO	277.23	2.5289	0.8417
B1	25.84	0.4016	0.2625
B2	74.16	0.6379	0.2041
B3	-40.83	0.1856	0.1375
B4	29.17	0.0203	-0.0375
B5	-23.75	-0.1767	-0.0187
Valor t para			
BO	11.5303	12.4345	20.1441
B1	1.9617	3.6053	11.4704
B2	5.6320	5.7266	6.9214
B3	-1.7902	0.9624	3.4689
B4	1.2727	0.1056	-0.9461
B5	-1.4725	-1.2952	-0.6670
Nivel de significancia para			
BO	0.0014	0.0011	0.0003
B1	0.1446	0.0366	0.0014
B2	0.0111	0.0106	0.0056
B3	0.1714	0.4069	0.0404
B4	0.2909	0.9225	0.4159
B5	0.2373	0.2859	0.5514
ANOVA			
CFc mult. (R2)	0.9341	0.9416	0.9868
CFsesgo	0.0520	0.1682	0.1357
CFcurtosis	-0.3217	-0.3886	-0.3249
CFcurtosis (estandar)	-0.1970	-0.2381	-0.3989
Valor F	8.5151	0.6815	44.9072
Valor P	0.0540	0.0454	0.0050

Continuación tabla 4-6 b

	Suspensiones		Harinas	
	17.5% (b.s) cruda n (cP/rpm)	5% (b.s.) cocida n (cP/rpm)	ISA (g/g)	IAA (g/g)
BL 25 120	-0.6805	-0.3473	0.0434	2.8714
BL 25 105	-0.3383	-0.2420	0.0413	2.7328
BL 25 90	-0.4752	-0.3033	0.0373	2.5492
BL 20 120	-0.6490	-0.3889	0.0389	2.7444
BL 20 105	-0.5052	-0.3908	0.0388	2.7266
BL 20 90	-0.0816	-0.3869	0.0348	2.6890
BL 15 120	-0.4913	-0.4133	0.0345	2.6937
BL 15 105	-0.0180	-0.5433	0.0339	2.6023
BL 15 90	-0.0098	-0.4473	0.0277	2.3618
Coefficientes de regresión				
BO	-0.3282	-0.3963	0.0387	2.7437
B1	-0.1477	0.0853	0.0043	0.0826
B2	-0.1942	-0.0020	0.0028	0.1182
B3	-0.0616	0.0059	-0.0011	-0.0848
B4	-0.1255	0.0112	-0.0019	-0.0356
B5	0.0468	-0.0195	-0.0001	-0.0024
Valor t para				
BO	-2.4759	-8.0629	32.1487	39.4177
B1	-2.0340	3.1713	10.6076	2.1665
B2	-2.6750	-0.0743	6.9586	3.1016
B3	0.4900	0.1276	-1.6307	-1.2842
B4	-0.9980	0.2402	-2.6941	-0.5359
B5	0.5271	-0.5914	-0.3509	-0.0519
Nivel de significancia para				
BO	0.0896	0.0040	0.0000	0.0000
B1	0.1348	0.0504	0.0018	0.1188
B2	0.0754	0.9455	0.0061	0.0532
B3	0.6577	0.9065	0.2015	0.2893
B4	0.3918	0.8257	0.0742	0.6268
B5	0.6346	0.5959	0.7486	0.9618
ANOVA				
CF _{mult.} (R ²)	0.8103	0.7755	0.9827	0.8442
CF _{sesgo}	0.0162	-0.1311	-0.0525	0.2796
CF _{curtosis}	-0.2927	-0.2870	-0.4711	-1.6332
CF _{curtosis} (estandar)	-0.1792	-0.1757	-0.2885	-1.0018
Valor F	2.5613	2.0973	34.1715	3.2513
Valor P	0.2345	0.2878	0.0017	0.1803

Tabla 4-6 c. Matrices de tratamientos y totales para las pruebas realizadas con harinas de maíz amarillo extrudidas alcalinamente.

	Masas		Tortillas
	Compresión (Resist. kgf) (Newton/cm ²)	Módulo de la elasticidad	Penetración (Resist. kgf)
AM 25 120	580	3.6396	1.35
AM 25 105	340	3.1745	1.00
AM 25 90	320	3.1189	0.90
AM 20 120	345	3.1738	0.95
AM 20 105	280	2.2720	0.70
AM 20 90	220	2.5123	0.50
AM 15 120	340	2.576	0.75
AM 15 105	200	2.1810	0.60
AM 15 90	210	1.3485	0.50
Coeficientes de regresion			
BO	240.00	2.3996	0.9658
B1	81.67	0.5607	0.2333
B2	85.83	0.4976	0.1916
B3	50.00	0.3177	0.1334
B4	62.50	0.0466	-0.0583
B5	32.50	-0.1415	-0.0500
Valor t para			
BO	7.4251	22.5702	17.8520
B1	4.6129	9.6293	11.2250
B2	4.8403	8.5454	9.2205
B3	1.6306	3.1499	3.7033
B4	2.0382	0.4625	1.6202
B5	1.4989	-1.9851	1.9604
Nivel de significancia para			
BO	0.0051	0.0002	0.0004
B1	0.0192	0.0024	0.0015
B2	0.0167	0.0034	0.0027
B3	0.2015	0.0513	0.0342
B4	0.1343	0.6752	0.2036
B5	0.2309	0.1414	0.1443
ANOVA			
CFcrrmult. (R2)	0.9472	0.9835	0.9871
CFsesgo	-0.2167	0.4889	-0.5563
CFcurtosis	-0.4054	-0.4647	-1.3352
Cfcurtosis (estandar)	-0.2482	-0.4846	-0.8176
Valor F	10.7690	35.9643	46.2429
Valor P	0.0392	0.0070	0.0049

Continuación tabla 4-6 c

	Suspensiones		Harinas	
	17.5% (b.s) cruda n (cP/rpm)	5% (b.s.) cocida n (cP/rpm)	ISA (g/g)	IAA (g/g)
AM 25 120	-0.6015	-0.3161	0.0297	2.8290
AM 25 105	-0.6731	-0.3794	0.0031	2.6292
AM 25 90	-0.5930	-0.3047	0.0072	2.5929
AM 20 120	-0.4477	-0.3428	0.0016	2.8873
AM 20 105	-0.6243	-0.2335	0.0281	2.7022
AM 20 90	-0.3741	-0.2854	-0.0001	2.5416
AM 15 120	-0.6518	-0.2069	0.0001	2.6700
AM 15 105	-0.3897	-0.2831	0.0280	2.6203
AM 15 90	-0.0668	-0.2625	0.0213	2.4200
Coeficientes de regresión				
B0	-0.5530	-0.2964	0.0387	2.7062
B1	-0.1265	-0.0412	0.0043	0.0568
B2	-0.1112	-0.0023	0.0028	0.1386
B3	-0.0139	-0.0048	-0.0011	-0.0834
B4	0.1065	0.0124	-0.0019	0.0062
B5	0.1441	-0.0169	-0.0001	-0.0034
Valor t para				
B0	-7.5858	-6.5631	21.3798	57.9653
B1	-3.1690	-1.675	4.1512	2.2212
B2	-2,7842	-0.0929	9.5616	5.4214
B3	-0.2017	-0.112	1.2127	-1.8845
B4	1.5405	0.2900	-0.1137	0.1407
B5	2.9468	-0.5605	0.1340	-0.1110
Nivel de significancia para				
B0	0.0048	0.0071	0.0002	0.0000
B1	0.0505	0.1923	0.0253	0.1129
B2	0.0687	0.9319	0.0024	0.0123
B3	0.8531	0.9174	0.3120	0.1560
B4	0.2211	0.7907	0.9167	0.8970
B5	0.0602	0.6143	0.9019	0.9187
ANOVA				
CFc mult. (R2)	0.9059	0.5183	0.9775	0.9266
CF sesgo	0.5385	0.0955	0.3221	0.1004
Cfcurtosis (estándar)	-0.2235	-0.1839	-0.3183	-0.9043
Cfcurtosis	-0.3649	-0.3003	-0.5198	-1.4768
Valor F	5.7784	0.6456	22.0415	7.5818
Valor P	0.0898	0.6884	0.0143	0.0630

IV.4 EXPERIMENTOS REALIZADOS CON EL VISCOSIMETRO BROOKFIELD

IV.4.1 Análisis reológico de suspensiones de harina extrudida

Las figuras 4-4 a 4-7 presentan los resultados obtenidos para las suspensiones de harinas nixtamalizadas y extrudidas al 17.5% de sólidos en base seca. En la figura 4-4 puede verse que, para los testigos MINSA y MASECA se tienen comportamientos muy semejantes y que para las suspensiones de harina extrudida (cuando se analizan en el viscosímetro Brookfield con una gráfica viscosidad aparente vs. rpm) se presentaron problemas de tixotropía (caída de la viscosidad aparente con el tiempo hasta alcanzar la estabilización). Esto se explica más adelante.

Para poder realizar un análisis comparativo se tomaron las lecturas de la carátula cada minuto y por duplicado (diferente muestra). Esta gráfica parece indicar un comportamiento pseudoplástico de las muestras estudiadas. Por lo mismo, se ajustaron las curvas por regresión lineal logarítmica para obtener los valores de las pendientes (que pueden considerarse iguales al índice de comportamiento n , en cp/rpm). Estos son de signo negativo, es decir, que para la ecuación:

$$t = K \left(-\frac{dv}{dr} \right)^n \quad (4-4)$$

donde

t = esfuerzo cortante
 k = viscosidad aparente
 v = velocidad de corte
 r = radio del recipiente
 n = índice de comportamiento ($n < 0$)

Los índices de comportamiento sirvieron como un número comparativo entre las suspensiones de harina para poder estudiarlos en una matriz de superficie de respuesta. Si se observan las figuras 4-5 a 4-7 se podrá ver que, para maíz blanco, las muestras BL 25 120, BL 20 120, BL 20 105 y BL 25 105, se aproximan más al comportamiento de los testigos, mientras los productos extrudidos a 90°C muestran bajas viscosidades, debidas posiblemente a una baja gelatinización del almidón y menor solubilidad.

Para el caso de la muestra BL 15 120 podría ocurrir lo que Robles-de-la-Torre (1986) afirma, esto es, que cuando se extrude a bajas humedades y altas temperaturas no ocurre propiamente la gelatinización, sino la fusión de las zonas cristalinas produciendo harinas inadecuadas para fabricar tortillas. Para el caso del maíz amarillo las muestras AM 25 105, AM 20 120, y AM 20 105 se asemejan más a los testigos, mientras que las muestras AM 25 120 y AM 25 90 parecen estar sobregelatinizadas. El resto de las muestras presenta baja solubilidad.

Las figuras 4-8 a 4-14 presentan las regresiones lineales logarítmicas y las ecuaciones con los valores de las pendientes o índices de comportamiento (obtenidos de las figuras 4-4 a 4-7).

Durante el experimento pudieron observarse las siguientes interferencias:

- * La precipitación de conglomerados de diferentes tamaños lo que genera fuerzas perpendiculares al huso.
- * No hay una geometría bien definida de el huso utilizado (No. 1) ya que no es un cilindro ni es un disco. Se escogió este huso por ser el más grande y aún así se observó que se genera movimiento solamente en la capas concéntricas pegadas al huso, mientras que en la pared del vaso no se registra movimiento.
- * El modelo de Mitchka (1982) no toma en cuenta los pares de torsión generados bajo el huso hueco, ni por la sedimentación, ni por las partículas que precipitan sobre el huso.

IV.4.2 Análisis estadístico del experimento

Para suspensiones de harina de maíz blanco:

Si se observa la tabla 4-6b en el apartado de suspensiones al 17.5% de sólidos en base seca, que concentra los datos de la tabla B1 para las respuestas del experimento y la tabla B2 para el análisis estadístico del experimento. se vera que el índice de comportamiento reológico tiene un bajo coeficiente de de determinación múltiple $R^2 = 0.8103$ o el 81.03% de varianza explicada la probabilidad de cometer un error tipo 1 $P = 23.45\%$ de ahí que el modelo se convierte en improbable y no sirve para predecir resultados confiables. Si se observan las figuras B1 a B4 del apéndice B se vera que la forma de las superficies y contornos de respuesta es parecida a una "silla romana" esto habla de una falta de conocimiento de las condiciones del experimento sobre todo hacia los valores menores de temperatura y humedad que precisamente son aquellas harinas menos cocidas y presentan problemas por precipitación de conglomerados al realizar las mediciones.

Para suspensiones de harina de maíz amarillo:

Si se observa la tabla 4-6c en el apartado de suspensiones al 17.5% de sólidos en base seca, que concentra los datos de la tabla B1 para las respuestas del experimento y la tabla B2 para el análisis estadístico del experimento. se vera que el índice de comportamiento reológico tiene un muy bajo coeficiente de determinación múltiple $R^2 = 0.7492$ o el 74.92% de varianza explicada la probabilidad de cometer un error tipo 1 $P = 8.98\%$ de ahí que el modelo se convierte en poco probable y no sirve para predecir resultados confiables. Si se observan las figuras

B5 a B7 del apéndice B se vera que la forma de las superficies y contornos de respuesta tiende a ser catastrófica lo que habla de factores que escaparon al control durante el experimento tales como la lenta precipitación de partículas en las suspensiones de harinas menos cocidas por baja humedad y baja temperatura y los problemas de tixotropía por reacomodo de capas. Puede verse que al lado de las gráficas de regresión hay unas ecuaciones calculadas por el programa, estas se concentran en la tabla 4-6d de la página 75 al final del apartado de este trabajo relativo a suspensiones .

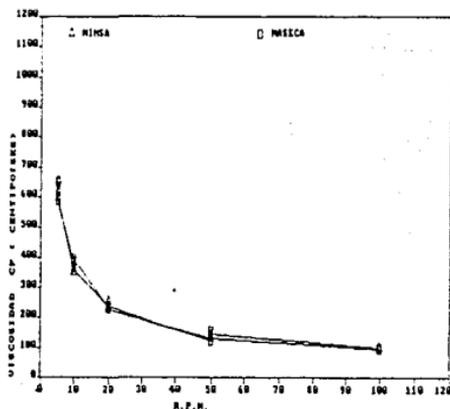


Figura 4-4. Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 17.5% (b.s.) para harinas comerciales (MINSA y MASECA)

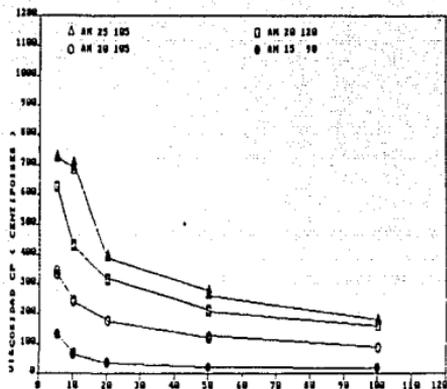


Figura 4-5. Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 17.5% de sólidos (b.s.) para harinas extrudidas de maíz blanco)

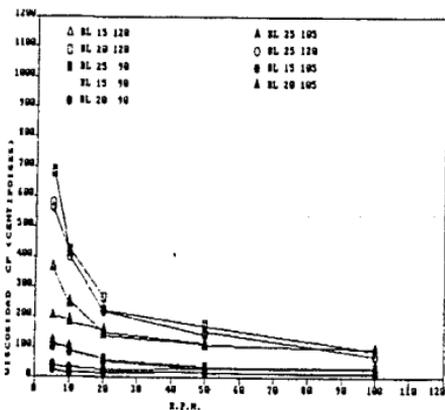


Figura 4-6 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 17.5% de sólidos (b.s.) para harinas extrudidas de maíz amarillo

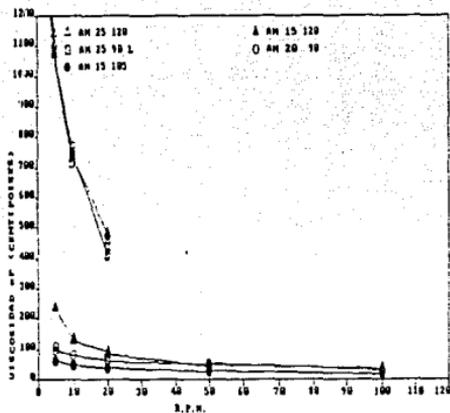


Figura 4-7 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 17.5% de sólidos (b.s.) para harinas extrudidas de maíz amarillo

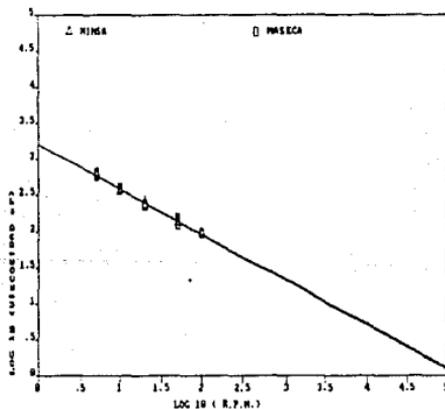


Figura 4-8. Regresión lineal de las curvas de la figura 4-

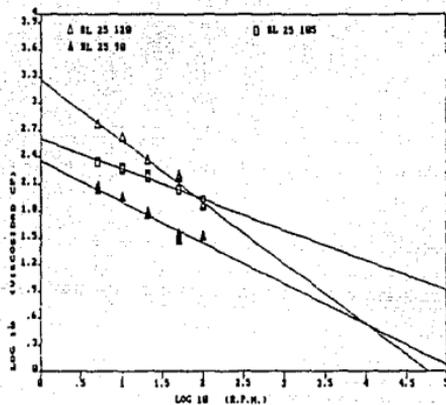


Figura 4-9. Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz blanco extrudido al 25% de humedad)

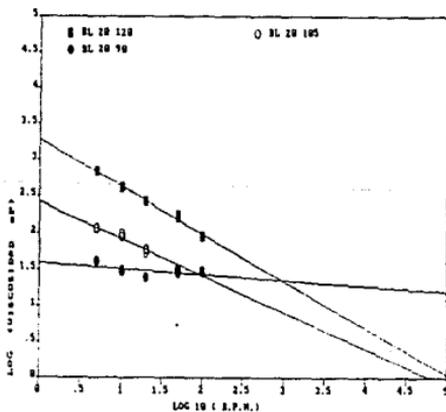


Figura 4-10 Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz blanco extrudido al 20% de humedad)

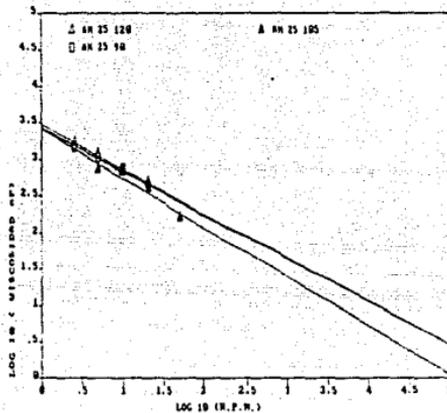


Figura 4-11 Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz blanco extrudido al 15% de humedad)

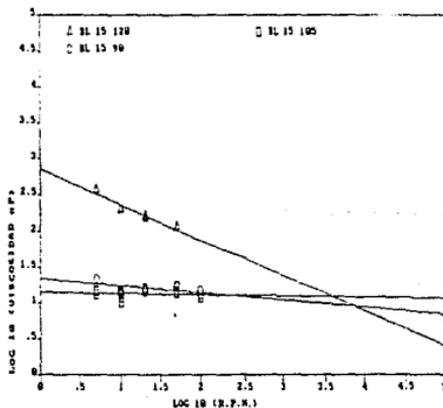


Figura 4-12 Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz amarillo extrudido al 25% de humedad)

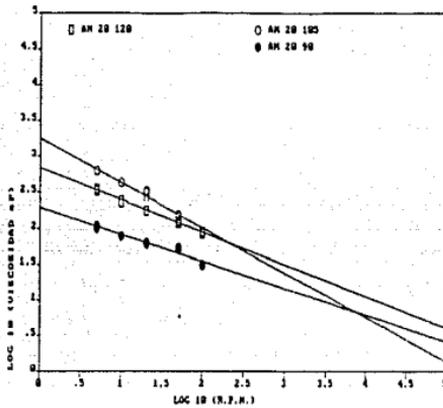


Figura 4-13 Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz amarillo extrudido al 20% de humedad)

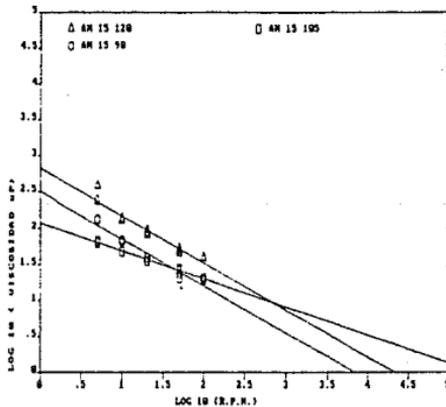


Figura 4-14 Regresión lineal de las curvas de la figura 4- (maíz amarillo extrudido al 15% de humedad)

IV.4.3 Análisis reológicos de suspensiones de harina extrudida al 5% en base seca tratadas térmicamente ("atoles")

Si se observan las figuras 4-15 a 4-22 podrán apreciarse las curvas de viscosidad aparente (cP) vs rpm. A simple vista, las figuras 4-15 y 4-16, que pertenecen a los testigos, aparentemente son curvas o al menos tienden a serlo. Sin embargo, las figuras 4-17 a 4-19 para "atoles" de maíz blanco no parecen presentar ninguna, lo mismo ocurre para las figuras 4-20 a 4-22 que no presentan una trayectoria curva bien definida.

Las figuras 4-23 a 4-29 que son las regresiones de los datos de las figuras anteriores no ofrecen a simple vista alguna similitud o variación significativa. Por ello, es necesario recurrir nuevamente al análisis estadístico y decidir sobre la validez del experimento reológico realizado.

En este experimento se eliminaron los problemas por precipitación. Sin embargo, pudo apreciarse una similitud con el experimento anterior, esto es, movimiento en las capas aledañas al huso y no en las paredes. También parece ser que el modelo de Mitchka (1982) no es adecuado para explicar este comportamiento ya que no considera las fuerzas y pares de torsión generados arriba y al interior del huso, por lo que este experimento no permite medir el grado de cocimiento de las harinas durante el proceso de extrusión. Además, parece ser que el segundo tratamiento térmico después de la extrusión influye notablemente en el comportamiento reológico. Esto deberá estudiarse a posteriori, ya que las harinas son usadas para hacer tortillas, las cuales tienen un cocimiento después del que ya tuvo la harina.

IV.4.4 Análisis estadístico del experimento

Para suspensiones elaboradas con harinas de maíz blanco:

Si se observa la tabla 4-6b que concentra los datos de las tablas B4 y B5 del apéndice B, en el apartado para suspensiones cocidas o "atoles" podrá verse que la explicación del fenómeno es muy pobre ($R^2=0.7755$ o 77.55% de explicación) y el valor "P" o probabilidad de cometer un error tipo 1 es 28.78%. De ahí se tiene un modelo improbable sin correlación e inconfiable para predecir resultados.

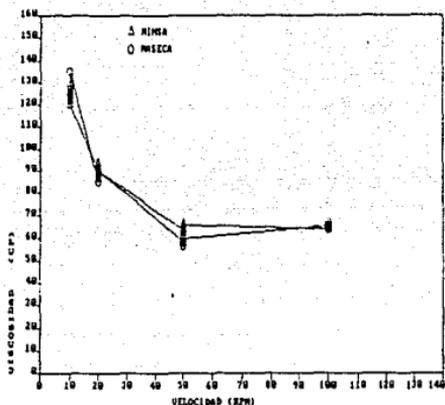


Figura 4-15 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones de harinas comerciales (MINSA y MASECA) al 5% de sólidos y tratadas térmicamente ("atoles")

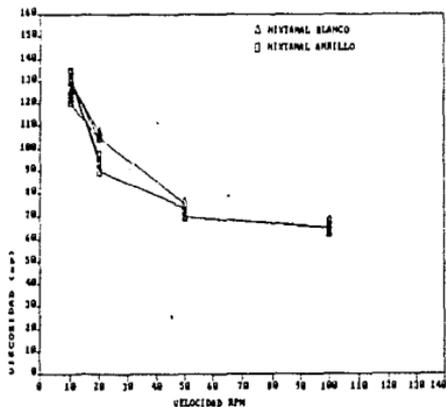


Figura 4-16 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harinas de maíz nixtamalizado tradicionalmente y tratadas térmicamente ("atoles")

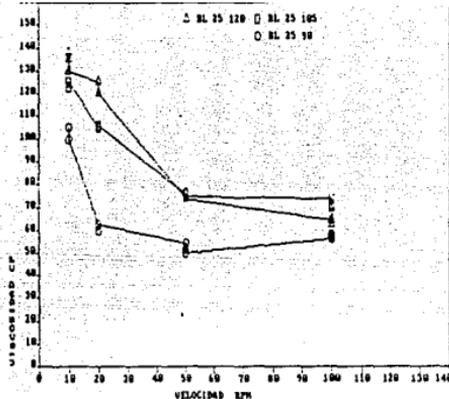


Figura 4-17 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz blanco extrudida al 25% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

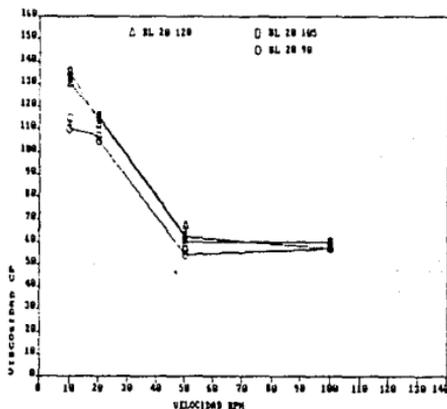


Figura 4-18 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz blanco extrudida al 20% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

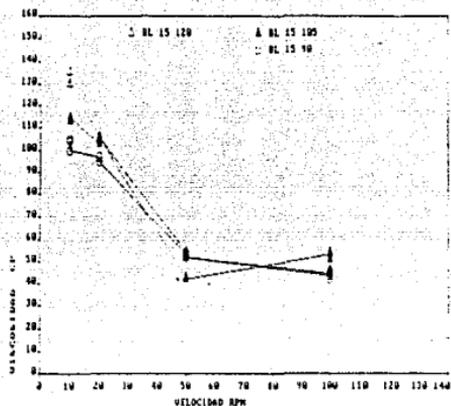


Figura 4-19 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz blanco extrudida al 15% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

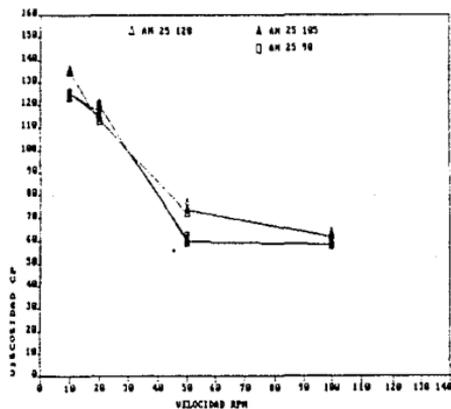


Figura 4-20 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz amarillo extrudidas al 25% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

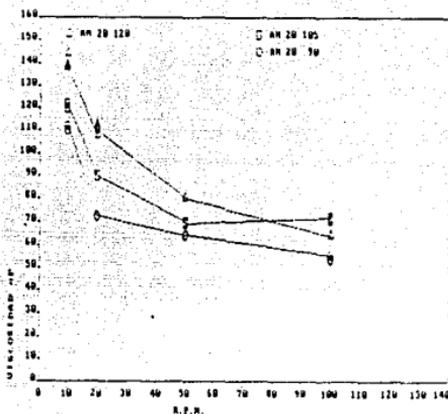


Figura 4-21 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz amarillo extrudidas al 20% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

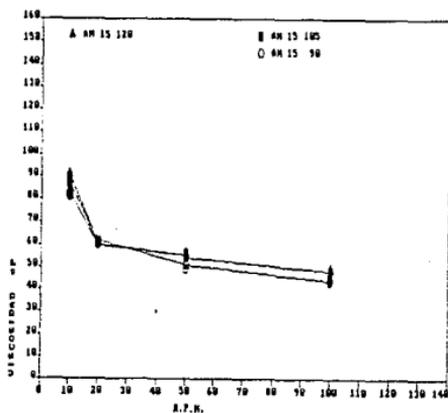


Figura 4-22 Variación de la viscosidad aparente para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina de maíz amarillo extrudidas al 15% de humedad (b.s.) y tratadas térmicamente ("atoles")

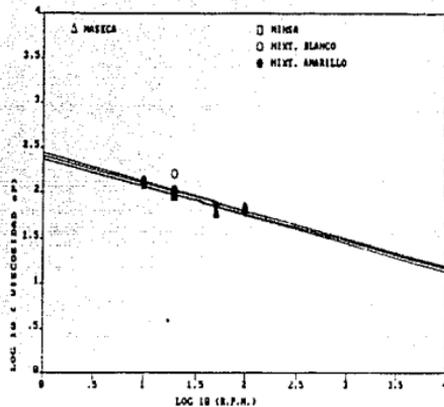


Figura 4-23. Regresión lineal para las figuras 4-15 y 4-16

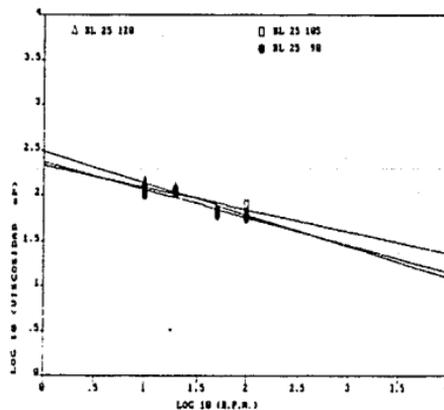


Figura 4-24. Regresión lineal para la figura 4-17

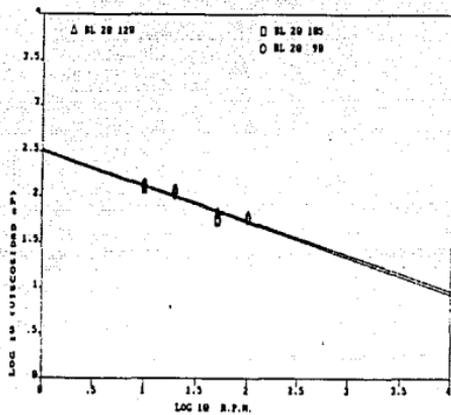


Figura 4-25. Regresión lineal para la figura 4-18

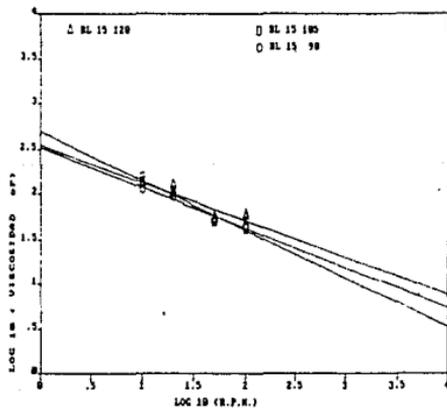


Figura 4-26. Regresión lineal para la figura 4-19

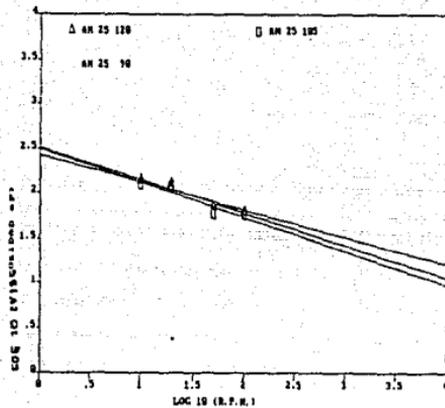


Figura 4-27. Regresión lineal para la figura 4-20

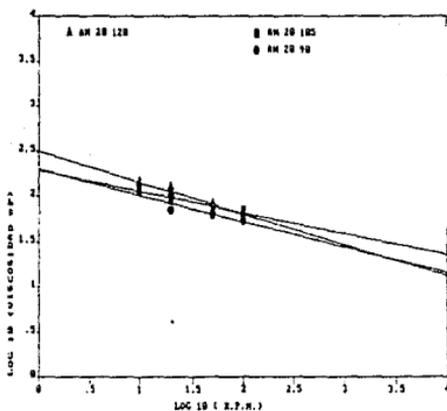


Figura 4-28. Regresión lineal para la figura 4-21

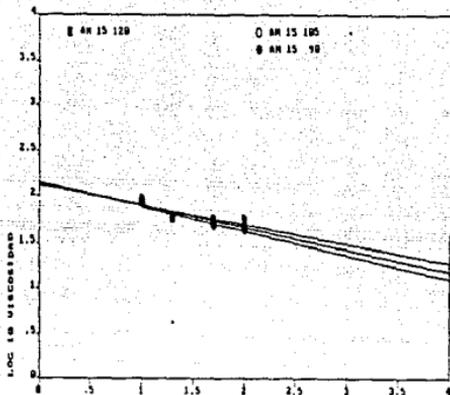


Figura 4-29. Regresión lineal para la figura 4-2

Si se observan las figuras B8 y B9 del apéndice B para la superficie y contorno de respuesta, se observará un elevado paralelismo al eje de la temperatura. Esto indica que a pesar de que el segundo tratamiento térmico fue realizado isocrónicamente y bajo agitación para lograr una transferencia de calor homogénea esta no se llevo a cabo debido posiblemente a que se forman conglomerados de diferentes diámetros y grados de gelatinización del almidón, lo que en consecuencia provoca que la transferencia de calor no sea uniforme.

Para suspensiones elaboradas con harinas de maíz amarillo:

Si se observa la tabla 4-6c, que concentra los datos de las tablas B4 y B6 del apéndice B, en el apartado para suspensiones cocidas o "atoles" podrá verse que la explicación del fenómeno es muy pobre ($R^2=0.5183$ o 51.83% de explicación) y el valor "P" o probabilidad de cometer un error tipo 1 es 68.84%. De ahí se tiene un modelo improbable sin correlación e inconfiable para predecir resultados.

Tabla 4-6d Concentrado de ecuaciones de regresión desarrolladas para los análisis realizados con el viscosímetro Brookfield

 Para suspensiones al 17.5% de sólidos en base seca

	Y (cP) = n (cP/rpm)	*	X (rpm)	+	B (cP)
MINSA	Log10 (u) = -0.6241	*	Log10(rpm)	+	3.203
MASECA	Log10 (u) = -0.6155	*	Log10(rpm)	+	3.201
BL 25 120	Log10 (u) = -0.6805	*	Log10(rpm)	+	3.245
BL 25 105	Log10 (u) = -0.3383	*	Log10(rpm)	+	2.600
1L 25 90	Log10 (u) = -0.4572	*	Log10(rpm)	+	2.352
BL 20 120	Log10 (u) = -0.6490	*	Log10(rpm)	+	3.283
BL 20 105	Log10 (u) = -0.5062	*	Log10(rpm)	+	2.429
BL 20 90	Log10 (u) = -0.0816	*	Log10(rpm)	+	1.595
BL 15 120	Log10 (u) = -0.4913	*	Log10(rpm)	+	2.851
BL 15 105	Log10 (u) = -0.0186	*	Log10(rpm)	+	1.149
BL 15 90	Log10 (u) = -0.0985	*	Log10(rpm)	+	1.337
AM 25 120	Log10 (u) = -0.6015	*	Log10(rpm)	+	3.464
AM 25 105	Log10 (u) = -0.6731	*	Log10(rpm)	+	3.416
AM 25 90	Log10 (u) = -0.5930	*	Log10(rpm)	+	3.426
AM 20 120	Log10 (u) = -0.4477	*	Log10(rpm)	+	2.845
AM 20 105	Log10 (u) = -0.6243	*	Log10(rpm)	+	3.256
AM 20 90	Log10 (u) = -0.3741	*	Log10(rpm)	+	2.288
AM 15 120	Log10 (u) = -0.6518	*	Log10(rpm)	+	2.821
AM 15 105	Log10 (u) = -0.3897	*	Log10(rpm)	+	2.075
AM 15 90	Log10 (u) = -0.6486	*	Log10(rpm)	+	2.495

Para suspensiones 5% de sólidos en base seca, cocidas ("atoles")

	Y (cP) = n (cP/rpm)	*	X (rpm)	+	B (cP)
MINSA	Log10 (u) = -0.3089	*	Log10(rpm)	+	2.369
MASECA	Log10 (u) = -0.3003	*	Log10(rpm)	+	2.306
BL 25 120	Log10 (u) = -0.3473	*	Log10(rpm)	+	2.484
BL 25 105	Log10 (u) = -0.2420	*	Log10(rpm)	+	2.330
BL 25 90	Log10 (u) = -0.3033	*	Log10(rpm)	+	2.368
BL 20 120	Log10 (u) = -0.3889	*	Log10(rpm)	+	2.521
BL 20 105	Log10 (u) = -0.3908	*	Log10(rpm)	+	2.496
BL 20 90	Log10 (u) = -0.3869	*	Log10(rpm)	+	2.510
BL 15 120	Log10 (u) = -0.4133	*	Log10(rpm)	+	2.536
BL 15 105	Log10 (u) = -0.5443	*	Log10(rpm)	+	2.694
BL 15 90	Log10 (u) = -0.4473	*	Log10(rpm)	+	2.522
AM 25 120	Log10 (u) = -0.3611	*	Log10(rpm)	+	2.507
AM 25 105	Log10 (u) = -0.3794	*	Log10(rpm)	+	2.498
AM 25 90	Log10 (u) = -0.3042	*	Log10(rpm)	+	2.425
AM 20 120	Log10 (u) = -0.3428	*	Log10(rpm)	+	2.490
AM 20 105	Log10 (u) = -0.2335	*	Log10(rpm)	+	2.284
AM 20 90	Log10 (u) = -0.2854	*	Log10(rpm)	+	2.290
AM 15 120	Log10 (u) = -0.2069	*	Log10(rpm)	+	2.113
AM 15 105	Log10 (u) = -0.2381	*	Log10(rpm)	+	2.146
AM 15 90	Log10 (u) = -0.2625	*	Log10(rpm)	+	2.154

Si se observan las figuras B10 a B13 del apéndice B para la superficie y contorno de respuesta, al igual que en el experimento pasado, se observa un elevado paralelismo al eje de la temperatura. Esto indica que, a pesar de que el segundo tratamiento térmico fue realizado isocrónicamente y bajo agitación para lograr una transferencia de calor homogénea, ésta no se llevó a cabo. Esto pudo haberse debido a que se forman conglomerados de diferentes diámetros y grados de gelatinización del almidón lo que, en consecuencia, provoca que la transferencia de calor no sea uniforme.

IV.5 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN DE MASAS USANDO EL TEXTUROMETRO UNIVERSAL INSTRON

IV.5.1 Análisis de compresión de masas elaboradas con harinas de maíces blanco y amarillo

Las condiciones del experimento ya explicadas en el apartado de materiales y métodos y el apéndice A permiten calcular muchos parámetros en el texturometro universal Instron. Si se observan las gráficas B14 a B21 del apéndice B, la altura del pico corresponde a la resistencia a la compresión de la masa (kgf), que es proporcional a la fuerza de unión intermolecular. Algunos autores, como Rizley y Sutter (1977), relacionan el área bajo la curva al trabajo desarrollado (kgf-masa) para la compresión. Otro autor, como Bull (1971), habla del desarrollo del módulo de la elasticidad para la compresión del cilindros de una masa para correlacionar la fuerza de unión intermolecular de un semisólido. Dada la dificultad de calcular el área por triangulación y el módulo de la elasticidad, se tomó como número comparativo la altura máxima de los picos de respuesta.

Si se observa la figura B14 se verá que la segunda figura correspondiente a "MINSA" es ligeramente más resistente que "MASECA". En este experimento no se usaron como testigos las masas de maíces nixtamalizados dado que no presentaban repeticiones y se deshidrataban rápidamente. Pueden verse en la figura B15 los picos de respuesta para masas de harina de maíz blanco extrudidas con 1% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en base seca. A 130, 140 y 160°C, estas masas se comportan como plásticos "rebotan", no son fáciles de "tortillar" y recuperan su forma al deformarse manualmente, sus valores de resistencia están por arriba de 600 kgfm.

IV.5.2 Análisis estadístico de compresión de masas elaboradas con harinas de maíz blanco

Si se observa la tabla 4-6b, la cual acumula las respuestas experimentales de la tabla B7 y el análisis estadístico de la tabla B8, aparentemente la resistencia a la compresión disminuye conforme lo hacen la humedad y la temperatura. Este experimento

tiene un elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9341$ o 93.41% de explicación). Para este modelo la probabilidad de cometer un error tipo 1 es de $P = 0.0540$ o 5.40%. De ahí que el modelo no sea probable al 1% de significancia pero sí es probable al 5% de significancia.

Si se observan las figuras B22 a B24 se verá que tiene forma de cordillera ascendente (la respuesta aumenta conforme los factores lo hacen). Sin embargo, en las zonas de alta humedad y baja temperatura se vuelve catastrófico e impredecible. Esto, a su vez, coincide con un bajo coeficiente de curtosis y un sesgo ligeramente positivo. Este modelo solo es confiable para valores altos de humedad y temperatura. Sin embargo, la línea de respuesta que coincide con el valor de la media de los testigos se encuentra en esta zona. Dados los valores de los niveles de significancia tanto para los términos simples, los cuadráticos y la interacción que tienden a hacer semejantes la humedad y la temperatura, son aproximadamente igualmente significativas durante el proceso de extrusión para la obtención de harinas extrudidas.

IV.5.3 Análisis estadístico de compresión de masas elaboradas con harinas de maíz amarillo

Si se observa la tabla 4-6c, la cual acumula las respuestas experimentales de la tabla B7 y el análisis estadístico de la tabla B9, aparentemente la resistencia a la compresión disminuye conforme lo hacen la humedad y la temperatura. Este experimento tiene un elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9472$ o 94.72% de explicación). Para este modelo la probabilidad de cometer un error tipo 1 es de $P = 0.0392$ o 3.92%. De ahí que el modelo no sea probable al 1% de significancia pero sí sea probable al 5% de significancia.

Dados los valores de los niveles de significancia, tanto para los términos simples, los cuadráticos y la interacción, la humedad es 14 veces menos significativa que la temperatura, es decir, ejerce un mayor efecto durante el proceso de extrusión para la obtención de harinas extrudidas.

Si se observan las figuras B25 a B28 se verá que tienen forma de cordillera ascendente (La respuesta aumenta conforme los factores lo hacen). Esto es para las gráficas B27 y B28, que corresponden a la experimentación real; pero, observando la gráfica B26, se verá que fuera del nivel, la gráfica tiende a volverse concéntrica con esa tendencia hacia un valor mínimo. Esto habla de un modelo confiable para predecir respuestas fuera de los niveles experimentales. Este modelo muestra una mayor tendencia a la distribución normal el coeficiente de curtosis es bajo con respecto al valor estandarizado y el sesgo negativo.

Hay varias razones para considerar al texturómetro universal Instron como un instrumento adecuado para el análisis físico de

masas de harina precocida alcalinamente, especialmente por el bajo error experimental. Esto da la pauta para considerar al texturómetro Instron como una prueba confiable para el control de calidad de los productos y para medir la variabilidad de muestras. Sin embargo, su alto costo no lo hace disponible para muchas industrias de la masa y la tortillas, generalmente con recursos económicos limitados.

IV.6 ANALISIS PARA LA PENETRACION DE TORTILLAS UTILIZANDO EL TEXTUROMETRO UNIVERSAL INSTRON

Esta prueba se realizó sobre un producto final de las harinas y, a diferencia de la prueba de atoles, las condiciones de transferencia de calor son más adecuadas ya que se prepararon discos de masa de 10 ± 0.1 cm de diámetro por 0.5 ± 0.05 cm de altura, los cuales fueron cocidos isocrónicamente (1 minuto por un lado y 15 segundos por el otro) e isotérmicamente en una plancha de temperatura constante a 550 ± 5 °C. Las tortillas fueron perforadas con un punzón de estrella aplicando una fuerza de 0.5 kgf.

Los picos de respuesta para esta prueba se tienen en las figuras B29 a B36. A diferencia de los picos para masas, los picos para tortillas tienden más bien a una forma de tipo curvada (no como una fuerza de resistencia sino más bien como si la tortilla se estirara y presentara cierta resistencia al corte). Para el caso de los testigos (MASECA Y MINSA) en la figura B29, se muestran picos casi semejantes. Lo mismo ocurre para las tortillas de las pruebas preliminares elaboradas con harina extrudida al 1% de cal en base seca y a 130, 140 y 160 °C (Figura B30), como si este tipo de cocción las hubiera llevado a una cocción máxima.

IV.6.1 Análisis estadístico para pruebas en tortillas elaboradas con harina de maíz blanco

Si se observan las figuras B31 a B33 y La tabla 4-6b, que concentra los datos de la tabla B10 para respuestas y B11 para el análisis estadístico, podrá apreciarse que la resistencia a la penetración disminuye, conforme disminuye la humedad y la temperatura.

Las figuras B29, B30, B31, B32 y B33 presentan los picos de respuesta par los testigos (MINSA y MASECA), para tres muestras obtenidas de los experimentos preliminares y para las tortillas elaboradas con los productos extrudidos de harina de maíz blanco. Estas muestran variación entre ellas, reduciéndose la altura de los picos conforme se reduce la humedad y la temperatura.

La tabla B10 es la matriz de tratamientos y totales para ambos maíces y la tabla B11 es el análisis estadístico para las pruebas de tortillas blancas. Puede notarse que la contribución

marginal o valor t para la constante y ambas variables en forma simple, no los cuadrados, es elevado. También pueden observarse los bajos valores de nivel de significancia, lo que indica una alta correlación. Los coeficientes de determinación ajustados son del 94.16% de la variación explicada y se tiene un error estándar medio de 0.026389 con respecto a las contribuciones marginales de las variables, que es muy bajo. Para este experimento la probabilidad de cometer un error tipo 1 es del 0.5% lo que lo afirma como un modelo válido al 1 y al 5% de nivel de significancia.

Usando el "ANOVA" para la regresión total, se encuentra que la razón de variación F es muy alta con respecto a P. Para este análisis, la sumarización de residuales muestra un coeficiente de sesgo positivo o creciente hacia los valores más altos de humedad y temperatura y una curtosis negativa, lo que indica un leve aplastamiento con respecto a una distribución normal.

Las figuras B37 y B38, que son las superficies y contornos de respuesta extrapolados para la regresión anterior, muestran que la primera tiene forma de cordillera ascendente hacia la derecha, es decir, que se sesga a los valores altos de humedad y temperatura. También las figuras B39 y B40, que muestran la superficie y contorno normales (sin niveles extrapolados), tienen una forma de cordillera ascendente que se maximiza hacia los valores más altos de humedad y temperatura.

Si se observan los contornos de respuesta puede verse que la línea de respuesta que coincide con la media de los testigos queda fuera de la superficie de experimentación, es decir, que no alcanza el nivel de cocimiento de los testigos, a pesar de que el grosor de las tortillas sea uniforme y que se haya contado el mismo tiempo de cocción para ambos lados de la tortilla usando un cronómetro (60 y 15 segundos, respectivamente).

IV.6.2 Análisis estadístico para pruebas en tortillas elaboradas con harina de maíz amarillo

Las figuras B34, B35 y B36 representan los picos de respuesta para las tortillas elaboradas con harina extrudida de maíz amarillo. La tabla 4-6c, en el apartado para tortillas, concentra los valores de las respuestas de la tabla B10 y el análisis estadístico de la tabla B12. Se verá que todos los coeficientes de regresión son positivos, para este modelo la probabilidad "P" de cometer un error tipo 1 es de 0.0049. De ahí que el modelo sea probable a 1 y al 5% de significancia.

Este experimento presentó el coeficiente de determinación más alto de todos los experimentos realizados ($R^2=0.9871$, 98.71% de variación explicada). Los coeficientes de correlación más altos que fueron encontrados son para la constante y las formas simples de ambas variables. Se tienen bajos niveles de significancia de estas variables con respecto a los términos

cuadráticos, lo que demuestra su elevada contribución marginal al modelo. Además se tiene un error estándar medio muy bajo (MAE=0.0259).

La sumarización de residuales indica un coeficiente de sesgo negativo o con tendencia los valores más bajos de humedad y temperatura y una leve mesocurtosis con respecto a la variación de las muestras.

Si se observan las figuras B41 y B42, que son las superficies y contornos de respuesta extrapolados hasta 5 unidades experimentales, se ve que forman una superficie con leve forma de "cuneta" lo que indica confiabilidad aún en la extrapolación y si se observa el contorno se ve una concentricidad levemente ovaloidal al centro de la gráfica y con dirección hacia la temperatura lo que muestra que la temperatura influye un poco más que la humedad.

Con las figuras B43 y B44 puede verse un efecto semejante al de las figuras B41 y B42 y que los valores de respuesta crecen conforme aumenta la humedad y la temperatura de extrusión. Sin embargo, el coeficiente de sesgo indica una notable influencia de los valores más bajos sobre el fenómeno, posiblemente debido a la incompleta pregelatinización del almidón, lo que ocasiona fusión de las zonas cristalinas y su consecuente plastificación influyendo en la dureza de las tortillas de manera significativa (Robles, 1986). La figura B45 presenta la línea de respuesta que coincide con la media de los testigos (1.875 kgf).

Estos resultados vuelven a confirmar la confiabilidad del texturómetro universal Instron cuando se maneja adecuadamente. Nuevamente debe mencionarse su alto costo que no lo hace aplicable como activo fijo para las pequeñas empresas que producen productos de maíz para consumo popular.

IV.7 ANALISIS DE COMPRESION DE MASAS EN EL TEXTUROMETRO Brabender (Struct-o-graph)

Este experimento se realizó con el objetivo de poder optimizar el análisis de masas a bajo costo en un aparato más pequeño, barato y fácil de operar para los pequeños productores de harina de maíz y de tortillas, en relación al alto costo y complejidad del texturómetro universal Instron.

Este experimento puede considerarse pionero ya que aún se requiere de refinar mejor la calibración de los microtomos de corte de los cilindros de masas, a fin de lograr una mayor correlación de las respuesta y obtener un modelo confiable para la predicción de las condiciones de operación para la producción de harinas de maíz precocidas por extrusión alcalina.

IV.7.1 Análisis estadístico para masas de maíz blanco

La tabla 4-6b, en el apartado para módulo de elasticidad en masas, concentra los valores de las respuestas de la tabla B13 y el análisis estadístico de la tabla B14. El modelo presenta una elevada explicación ($R^2=0.9416$ o 94.16%), aproximadamente la misma explicación que para el texturómetro universal Instron. La probabilidad "P" de cometer un error tipo 1 es del 4.54% . De ahí que el modelo no sea válido al 1% de significancia pero sí al 5% de significancia. Si se observa la tabla 4-16a se podrá ver en el apartado de masas que solamente el coeficiente de la interacción es negativo y que los valores de t son más altos para la constante y la forma simple de las variable.

Los niveles de significancia son bajos. ambas variables dan una alta contribución marginal en la explicación del fenómeno. Presenta al mismo tiempo un coeficiente de sesgo positivo o de tendencia a los valores más altos de humedad y temperatura de extrusión. Presenta también mesocurtosis ligera con respecto a la distribución normal.

Si se observa la figura B45 podrá verse que las superficies de contorno y de respuesta extrapoladas 5 y 3 unidades experimentales, respectivamente, muestran una forma de "cuneta" con tendencia a un valor mínimo y el contorno una cierta concetricidad ovaloidal con tendencia al centro mínimo pero muy lejos aún de la superficie de respuesta normal.

La figura B47 muestra una tendencia ascendente hacia los valores más altos de humedad y temperatura, tal y como ocurre para los análisis del texturómetro universal Instron. Se ve en el contorno de respuesta que la línea de respuesta que coincide con el valor de la media de los testigos (3.54440 N/cm^2) cubre apenas la esquina superior de la superficie trabajada. Sin embargo, podría experimentarse con valores extrapolados con cierta confiabilidad sin exceder los intervalos de confianza al 95% indicados en la tabla B14.

IV.7.2 Análisis estadístico para masas de maíz amarillo

La tabla 4-6c en el apartado para módulo de la elasticidad en masas concentra los valores de las respuestas de la tabla B13 y el análisis estadístico de la tabla B15. El modelo presenta una elevada explicación ($R^2=0.9836$ o 98.36%) de explicación, un poco mayor a la explicación que para el Texturómetro Universal Instrón. La probabilidad "P" de cometer un error tipo 1 es del 0.70% . De ahí que el modelo sea válido al 1% de significancia y al 5% de significancia.

La tabla 4-6c muestra que solo el coeficiente de regresión de la interacción es negativo. Si se observan los altos valores de t para la constante y las dos variables independientes y sus bajos niveles de significancia con respecto a los términos cuadráticos y la interacción se puede estimar que existe una alta contribución marginal y una alta correlación de ambos, con solamente un 2% más de contribución de la humedad sobre el coeficiente de determinación ajustado para los grados de libertad es 84.44% de varianza explicada) y el error estándar medio ($MAE=0.126294$) son un poco más altos que para el maíz blanco. Al igual que para el análisis anterior, se presenta un coeficiente de sesgo positivo y mesocurtosis con tendencia creciente hacia los valores más bajos de humedad y temperatura.

Si se observan las figuras B49 y B50 que son las superficies y contorno de respuesta extrapolados 5 unidades experimentales se ve que, en la primera figura, para una extrapolación hacia los valores más altos no hay consistencia y que hay un elevado paralelismo de las líneas con respecto a la temperatura haciendo que esta variable no tenga tanta influencia en el comportamiento de los productos. De ahí puede derivarse el hecho de este modelo no sea confiable para extrapolar valores para los experimentos.

Sin embargo, si se toman valores cerca del centro (cerca de los datos experimentales obtenidos en este trabajo), se tendrán las figuras B51 y B52 que muestran una tendencia creciente a los valores más altos de humedad y temperatura y la línea de respuesta coincide con el valor de la media de los testigos (que tiende al centro de la superficie) mostrando influencia semejante de ambas variables.

El hecho de haber tenido una correlación menor (no baja), puede deberse en parte al error experimental durante la manipulación de las muestras ya que el sistema de medición de diámetros y alturas fue realizado con un vernier para los diámetros y un micrómetro para las alturas de los cilindros comprimidos, tomando 10 medidas para cada uno y como dato para la evaluación se tomó el valor promedio de estas diez determinaciones.

Esto podría corregirse si se utilizara una caja de Petri de cristal con líneas finas de medición ajustadas a un micrómetro la cual podría construirse en el Centro de Instrumentos de la UNAM, lo que ayudaría a reducir el error experimental y así aumentar el tamaño de los intervalos de confianza que son un poco más estrechos que para el texturómetro universal Instron.

Con esto se podría ofrecer una alternativa de control de calidad del proceso a industriales cuyos recursos económicos no les permitieran obtener un texturómetro universal Instron ya que el equipo Brabender es bastante más económico.

IV.8 DETERMINACION DE LA VARIACION DEL INDICE DE ABSORCION DE AGUA

IV.8.1 Analisis estadístico de la variación del índice de absorción de agua para harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz blanco

En la tabla 4-6 b se concentran los datos de la tabla B16 del apéndice B que muestra la matriz de tratamientos y totales para la variación del índice de absorción de agua de las harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz blanco. Concentra, además, los datos de la tabla B17 que contiene el análisis estadístico para la variación del mismo índice. Si se observa la tabla 4-16b puede verse que los valores más altos de t son para la constante, la humedad y la temperatura (no sus cuadrados ni la interacción) y que el nivel de significancia de la temperatura es aproximadamente la mitad del de la humedad y 5 veces más alto que el de la constante, lo que indica el doble de contribución marginal para la temperatura con respecto a la humedad.

Sin embargo, el coeficiente de determinación (R-SQ) es de 84.4212 (o el valor ajustado R-SQ [adj.d.f.] = 0.584565), que muestra una baja correlación. Si se observa el "ANOVA", se verá que el valor F para este experimento es de 0.1803 (improbable al 5 y al 1% de significancia), lo que habla de una variación poco significativa entre las respuestas. Presenta mesocurtosis y sesgo positivo o tendencia a los valores más altos de humedad y temperatura.

Si se observan las figuras B53 y B54 que son la superficie de respuesta y su contorno extrapolados en tres niveles experimentales, es claro que la primera tiene una forma de domo y la segunda una forma concéntrica ovalada con relación a la temperatura. Estas condiciones se mantienen en las figuras B55 y B56, que son la superficie y contorno de respuesta normales de trabajo en una unidad experimental. Sin embargo, aún con el valor máximo para la humedad y la temperatura, no se alcanzan los valores de respuesta para la media de los testigos.

IV.8.2 Analisis estadístico de la variación del índice de absorción de agua para harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz amarillo

La tabla 4-6c concentra los datos de la tabla B18 del apéndice B muestra el análisis estadístico para la matriz de respuestas correspondientes a maíz amarillo en la tabla B16. Se puede observar que los valores t más elevados son más altos para la constante, la temperatura y la humedad. Si se observan las significancias se tiene que la mayor contribución marginal corresponde a la constante y que la humedad está aproximadamente

10 veces menos correlacionada que la temperatura. Puede notarse que el coeficiente de correlación ajustado ($R-SQ$) tiene un valor de 0.804465 (80.4465% de variación explicada), frente a una variación no explicada de $MAE= 0.031316$.

El valor P es un poco mayor al 5% ($P=6.30\%$) y, para efectos prácticos, se considerará improbable a este valor de significancia. Presenta sesgo ligeramente positivo con leve mesocurtosis o aplastamiento con respecto a una distribución normal. Esto hablaría de una tendencia a los valores centrales de distribución o a una tendencia a maximizarse.

Las figuras B57 y B58, que son la superficie de respuesta y su respectivo contorno extrapolados 3 unidades experimentales, tienen una forma de silla de montar con tendencia a mostrar poca correlación en los extremos de la superficie, tanto para humedad como para temperatura. El contorno de respuesta presenta una tendencia hacia una catástrofe central donde prácticamente no hay correlación alguna entre las variables.

La superficie de respuesta, que es la figura B59 y su contorno la figura B60, muestran una tendencia creciente hacia los valores de temperatura y humedad más elevados. Puede verse que la línea de respuesta que coincide con la media de los testigos (la más próxima es de 3.48435 g/g) se mantiene lejos de la zona y muestra muy poca influencia del factor humedad que se ve seriamente afectado por la gran adición de agua.

Esta prueba se realizó para comparar la capacidad de retención de agua como una medida del grado de gelatinización, suponiendo que un almidón más gelatinizado puede retener mayores cantidades de agua que uno no gelatinizado más insoluble. Los resultados parecen indicar que esta hipótesis es correcta pero la variación significativa no es suficiente para validar esta prueba.

El hecho de que no se haya encontrado una línea de respuesta con respecto a la media de los testigos hace suponer que debe replantearse este tipo de experimentos para evitar pasos intermedios que puedan incrementar el error experimental, como es el caso de la decantación de la muestra.

IV.9 VARIACION DEL INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA

Esta prueba se realizó complementariamente a la de absorción de agua para tratar de determinar si hay un aumento de la fracción soluble de carbohidatos provocada por daños mecánicos que haya sufrido el almidón durante la extrusión.

La tabla B19 presenta los datos de la matriz de tratamientos y totales para la variación del índice de absorción de agua para harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz blanco y amarillo.

IV.9.1 Análisis estadístico de la variación del índice de solubilidad en agua para harinas de maíz blanco

La tabla 4-6b concentra los resultados de la matriz de tratamientos y totales de la tabla B19 y de la tabla B20 del apéndice B que presenta el análisis estadístico para las harinas de maíz blanco y de ella se desprende que los valores de t más altos corresponden a la constante y a las variables independientes en forma simple. Puede verse que el coeficiente de determinación ajustado, $(R-SQ)_{adj}$, tiene un valor de 0.9540 (o 95.40% de variación explicada) y un error estándar medio de 0.000489 de variación no explicada con respecto a los coeficientes de la regresión.

El análisis de la varianza para la regresión total da un valor $P=0.0017$ o 1.7%. Este modelo es válido al 5% de significancia lo que indica que hay una elevada variación significativa de las respuestas de las muestras. La sumarización de residuales presenta un coeficiente de sesgo negativo con mesocurtosis o tendencia a los valores más bajos de humedad y temperatura.

Las figuras B61 y B62 son las superficies de respuesta extrapoladas en 5 unidades, así como la normal y muestran una forma de domo. El contorno de respuesta para la figura B62 (Figura B63) muestra tendencia hacia un centro mínimo, el cual se localiza fuera de la superficie en que se experimentó. Esto habla de variables altamente correlacionadas o de una influencia semejante por parte de la humedad y la temperatura.

IV.9.2 Análisis estadístico de la variación del índice de solubilidad en agua para harinas de maíz amarillo

La tabla 4-6b concentra los datos de la tabla B21 es el análisis estadístico para la matriz de tratamientos y totales para maíz amarillo de la tabla B19 y de la tabla B21 que es el análisis estadístico de este experimento. Si se observa la tabla 4-6b, se verá que los coeficientes de regresión de mayor valor para t y que tienen contribución marginal mayor a menores niveles de significancia, son los de la constante, la humedad y la temperatura en forma simple (no los cuadrados). También puede notarse que la contribución marginal de la temperatura es aproximadamente 10 veces la de la humedad. Puede verse que el coeficiente de determinación también es alto ($R-SQ=0.9293$ o 92.93% de variación explicada). El error estándar medio ($MAE=0.000861$) es pequeño con respecto a los coeficientes de regresión. El análisis de varianza para la regresión total muestra que de $P=0.0143$ o 1.43% lo que habla de un modelo válido al 5% de significancia, lo que indica que hay variación significativa de las respuestas. El coeficiente de sesgo es positivo y presenta mesocurtosis con tendencia a los valores más altos de humedad y temperatura.

Las figuras B64, B65 y B66, que son la superficie de respuesta y los contornos extrapolados, muestran una tendencia a crecer hacia los valores de más alta humedad y temperatura. Los contornos de respuesta muestran cierto paralelismo con respecto de la humedad, lo que indica su menor contribución marginal en el fenómeno con respecto a la temperatura. Parece ser que un aumento en la temperatura podría originar un aumento de la fracción soluble favoreciendo las roturas de los gránulos y las cadenas de almidón (Gómez y Aguilera, 1984), lo que se podría traducir en un aumento del nivel de azúcares reductores.

IV.10 DETERMINACIONES FINALES

Con el fin de optimizar la extrusión alcalina se realizó una última corrida en el extrusor CIATECH modificado, tomando valores fijos de humedad:

Un valor dentro de la superficie trabajada (24% base seca) y un valor extrapolado (28% base seca) y, para determinar las temperaturas de extrusión, se escogieron aquellos experimentos con un mayor coeficiente de determinación como la compresión de masas en el texturómetro universal Instron y en el texturómetro Brabender, tomando los promedios de las mismas.

Así, se tuvieron cuatro lotes a concentración constante de Ca(OH)_2 (0.2% en base seca) para cada una de las muestras. Estos fueron los siguientes:

- a) BL 24 119.5: Maíz blanco extrudido con 24% de humedad en base seca y 119.5°C
- b) BL 28 114: Maíz blanco extrudido con 28% de humedad en base seca y 114°C
- c) AM 24 113: Maíz amarillo extrudido con 24% de humedad en base seca y 113°C
- d) AM 28 103: Maíz amarillo extrudido con 28% de humedad en base seca y 103°C

Con el fin de comparar cuál de estos cuatro lotes se aproximaba más al valor de la media de los testigos o satisfacía las ecuaciones de regresión fueron sometidos a las evaluaciones siguientes:

Pruebas bromatológicas:

- 1.- Humedad: Posterior a la extrusión, para determinar el agua perdida por la evaporación (método A.1)
- 2.- Cenizas: Para determinar la retención del calcio y su relación a la consistencia de las masas (método A.2)

- 3.- Azúcares reductores: Para determinar un posible daño mecánico del extrusor sobre el almidón (método A.9)
- 4.- Grasas: Para determinar la posible formación de complejos grasa-almidón (método A.3)
- 5.- Índices de absorción y solubilidad en agua: Para determinar la fracción soluble y su relación al daño mecánico del almidón y los azúcares reductores formados (método A.14)

Los resultados de estas determinaciones se resumen en la tabla 4-7. Puede notarse que el nivel de azúcares reductores se ha incrementado de manera notable, lo que indica daño molecular en el gránulo de almidón debido a la gran fricción que se realiza en el área de la boquilla al fluir el producto extrudido. Se pudo observar que los productos extrudidos son lisos por el lado de la flecha, y rugosos por el lado del barril a la vez que más oscuros (o sea, con un grado diferente de cocimiento), lo que permite pensar que no sea el mismo gradiente de esfuerzo cortante del centro a la flecha y de la flecha al barril.

Tabla 4.7 Análisis bromatológicos de harinas extrudidas

Muestra	ISA g/g	IAA g/g	Grasa g/100g	Ceniza g/100g	Azúcs. reds. g/100g
BL24 119.5	0.0902	4.441	4.8011	1.7481	0.0421
BL28 114	0.1059	3.778	3.0800	1.5823	0.0463
AM24 113	0.1134	4.200	4.6533	1.5588	0.0280
AM28 103	0.1129	4.055	3.0700	1.7117	0.0412
u =	0.1056	4.118	3.9011	1.6502	0.0394
S =	0.0093	0.240	0.8277	0.0811	0.0068
C.V. =	0.0887	0.058	0.2121	0.0491	0.1740
MYN SA =	0.0407	3.4462	4.6600	1.7300	0.0090
MA SE CA =	0.0387	3.6025	4.6000	2.1000	0.0079
NI X BL =	0.0380	3.4202	4.8000	2.2000	0.0096
NI X AM =	0.0410	3.4303	4.2900	2.1400	0.0087
MB L CR =					0.0054
MA M CR =					0.0051
u =	0.0396	3.4797	4.6000	2.0300	0.0076
S =	0.0014	0.0842	0.2100	0.2000	0.0017
C.V. =	0.0372	0.0242	0.0400	0.1000	0.2300

Consistencia

Determinación del módulo de la elasticidad con el texturómetro Brabender (Struct-o-graph), (método A.19)

Dado que no se pudo continuar con el apoyo del INIFAP en cuanto al texturómetro Instron solo se realizaron pruebas con el texturómetro Brabender. Los resultados presentaron una alta correlación en el análisis estadístico del experimento (Tabla 4.8).

Es importante notar que el coeficiente de variación es muy alto para las muestras del último experimento con respecto a los testigos por lo que, si se comparan sus medias en un análisis de t de "student" con dos colas para las hipótesis:

Ho No $u_1 = u_2$ no hay diferencia significativa entre las medias
 H1 Si $u_1 \neq u_2$ si hay diferencia significativa entre las medias

t "student calculado" = 0.9015

y una prueba de dos colas con 7 grados de libertad al 5 y 1% de significancia indica

t(0.975) = (-2.36 a 2.36)

t(0.995) = (-3.50 a 3.50)

lo que muestra que no hay diferencia significativa entre las medias al 5 y 1% de significancia. De de las muestras, la que más se acerca a la media de los testigos es la de BL 24 119.5 (que es la muestra que logró la adhesión y cohesión más semejante a los testigos)

Tabla 4-8 Módulo de elasticidad calculado mediante el texturómetro Brabender

Muestra	Módulo de elasticidad N/cm ²
BL 24 119.5	3.8362
BL 28 114	5.3320
AM 24 113	2.2910
AM 28 103	4.4209
u =	3.9700
S =	1.1062
C.V. =	0.2785
MINSA	3.7510
MASECA	3.6349
NIX BL	3.4422
NIX AM	3.3480
u =	3.5440
S =	0.1824
C.V. =	0.0514

Pruebas reológicas

Variación de la viscosidad usando el viscosímetro Brookfield. Se realizó esta prueba únicamente a suspensiones de harina deshidratada al 17.5% de sólidos en base seca ya que para la prueba realizada en "atoles" los coeficientes de correlación fueron muy bajos y la prueba no se consideró eficiente para diferenciar el grado de gelatinización entre muestras. La figura 4-31 muestra las curvas de viscosidad aparente versus rpm para las suspensiones de harina extrudida.

Para estas curvas se realizó una regresión logarítmica que permite obtener las pendientes equivalentes al índice de comportamiento de las suspensiones (Fig. 4-31).

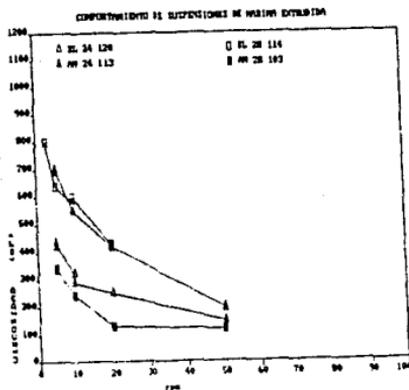


Figura 4-30 Curvas de viscosidad aparente vs. rpm

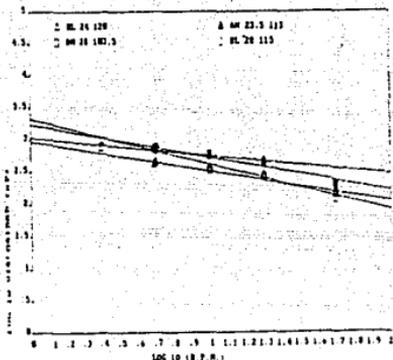


Fig. 4-31 Regresión logarítmica para las curvas de la figura 4-30

De las gráficas anteriores puede verse que se conserva el comportamiento pseudoplástico y que los productos extrudidos de maíz blanco tienen un comportamiento muy semejante entre sí y un comportamiento muy semejante a las gráficas de los testigos de la figura 4-5.

Pruebas sensoriales

Para determinar la aceptación de estos "nuevos" productos a partir de harinas extrudidas, se realizó una serie de análisis sensoriales para las tortillas elaboradas con las harinas extrudidas y se compararon con los producidos con harinas de granos nixtamalizados por el método tradicional y por el de nixtamalización industrial o maceración.

Para esto se formaron paneles de jueces comunes no entrenados, los cuales evaluaron las muestras de tortillas por claves, llenando un formato como el que se presenta en la figura 4-32. Se evaluaron bajo una luz verde para que no hubiera influencia psicológica por el color de las muestras.

La evaluación sensorial se hizo por ordenamientos para pruebas con tortillas cocidas isocrónica e isotérmicamente, considerando las siguientes características: Doblado y enrollado de tortillas (Tabla 4-9), masticación (Tabla 4-10) y sabor (Tabla 4-11). Con el fin de que los evaluadores no distinguiesen entre las muestras, éstas fueron clasificadas bajo las claves:

- A12 = Tortillas elaboradas con harina extrudida con 24% de humedad, 113°C y elaboradas con maíz amarillo
- A13 = Tortillas elaboradas con harina extrudida con 28% de humedad, 103°C y elaboradas con maíz amarillo
- B12 = Tortillas elaboradas con harina extrudida con 24% de humedad, 119.5°C y elaboradas con maíz blanco
- B13 = Tortillas elaboradas con harina extrudida con 28% de humedad, 114°C y elaboradas con maíz blanco
- TMA = Tortillas elaboradas con harina industrial nixtamalizada (MASECA)
- TDIC = Tortillas elaboradas con harina industrial nixtamalizada de la distribuidora de Maíz Industrializado CONASUPO
- PTB10 = Tortillas elaboradas con harina de maíz blanco nixtamalizado por el método tradicional
- PTA10 = Tortillas elaboradas con harina de maíz amarillo nixtamalizado por el método tradicional

Tabla 4-9 Evaluación sensorial para doblado y enrollado de tortillas

Juez	MUESTRAS								EDAD	Sexo
	A12	B12	TMA	A13	B13	TDIC	PTB10	PTA10		
1	7	8	4	5	6	3	1	2	56	M
2	7	6	8	5	4	3	1	2	50	F
3	7	8	5	3	6	4	2	1	44	F
4	8	5	6	4	7	3	2	1	27	M
5	7	5	4	1	8	6	2	3	26	M
6	8	6	7	5	1	3	2	4	24	M
7	6	8	7	4	5	3	1	2	20	M
8	8	7	4	6	5	2	1	3	20	M
9	7	6	5	4	8	3	1	2	20	F
10	6	8	5	4	7	3	2	1	12	F
Suma	71	67	55	41	57	33	15	21		

De las tablas estadísticas del apéndice C (tabla C-1), se tiene que, para 10 jueces y 8 muestras al 5% de significancia, la diferencia de la sumatoria ordinal crítica de "todos los tratamientos" es de 34. Para el 1% de significancia es de 38.

Si se toma a la harina comercial MASECA como control se tendrá que las diferencias absolutas con respecto a ésta son:

	comparativo DSO 5%		comparativo DSO 1%		Dif.sig.
TMA - A12 = 16	<	34	<	38	no
TMA - B12 = 12	<	34	<	38	no
TMA - A13 = 14	<	34	<	38	no
TMA - B13 = 14	<	34	<	38	no
TMA - TDIC= 22	<	34	<	38	no
TMA -PTB10= 40	>	34	>	38	si
TMA -PTA10= 34	=	34	<	38	si

Puede notarse que las muestras en general no muestran una diferencia significativa con respecto a la muestra de control a excepción de las muestras nixtamalizadas y de ellas la que más se acerca al testigo es la muestra B13. Esto indica que las muestras nixtamalizadas parecen presentar cierta dureza y que las elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo son más suaves con respecto a una muestra de uso común en la población mexicana.

Tabla 4-10 Evaluación sensorial para masticación de tortillas

Juez	MUESTRAS									EDAD	Sexo
	A12	B12	TMA	A13	B13	TDIC	PTB10	PTA10			
1	3	8	4	6	7	3	1	2	56	M	
2	7	6	8	5	4	3	2	1	50	F	
3	3	8	5	6	7	4	2	1	44	F	
4	7	3	6	5	8	4	2	1	27	M	
5	6	7	3	4	8	5	2	1	26	M	
6	1	7	4	8	6	2	3	5	24	M	
7	5	4	8	3	7	6	1	2	20	M	
8	8	7	5	6	4	3	2	1	20	M	
9	3	7	5	6	8	2	4	1	20	F	
10	4	8	7	5	7	6	2	1	12	F	
Suma	47	65	58	54	66	38	21	16			

De las tablas estadísticas del apéndice C se tiene que, para 10 jueces y 8 muestras al 5% de significancia, la diferencia de la sumatoria ordinal crítica de "todos los tratamientos" es de 34. Para el 1% de significancia es de 38. Si se toma la harina comercial MASECA como control se tendrá que las diferencias absolutas con respecto a ésta son:

	comparativo DSO 5%		comparativo DSO 1%	Dif.sig.
TMA - A12 = 11	<	34	<	38 no
TMA - B12 = 7	<	34	<	38 no
TMA - A13 = 4	<	34	<	38 no
TMA - B13 = 8	<	34	<	38 no
TMA - TDIC = 20	<	34	<	38 no
TMA -PTB10= 37	>	34	<	38 si
TMA -PTA10= 42	>	34	<	38 si

Puede notarse que las muestras, en general, no presentan una diferencia significativa con respecto a la muestra de control, a excepción de las muestras nixtamalizadas. La que más se acerca al testigo es la muestra A13. Sin embargo, esta prueba no puede emplearse como un parámetro de evaluación debido a que la falta de entrenamiento de los jueces hacen que esta prueba muestre un alto sesgo por indefinición en la clasificación de las mismas.

Tabla 4-11 Evaluación escalar hedónica para diferenciación de sabor en tortillas

Juez	MUESTRAS								TOTAL	EDAD	Sx
	A12	A13	B12	B13	TMA	TDIC	PTB10	PTA10			
1	5.00	7.50	6.25	8.75	7.50	6.25	2.50	2.50	46.25	56	M
2	10.00	7.50	6.25	8.75	8.75	6.25	3.75	6.25	52.50	50	F
3	5.00	6.25	7.50	8.75	8.75	3.75	1.25	5.00	46.25	44	F
4	5.00	6.25	5.00	7.50	8.75	6.25	5.00	5.00	48.75	27	M
5	3.75	6.25	8.75	7.50	7.50	7.50	3.75	5.00	50.00	26	M
6	3.75	8.75	7.50	8.75	7.50	3.75	5.00	1.25	46.25	24	M
7	5.00	5.00	8.75	8.75	6.25	5.00	5.00	3.75	47.50	20	M
8	6.25	3.75	7.50	7.50	8.75	7.50	3.75	3.75	48.75	20	M
9	5.00	7.50	10.00	8.75	8.75	5.00	2.50	3.75	51.25	20	F
10	1.25	1.25	10.00	7.50	7.50	1.25	1.25	0.00	30.00	12	F
Tot	50.00	60.00	77.50	82.50	82.00	52.50	33.75	31.25	467.50		
u =	5.00	6.00	7.75	8.25	8.00	5.25	3.375	3.125			
S =	2.091	2.076	1.561	0.612	0.829	1.837	1.375	1.700			

* Factor de corrección

$$F_c = (467.5)^2 / 80 \text{ muestras} = 2731.9531$$

* Suma de cuadrados medios de las muestras

$$S_{cm} = ((50^2 + 60^2 + \dots + 31.25^2) / 10 \text{ jueces}) - F_c$$
$$S_{cm} = 286.4875$$

* Grados de libertad de las muestras

$$g_{lm} = 8 - 1 = 7$$

* Suma de cuadrados medios de los jueces

$$S_{cj} = ((46.25^2 + \dots + 30.0^2) / 8 \text{ muestras}) - F_c$$

$$S_{cj} = 44.2187$$

* Grados de libertad de los jueces

$$g_{lj} = 10 - 1 = 9$$

* Suma de cuadrados del error

$$S_{ce} = 433.6719 - 286.4785 - 44.2187$$
$$S_{ce} = 102.9747$$

* Grados de libertad del error

$$g_{le} = 79 - 9 - 7 = 63$$

* Cuadrados medios de las muestras

$$C_{Mm} = 286.4785 / 7 = 40.9255$$

* Cuadrados medios de los jueces

$$C_{Mj} = 44.2187 / 9 = 4.9131$$

* Cuadrados medios del error

$$C_{Me} = 102.9747 / 63 = 1.6345$$

* Relación de variación para las muestras

$$F_m = 40.9255 / 1.6345 = 25.0385$$

* Relación de variación para los jueces

$$F_j = 4.9131 / 1.6345 = 3.0058$$

Finalmente, en la tabla 4-12 se presenta el análisis de varianza de estos experimentos sensoriales. Puede observarse que hay una diferencia significativa entre las muestras, lo que indica que sus sabores son seriamente afectados por el método de preparación de las harinas. Para los jueces no hay diferencia significativa entre ellos, es decir, hay congruencia en sus juicios (con excepción del sesgo que producen algunos jueces como la juez más joven, quien fue severa en sus calificaciones).

Para comprobar qué tan diferentes entre sí son las muestras, puede usarse la diferencia mínima significativa:

$$DMS = t * (\text{sqr } 2CMe) / n$$

t = Valor de t student al 5% o 1% de significancia para dos colas a los grados de libertad del error
($t_{0.975} = 2.000$; $t = 0.995 = 2.660$)

CMe = Cuadrados medios del error
n = Total de juicios por muestra

$$DMS 5\% = 2.00 * (\text{sqr}(2*1.6345)) / 10 = 0.3616$$

$$DMS 1\% = 2.66 * (\text{SQR}(2*1.6345)) / 10 = 0.4809$$

Lo que quiere decir que si la diferencia de la media entre dos muestras es igual o mayor que 0.3616 al 5% de significancia o 0.4809 al 1% de significancia habrá diferencia entre ellas.

Si se observan las medias de las muestras en la tabla 4-13, comparando con los productos elaborados con MASECA (TMA), que es el testigo que presentó mayor aceptación por los jueces, queda:

MUESTRAS	A12	A13	B12	B13	TMA	TDIC	PTB10	PTA10
u =	5.00	6.00	7.75	8.25	8.00	5.25	3.375	3.125

$$TMA - A12 = 3.00 ; TMA - A13 = 2.00 ; TMA - B12 = 0.250$$

$$TMA - B13 = -0.25 ; TMA - TDIC = 1.75 ; TMA - PTB10 = 4.625$$

$$TMA - PTA10 = 4.875$$

Puede observarse que, a excepción de B12 Y B13, las demás muestras son significativamente diferentes de la harina comercial MASECA e inclusive la muestra B13 mostró mayor aceptación que los mismos testigos. Sin embargo, la muestra MINSA muestra inclusive menor aceptación que algunos de los productos elaborados con harinas extrudidas.

Tabla 4-12 CUADRO DEL ANALISIS DE LA VARIANZA

Fuente de variación	gl	Sc	Cm	F calculada
Muestras	7	286.4785	40.9255	25.0385
Jueces	9	44.2187	4.9131	3.0058
Error	63	102.9747	1.6345	
Total	79	433.6719		

Muestras

Nivel de significancia	F tabla	Comparativo	F calculado	Diferencia significativa
0.05	2.15	<	25.0385	Si
0.01	2.80	<	25.0385	Si

Jueces

Nivel de significancia	F tabla	Comparativo	F calculado	Diferencia significativa
0.05	2.15	<	3.0058	Si
0.01	2.80	<	3.0058	Si (poca)

Figura 4-32 Formato de evaluación sensorial

Nombre: ----- Fecha: -----
 Edad : ----- Sexo : M ----- F -----

1.- EVALUACION SENSORIAL POR ORDENAMIENTOS PARA TORTILLAS

Doble cada una de las muestras por la mitad y enrollelas.
 Ordénelas de mayor a menor facilidad de doblado y enrollado.

1-----
 Menos fácil de doblar y enrollar -----
 Más fácil de doblar y enrollar -----

----- MUESTRA -----

A12	B12	TMA	A13	B13	TDIC	PTB10	PTA10
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1.2- MASTICACION

Realice esta prueba al mismo tiempo que la prueba para sabor de la página siguiente. Masticue 5 veces la muestra y ordénelas de mayor a menor facilidad de masticación. Beba un sorbo de agua después de degustar cada muestra.

1-----
 Menos fácil de masticar -----
 Más fácil de masticar -----

A12	B12	TMA	A13	B13	TDIC	PTB10	PTA10
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2.- EVALUACION SENSORIAL EN ESCALA REDONICA PARA TORTILLAS

2.1- SABOR

Indique su percepción del sabor para las muestras, por favor marque solo una respuesta y beba un trago de agua después de degustarlas. Gracias

MUESTRA A12	MUESTRA B12	MUESTRA TMA
-- gusta muchísimo	-- gusta muchísimo	-- gusta muchísimo
-- gusta mucho	-- gusta mucho	-- gusta mucho
-- gusta moderadamente	-- gusta moderadamente	-- gusta moderadamente
-- gusta un poco	-- gusta un poco	-- gusta un poco
-- me es indiferente	-- me es indiferente	-- me es indiferente
-- disgusta un poco	-- disgusta un poco	-- disgusta un poco
-- disgusta moderadamente	-- disgusta moderadamente	-- disgusta moderadamente
-- disgusta mucho	-- disgusta mucho	-- disgusta mucho
-- disgusta muchísimo	-- disgusta muchísimo	-- disgusta muchísimo
MUESTRA A13	MUESTRA B13	MUESTRA TDIC
-- gusta muchísimo	-- gusta muchísimo	-- gusta muchísimo
-- gusta mucho	-- gusta mucho	-- gusta mucho
-- gusta moderadamente	-- gusta moderadamente	-- gusta moderadamente
-- gusta un poco	-- gusta un poco	-- gusta un poco
-- me es indiferente	-- me es indiferente	-- me es indiferente
-- disgusta un poco	-- disgusta un poco	-- disgusta un poco
-- disgusta moderadamente	-- disgusta moderadamente	-- disgusta moderadamente
-- disgusta mucho	-- disgusta mucho	-- disgusta mucho
-- disgusta muchísimo	-- disgusta muchísimo	-- disgusta muchísimo
MUESTRA PTB10	MUESTRA PTA10	
-- gusta muchísimo	-- gusta muchísimo	
-- gusta mucho	-- gusta mucho	
-- gusta moderadamente	-- gusta moderadamente	
-- gusta un poco	-- gusta un poco	
-- me es indiferente	-- me es indiferente	
-- disgusta un poco	-- disgusta un poco	
-- disgusta moderadamente	-- disgusta moderadamente	
-- disgusta mucho	-- disgusta mucho	
-- disgusta muchísimo	-- disgusta muchísimo	

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 CONCLUSIONES

Es posible substituir el sistema de nixtamalización tradicional por la extrusión térmico-alcalina y obtener harinas cuya calidad molinera sea igual e, inclusive mejor, lo cual se demuestra al comparar sus propiedades bromatológicas, mecánicas, reológicas y sensoriales. Cabe hacer notar que aunque se trabajó con dos maíces diferentes, no se buscó determinar la influencia del factor variedad en un solo experimento, sino las condiciones óptimas de humedad y temperatura para cada variedad de maíz en experimentos de extrusión separados, de acuerdo a las cuales se obtuvieran harinas precocidas iguales o lo más semejantes a las elaboradas por nixtamalización para cada tipo de maíz usado en este estudio. Tomando en cuenta lo anterior, las conclusiones que pueden derivarse de esta investigación son las siguientes:

De acuerdo al objetivo 1:

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la calidad molinera de las harinas nixtamalizadas y extrudidas puede medirse considerando a las masas formadas con ellas (45-50% de sólidos en base seca) como semisólidos y no como verdaderos fluidos. En las industrias molineras las masas son bombeadas de los molinos a las tortilladoras por medio de bombas de engranes de desplazamiento positivo.
2. En algunas industrias que fabrican frituras, las masas nixtamalizadas se diluyen (18-25% de sólidos en base seca) y luego se extruden hacia los freidores. Del estudio de éstas en el viscosímetro Brookfield para suspensiones de harinas nixtamalizadas y extrudidas en agua destilada con 17.5% de sólidos (máxima concentración tolerada por el aparato), en base seca, se concluyó que este método no ofrece una explicación completa de la variación de la viscosidad aparente en función de la velocidad de rotación, además de fenómenos de interferencia como: sedimentación, tixotropía y alineación de capas no medibles con los aparatos disponibles. Por lo mismo, no puede definirse un modelo matemático o considerar como válido el modelo de Mitchka (1982). La invalidez estadística de los modelos producidos por los mismos no los hace adecuados para control de calidad a escala industrial, sobre todo en el concepto de calidad total.
3. Si se piensa un producto de alto consumo popular, el análisis reológico con el viscosímetro Brookfield para suspensiones tratadas térmicamente ("atoles"), tanto de harinas nixtamalizadas como extrudidas en agua destilada con 5% de sólidos en base seca, a pesar de que prácticamente se elimina la sedimentación de partículas sólidas, el fenómeno no presenta ninguna correlación viable, por lo que esta metodología no puede substituir al viscoamilógrafo Brabender.

De acuerdo al objetivo 2:

1. Es posible determinar la calidad de las masas a través del análisis de su textura. Para el caso de la compresión de masas con el texturómetro universal Instron, puede concluirse que la alta sensibilidad de este aparato permite medir el grado de unión intermolecular de las masas con base en su capacidad de retención de agua. Se obtienen coeficientes de correlación adecuados que muestran la eficiencia del método. Sin embargo, el costo (más de cien mil dólares americanos) y complejidad en su manejo no lo hacen accesible para los productores pequeños y medianos.
2. Para el estudio de la compresión de masas en el texturómetro Brabender, éste mostró ser un método preciso (a pesar del poco fino sistema de medición para los cortes de la masa) dando coeficientes de correlación elevados. Su costo y dimensiones físicas lo convierten en una alternativa viable para el control de calidad de industrias del nixtamal pequeñas y medianas y aún de las grandes.
3. Para el caso de los índices de absorción y solubilidad en agua, la prueba de absorción de agua se consideró como inválida por el análisis estadístico. Sin embargo, la prueba de solubilidad en agua dió una alta correlación. Esta prueba mostró que, a contenidos de humedad y temperaturas de cocción menores, los índices tenían valores menores y viceversa. Aunque estos datos no coinciden con los de Gómez y Aguilera (1983, 1984), es importante mencionar que ellos emplearon un extrusor de doble tornillo y no verificaron los efectos de la temperatura. En este trabajo se empleó un extrusor de alto esfuerzo que, dada la cantidad elevada de azúcares reductores en las muestras extrudidas, hace pensar en una elevada dextrinización, que obviamente, aumenta la fracción soluble.
4. Pueden elaborarse tortillas de igual o semejante textura usando harinas de maíz extrudidas alcalinamente. Esto se sustenta en el estudio de la penetración en tortillas usando el texturómetro universal Instron. Puede pensarse que existe una correlación entre la resistencia a la penetración y el grado de gelatinización del almidón producido durante la extrusión y la segunda cocción. Esta prueba aunque es sencilla debe realizarse en condiciones isotérmicas e isocrónicas, manteniendo un peso y grosor prácticamente idéntico en cada una y almacenándolas inmediatamente en polietileno laminado para que se conserve la humedad, buscando una cocción uniforme en todos los puntos de la tortilla y, por ende, características homogéneas.

De acuerdo al objetivo 3:

1. Los análisis sensoriales no pretenden mostrar la aceptación de las tortillas elaboradas con las harinas extrudidas en toda la población mexicana ni aún en una zona del Distrito

Federal. Esto hubiera requerido un estudio muy amplio de comparación de zonas geográficas y, para México, de comparación de poblaciones y esto podría ser el tema de otra tesis dado que las tortillas son elaboradas en condiciones semejantes de nixtamalización pero no iguales. Con el presente estudio se detectaron variaciones marcadas de sabor y textura que, a la vez, pudieran mostrar un marcado rechazo por parte de jueces acostumbrados tradicionalmente a comer tortillas. Para las muestras obtenidas con las llamadas "condiciones óptimas", de acuerdo con el estudio de superficies de respuesta (para el maíz blanco de 24% de humedad y $119 \pm 1^\circ\text{C}$), se asemejan sensorial y físicamente más al valor medio de los testigos. Sin embargo, las otras muestras extrudidas no son rechazadas por los jueces ni son significativamente diferentes entre ellas (al 1 o 5% de significancia).

V.2 RECOMENDACIONES

Puede recomendarse, con base en los experimentos realizados que:

1. Dado que el análisis de textura de masas mostró ser el método más adecuado para su estudio, para poder generar un modelo del comportamiento de las masas producidas con harinas nixtamalizadas o extrudidas es necesario tener un sistema de medición fino que permita determinar sus módulo de elasticidad y su rigidez.
2. Para optimizar el extrusor como reactor continuo debe desarrollarse un modelo cinético. Aunque se han desarrollado modelos cinéticos de la gelatinización de otros almidones (Pravisaní y colaboradores, 1985), para el caso de la extrusión térmico-alkalina, es importante definir la posibilidad de "muestrear" a lo largo del extrusor para verificar el grado de gelatinización de los almidones y medir los tiempos de residencia y las temperaturas que se correlacionen con ella.
3. Para el desarrollo de un modelo reológico para el flujo dentro del extrusor se recomienda adaptar manómetros a lo largo del cañón del extrusor que permita definir las condiciones de operación a lo largo del extrusor.
4. Finalmente, dada la calidad nutricia de los productos extrudidos según experimentos previos (Saldaña y col., 1987; Vázquez, 1990), que es mayor que la de sus contrapartes nixtamalizadas tradicionalmente, es deseable corroborar su calidad microbiana ya que las temperaturas consideradas como "óptimas" no son mayores de 120°C .

BIBLIOGRAFIA

- AACC (1976). American Association of Cereal Chemists. Methods of Analysis. 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, MN, EEUUA.
- Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Pfeitier, V.F. y Griffin Jr., E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci. Today, 14(1):5-13.
- AOAC (1984). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Washington, D.C. EEUUA.
- Artz, W.E.; Warren, C. y Villota, R. (1990). Twin screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded blend. J. Food Sci., 55(3):746-751.
- Baduí, S. (1981). Química de los alimentos. Ed. Alhambra Mexicana. Pp. 80-90. México D.F. México.
- Bourne, M.C. (1980). Food Texture and Viscosity Concepts and Measurements. Academic Press, Nueva York, EEUUA.
- Bonfil, G. Editor. SEP/CULTURA. (1984). El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana. Museo Nacional de las Culturas Populares . G.V. Editores, S.A. México D.F. México.
- Brooker, D.B.; Bakker, F.W. y Hall, C.W. (1974). Drying cereal grains. The AVI Pub. Co. P. 3. Westport, EEUUA.
- Bull, B.H. (1971). An Introduction to Physical Biochemistry. 2a. Ed. F.A. Davis Co. Cap. 17. Pp. 425-445. Philadelphia, EEUUA.
- Chen, J., Serafin, F.L., Pandya, R.N. y Henryk, D. (1991). Effects of Extrusion Conditions on Sensory Properties of Corn Meal Extrudates. J. Food Sci., 56(1): - .
- Clark, P.J. (1978). Dough Rheology in Extrusion Cooking. Food Technol. July, pp. 73-76, pp. 82-86
- Crowley, P.R. (1975). Evaluation of low-cost extrusion-cooker for use in less developed countries. Comunicación personal.
- de Padua, M.R. y Padua, H. (1984). Rheological behavior of Venezuelan arepa dough from precooked corn flour. Cereal Chem., 6(1):37-41.
- Dowrschak, E. (1981). Nonenzymatic browning and its effect on protein nutrition. Crit. Rev. Food Science Nutrition, 13:1. CRC Press Inc. Boca Ratón, EEUUA.

Durán, C. (1977). Sorgo como fuente potencial de alimentos. Mezclas de maíz y sorgo como productos tradicionales. Informe interno de investigación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Chapingo, México.

Durán, C. (1978). Procedimiento para cocer maíz por medio de extrusión. Pat. 173038. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Dpto. de Patentes, Dir. General de Inventiones y Marcas. México D.F. México.

Durán, C., Guerra, R. y Sterner, H. (1979). Extruded corn flour as an alternative to lime heated corn flour for tortilla preparation. J. Food Sci., 44:940-941.

Durán, C. y Guerra, R. (1980). Los centros de investigación y educación superior y el desarrollo de agroindustrias. Dos problemas tipo. Parte II. Nuevos productos agrícolas procesados. Tecnol. Alimen. (Mex.), 15(6):4-16.

Durán, C. Pérez, R. y Rodríguez, J. (1987). Extrusión de mezclas de harina de maíz y sorgo: Condiciones óptimas de proceso empleando como parámetro las características sensoriales de las tortillas elaboradas con dichas harinas. Presentado en la XXVII Convención Nacional del IMIQ (Premio IMIQ 1987). Ixtapa Gro., México Oct. 21-23

Durán, C. (1987) Reaprovechamiento de los efluentes en la industria del maíz. Informe final del proyecto. Pub. UNAM-PNUMA, Impresora Azteca, S.A. de C.V. México D.F.

Durán, C. (1988). Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. Monografía tecnológica No.2, Programa regional para el desarrollo científico y tecnológico, OEA. Eón Eds. México D.F. México.

Elwood, F., Caldwell, R.B., Fast, Ch., Lauhoff, R. y Miller, C. (1989). Unit operations and equipment. I: Blending and cooking in breakfast cereals and how they are made. Caldwell Eds. AACC. St Paul, Minnesota, EEUUA.

Gómez, M.H. y Aguilera, J.M. (1983). Changes in starch fraction during extrusion-cooking. J. Food Sci., 48:378-385.

Gómez, M.H. y Aguilera, J.M. (1984). A physicochemical model for extrusion of corn starch. J. Food Sci., 49:40-43.

Guerra, R. (1978). Extrusión, una nueva tecnología aplicada al procesamiento de maíz normal y opaco-2. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.

Harper, J. (1981). Extrusion of foods. Ed. CRC Press Inc. Boca Raton, EEUUA.

Hayakawa, K. (1969). New parameters for calculating mass average sterilizing values to estimate nutrient retention in thermally

conductive ... Can. Inst. Food Technol. J., 2:167.

Heldman, D.R. y Singh, R.P. (1981). Food Processing Engineering. Avi Publishing Company. Westport, EEUUA.

Hsieh, F., Peng, I.C. y Huff, H.E. (1990). Effects of Salt, Sugar and Screw Speed on Processing and Product Variables of Cornmeal Extruded With a Twin-Screw Extruder. J. Food Sci., 55(1): - . 65

Labuza, T.P. (1972). Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. Crit. Rev. Food Technol. Septiembre, 217.

Levenspiel, O. (1982). Chemical Reaction Engineering. John Wiley & Sons, New York, EEUUA.

Mackey, L.K. y Ofoli, R. (1990). Rheological of corn starch doughs at low to intermediate moisture. J. Food Sci., 55(2):417-423.

Matz, A.S. (1959). The chemistry and technology of of cereals as food and feed. The AVI Publishing Company Inc. Westport, EEUUA.

Matz, A.S. (1962). Food Texture. The AVI Publishing Company Inc. Westport, EEUUA.

México Enciclopedia de. (1978) Tomos VIII (Maíz), Tomo XII (Tortillas) Tercera edición, México D.F. México.

Mercier, C., Charbonniere, R., Gallandt, D. y Guilbot, A. 1979. Structural modifications of various starches by extrusion cooking with a twin screw French extruder. En Polysaccharids in Foods. J.M. Blanshard y J.R Mitchel eds. P. 153. Butterworths, London.

Miller, R.C. (1985). Moisture extrusion: Effects of cooking moisture in food characteristics. J. Food Sci., 50:249-253.

Mitschka, P. (1982). Rheol. Acta, 21:207.

Muller, H.G. (1979). Uses of the amilograph in the baking industries. Artículo incluido en el manual de uso del viscoamilógrafo Brabender.

Olivera-Báez-y-Ramírez, 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 de maestría, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Méx. México.

Pedrero, D. L. y Pangborn, R.M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Ed. Alhambra España, 1a. Ed., México D.F. México.

Pravisaní, C.I., Califano, A.N. y Calvelo, A. (1985). Kinetics of starch gelatinization in potato. J. Food Sci., 50:657-660.

Pérez, R. y Rodríguez, J. (1988). Estudio de las características reológicas de tortillas de maíz, sorgo y sus mezclas. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Pomeranz, Y. (1987). Modern Cereal Science and Technology. VCH Pub. P. 389. Nueva York, EEUUA.

Purkayastha, S., Peleg, M. y Normand, D. (1985). A computer aided characterization of the compressive creep behavior of potato and Cheddar cheese. J. Food Sci., 50:45-50.

Rizley, N.F. y Sutter, D.A. (1977). Sorghum tortillas process and products attributes. J. Food Sci., 42(6):1435-1438.

Robles-de-la-Torre, R.R. (1986). Cambios fisicoquímicos del almidón en la nixtamalización de maíz. Tesis de maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. México D.F. México.

Salunke, D.K. (1986). Post harvest biotechnology of cereals. CRC Press. P. 95. Boca Raton, EEUUA.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1980). Norma Oficial Mexicana para harina de maíz nixtamalizado. NOM-F-46-S. Dirección General de Normas. México D.F. México.

Segurajáuregui, J.S., Santín, H.C. (1987). Consumo y conservación de la energía en la industria de la masa y la tortilla. Tecnol. Aliment. (Méx.), 22:14-20.

Sherman, P. (1976). Food Texture and Rheology. Academic Press. Pp. 147-245. New York EEUUA.

Shepherd, H. y Bhardwaj, R.K. (1986). Thermal properties of pigeon pea. Cereal Foods World, 31:456.

Smietzana, Z., Fornal, A. y Szpendowski, J. (1986). The effect of extrusion on the physicochemical properties of cereal protein in their mixtures with milk protein. Serie Maehrung. Universidad Agrícola Tecnológica de Olsztyn (Cita del banco de datos del Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT-El Batán, Méx., México).

Spiegel, M.R. (1990). Estadística. McGraw Hill Mexico. Serie Schaum. México D.F. México.

Tecante-Coronel, A. (1985). Manual de operación y métodos de análisis de datos del viscosímetro Brookfield modelo RVT de B velocidades. Pub. Departamento de Alimentos, División de Estudios de Posgrado. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Thijssen, H.A.C. y Kerkhof, P.J.A. (1976-1977). Effect of Temperature and Water Concentration During Processing on Food Quality. J. Food Process Eng., 1(2): - .

Vásquez-Carrillo, M.G., Márquez-Sánchez, A.R. y Márquez, S.F. (1990). Evaluación física, química y tortillera del compuesto pepitilla de maíz. Rev. Fitotecnia (México), 13:1-16. Pub. CIFAP-México-Inifap.

Villegas, E., Ortega, E. y Bauer, R. (1990). Métodos químicos usados en el Cimmyt para determinar la calidad proteínica de los cereales. Centro internacional para el mejoramiento del maíz y el trigo. El Batán, Méx., México.

Wall, J.S. y Paulis, J.W. (1985). Evaluación química y biológica de la calidad proteínica del maíz. Asuntos y problemas actuales. En Maíz de alta calidad proteínica. Compendio de ponencias presentadas en el simposio internacional Cimmyt/Purdue. Eds. L.F. Bautman, E.T. Mertz, P.L. Crane, D.V. Glover y D.W. Thomas. Pp. 305-314. Ed. Limusa. México, D.F. México.

Williams, M.A., Horn R.E. y Rugala, R.P. (1977). Extrusion and in depth look at a versatile process. Food Eng., 49(9):99.

Winton, L.A. (1950). The structure and composition of foods. Vol. 1. John Wiley & Sons, Inc. New York, EEUUA.

APENDICE A

METODOS ANALITICOS

A.1 Humedad absoluta (AOAC 14.02 1984).

Se determinará por medio de la termobalanza. Esta técnica permite determinar el agua en estado libre, pero no el agua ligada a los carbohidratos.

Consiste en colocar una muestra de peso conocido (para esto debiera contarse con una humedad relativa del ambiente constante la que se determina por medio de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo utilizando la carta de humedad, por lo que las pruebas deben realizarse a la misma hora y comprobando la humedad relativa, ya que en la Ciudad de México éstas varían desde casi un 100% en la mañana hasta 40% al medio día).

La balanza ha sido previamente calibrada y tarada a cero. Una vez que se enciende la fuente de calor se observa la disminución del peso hasta que esta sea constante. La humedad se obtiene por diferencia:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso de la muestra - Peso de la muestra})}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

Los resultados obtenidos por este método se compararan con los obtenidos con la técnica de crisoles a peso constante con los que se determinarán posteriormente cenizas.

A.2 Cenizas (AOAC 14.006 - 1984).

Como una estimación de la cantidad aproximada de minerales, las cenizas se determinarán por medio del peso constante cuyos pasos son:

1. Poner a peso constante 5 crisoles por muestra durante 24 horas.
2. Poner en ellos una muestra en base húmeda de masa, harina etc. (Considerar la humedad relativa).
3. Desecar en estufa durante 4 horas a 70 °C y se determina la humedad por diferencia de pesos y se compara con las obtenidas por el método de la termobalanza.
4. Calcinar en una mufla a 550°C por dos horas y determinar el porcentaje de cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\begin{array}{l} \text{(Peso del crisol - Peso del crisol} \\ \text{con muestra} \\ \text{humeda} \end{array} - \begin{array}{l} \text{con muestra} \\ \text{seca} \end{array})}{\text{(Peso del crisol + muestra humeda)}} \times 100$$

A.3 Extracto etéreo (AOAC 7.062 - 1984).

Se determinará por el aparato de extracción etérea con que cuenta nuestra institución. El cual funciona con base en extraer las grasas por medio de reflujo de eter etílico a través de un cartucho poroso en el que se ha empacado una cantidad definida de muestra. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Mantener a peso constante en una estufa los vasos "Goldfish" con algunas piedras de ebullición por lo menos 24 horas antes.
- 2.- Pesarse una cantidad de muestra en baswe humeda teniendo en cuenta las condiciones de humedad relativa.
- 3.- Empacar la muestra en el cartucho poroso con algodón desengrasado.
- 4.- Colocar en el aparato a reflujo en 50 mililitros de eter etílico de dos a cuatro horas hasta que de prueba negativa al papel filtro.
- 5.- Mantener en un desecador 24 horas y determinar por diferencia el extracto etéreo.

$$\% \text{ Extracto} = \frac{\begin{array}{l} \text{(Peso del crisol} \\ \text{con extracto} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Peso del crisol} \\ \text{sin extracto} \end{array})}{\text{(Peso del crisol)}} \times 100$$

- 6.- Conservar el extracto para determinación de nitrógeno y fibra cruda.

A.4 Proteína (Técnica de nitrógeno Kjeldahl, AOAC 2.054, 1984)

Esta técnica requerira de los siguientes reactivos:

- Acido sulfúrico del 93 al 98%
 Oxido de mercurio libre de nitrógeno
1. Acido sulfanílico
 2. K2S 40 g disueltos en 1 L de agua
 3. NaOH 400 g 1 L de agua
 4. Granalla de zinc

5. Rojo de metilo
6. NaOH 0.1 N
7. Solución estándar de HCl o ácido bórico 0.1N

La determinación se hará en el aparato de digestión con reflujo con que cuenta nuestra institución.

Los pasos de la técnica son los siguientes:

- 1.- Pesarse 1 a 2 gramos de muestra libre de grasas y añadir 0.7 g de HgO o 0.65 g de Hg además de 15 g de K₂SO₄ y 25 ml de H₂SO₄.
- 2.- Someter a digestión por 30 minutos con 3 a 4 perlas de ebullición.
- 3.- Enfriar a 25 °C y añadir por cada 200 ml de agua 25 ml de K₂S y unos pocos gránulos de zinc.
- 4.- Por cada 10 ml de H₂SO₄ utilizado añadir 15 g de NaOH sólido.
- 5.- Se añaden unos cuerpos de ebullición y unas gotas de indicador y se pone a destilar para obtener 20 ml de destilado para posterior titulación.
- 6.- Titular con ácido bórico 0.1N hasta desaparición del color.

El % de nitrógeno se calcula como:

$$\% N = \frac{((\text{ml de std } \times \text{Normalidad}) - (\text{ml de std } \times \text{Normalidad}))}{\text{g de muestra}}$$

ácido
ácido
NaOH
NaOH

x 1.4007

Para convertir a proteína (AOAC - 14: 026 1984)

% de Proteína = % de nitrógeno x 5.7

A.5 Determinación de triptofano (Villegas et al., CYMMYT, 1991)

La lisina y el triptofano son dos elementos nutricionales que limitan el valor nutricional de la proteína del endospermo del maíz. Debido a la relación entre el contenido de estos dos aminoácidos en la proteína de maíz de endospermo de maíz ópaco 2 (aprox. 4 a 1), el contenido de triptofano se puede utilizar como parámetro para evaluar la calidad nutricional de esta proteína (Villegas et al., 1991).

Esta técnica requiere de los siguientes reactivos:

1. Se disuelven 270 mg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ en 0.5 ml de agua y se afora a un liro de ácido acético glacial (Reactivo A). A cada frasco de ácido acético se debe hacer una prueba de desarrollo de color en presencia de triptofano ya que algunos lotes de ácido acético libre de aldehídos no producen ácido glioxílico suficiente para reaccionar con el triptofano y formar un producto colorido. este problema puede solucionarse añadiendo 2 a 4% de anhídrido acético. concentraciones más altas inhiben el desarrollo de color.
2. Solución de ácido acético 30 N (reactivo B). Mezclar los reactivos A y B volumen a volumen aproximadamente una hora antes de utilizarlo. esta solución contiene ácido glioxílico que generalmente se encuentra como impureza del ácido acético, y se forma también mezclando ácido acético conteniendo cloruro férrico con ácido sulfúrico. Este ácido glioxílico en presencia de triptofano (grupo indólico) produce un compuesto colorido.
3. Solución de papaína. disolver la enzima grado comercial en solución reguladora de acetato de sodio 0.1 N (4m por ml), pH 7.0. Esta solución debe ser preparada unos minutos antes de su uso.
4. Solución estándar de triptofano de 100 $\mu\text{g} / \text{ml}$ (para la preparación de la curva estándar), la curva se muestra en la figura A.1.

Esta técnica requiere del siguiente equipo:

1. Balanza analítica.
2. Estufa incubadora.
3. Agitador de tubos.
4. Jeringas automáticas de 5 ml.
5. Gradillas para 40 tubos.
6. Pipetas volumétricas de 1ml y 3 ml.
7. Matraz aforado de 1 l.
8. Matraz Erlen Meyer de 1 l.
9. Tubos de ensayo de 13 x 100 mm con tapón de rosca.
10. Tubos de ensayo de 16 x 150 mm.
11. Tubos de colorímetro calibrados.
12. Espectrofotómetro o colorímetro.
13. Potenciómetro
14. Probetas graduadas de 1 l.
15. Centrifuga.

Procedimiento

1. Pesar de 80 a 85 mg de cada muestra de endospermo de maíz desengrasado en un tubo de ensayo de 10 x 13 mm con tapón de rosca, añadir 3 ml de solución de papaína. Agitar cuidadosamente los tubos asegurándose que toda la muestra quede mojada. incluir dos tubos de solución de papaína para utilizarlos como blancos, e incluir dos muestras testigo con cantidades conocidas de triptofano.

2. Colocar las muestras en una incubadora a $63 \pm 2^\circ\text{C}$ por 16 horas (Durante la noche).
3. Las muestras hidrolizadas se sacan de la estufa y se dejan a temperatura ambiente ($21 - 25^\circ\text{C}$) y se centrifugan a 2500 rpm durante 5 minutos.
4. Se transfiere 1 ml de hidrolizado en tubos de enayo con 4 ml de reactivo C. Se agitan los tubos vigorosamente y a $63 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 15 minutos para mayor desarrollo de color.
5. Dejar enfriar las soluciones coloreadas y leerlas en colorímetro a 560 nm.
6. Preparar una curva estándar de triptofano con un intervalo de concentración de 0 a 35 μg por ml.
7. El contenido de triptofano en la muestra se calcula a partir de la curva estándar y se reporta como gramos de proteína por 100 gramos de proteína en base seca.

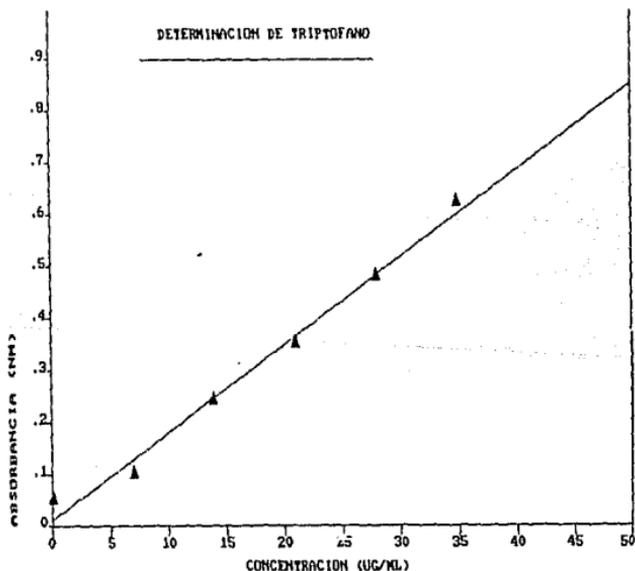


Figura A.1 curva para determinación de triptofano

A.6 Determinación de lisina (Villegas et al, CYNNT 1991)

Este método fue originalmente presentado por Tsai et al. (1972) y modificado por Villegas et al. (1991). Este método utiliza el compuesto 2-Cloro-3, 5 -dinitropiridina, que reacciona con el grupo E- amino lisina, después de haber bloqueado con cobre los grupos α - aminoácidos y de los péptidos de bajo peso molecular presentes en el hidrolizado proteínico. El E dinitropiridil lisina formado se soluble en agua pero insoluble en acetato de etilo, lo que permite que los demás compuestos formados durante la reacción sean eliminados con ese solvente, surpimiento también el exeso de reactivo 2 cloro 3, 5 dinitropiridina. la absorbancia de la solución acuosa de E - dinitropiridil lisina se lee en un fotocolorímetro a 390 nm.

Esta técnica requiere de los siguientes reactivos:

1. Solución de papaína: 4 mg de papaína se disuelven por ml de solución reguladora de fosfato 0.03M con pH 7.4.
2. Solución reguladora de carbonato 0.05M con pH 9.0
3. Solución reguladora de boratos 0.05M con pH 9.0
4. Suspensión de fosfato de cobre:
Disolver 2.8 g de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ en 100 ml de agua destilada (Reactivo A).
Disolver 13.6g de $Na_3PO_4 \cdot 12 H_2O$ en 200 ml de agua destilada (Reactivo B).
Mezclar los reactivos A y B y centrifugara 2000 rpm durante 5 minutos y descartar el sobrenadante. El precipitado se lava tres veces con solución reguladora de borato y finalmente se resuspende en 80 ml de solución reguladora. Este reactivo puede ser usado durante una semana.
5. Solución de HCl 1.2 N
6. Mezcla de aminoácidos

Cistina	20 mg	Fenil alanina	40 mg
Metionina	20 mg	Valina	40 mg
Histidina	30 mg	Arginina	50 mg
Alanina	30 mg	Serina	50 mg
Isoleucina	30 mg	Acido aspártico	60 mg
Treonina	30 mg	Acido glutámico	300 mg
Tirosina	30 mg	Leucina	80 mg
Glicina	40 mg	Prolina	20 mg

Disolver 100 mg de mezcla de aminoácidos en 10 ml de solución reguladora de carbonatos

7. Solución al 3% en metanol de 2-cloro-3, 5- dinitropiridina prepararla minutos antes de usarla.

Esta técnica requiere de equipo:

1. Balanza analítica
2. Estufa incubadora
3. Agitador de tubos
4. Centrifuga
5. Potenciómetro
6. Colorímetro
7. Gradilla de 40 tubos
8. Tubos de colorímetro calibrados
9. Tubos de ensayo de 13 x 100 mm con tapón de rosca
10. Tubos de ensayo de 16 x 150 mm
11. Jeringa automática de 50 ml con tubo de polietileno
12. Material de vidrio (pipetas, vasos, etc.)

El procedimiento para realizar esta técnica es el siguiente :

1. pesar 100 mg de muestra pulverizada y desengrasada en un tubo de ensayo y adicionar 5 ml de solución de papaína. Incluir un par de blancos de solución de papaína.
2. Incubar a $63 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. (Agitar y enfriar a temperatura ambiente y centrifugar a 2500 rpm durante 5 minutos (Una alícuota de este hidrolizado puede usarse para la determinación de tritofano).
3. Transferir una alícuota de 1 ml de supernadante en tubos de centrifuga y añadir 0.5 ml de solución reguladora de carbonato y 0.5 ml de de suspensión de fosfato de cobre,
4. Agitar la mezcla durante 5 minutos y centrifugar a 2500 rpm.
5. Trasferir una alícuota de 1 ml de sobrenadante en un tubo de ensayo y añadir 0.1 ml de solución de 2-cloro-3, 5- dinitropiridina. Agitar vigorosamente.
6. Dejar reposar la mezcla durante dos horas a temperatura ambiente agitando cada 30 minutos.
7. Añadir 5 ml de HCl 1.2 N a cada tubo de ensayo y agitar vigorosamente.
8. Añadir 5 ml de acetato de etilo y agitar en vortex; Extraer la fase superior con una jeringa con un tubo de polietileno.
9. Transferir la fase acuosa a celdas de colorímetro y leer a 390 nm ajustando con un blanco.
10. Calcular el contenido de lisina por medio de la curva estándar.

Se prepara una curva estándar con un intervalo de 0 a 200 ug por ml (Figura A.2).

Solución patrón de lisina: 62.5 mg de lissina monohidroclórica se disuelven en 20 ml de solución reguladora de carbonato (250 ug de lisina por ml). diluir la solución patrón de lisina de 0, 250, 500, 750 y 1000 ug de lisina por ml. agregar a 1 ml de las soluciones, 4 ml de solución de papaína 4 mg/ml en la solución reguladora de fosfato. Transferir 1 ml de solución en los tubos de centrifuga, añadir 0.5 ml de mezcla de aminoácidos y 0. 5 ml de suspensión de fosfato de cobre. Continuar con el punto 4 del procedimiento.

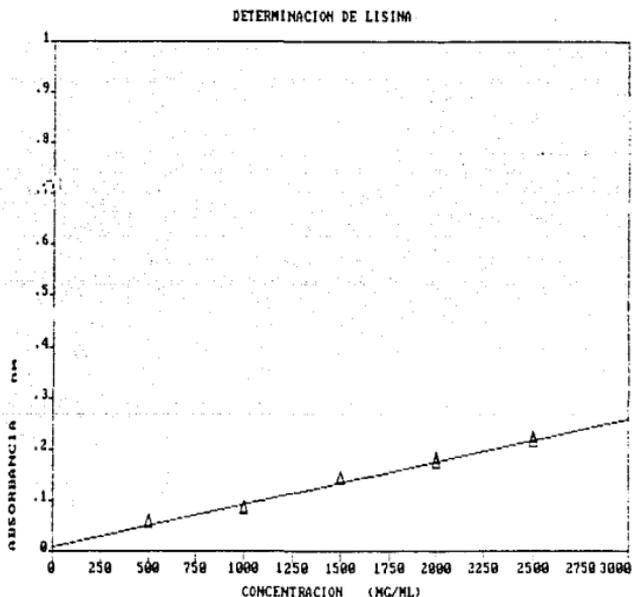


Figura A.2 Curva para determinación de lisina

A.7 Determinación de azúcares reductores

Azúcar reductor es aquel que tiene un grupo aldehído o cetona libre con capacidad reeductora (Badui, 1988).

Esta técnica requiere de los siguientes reactivos

- 1.- 1gr de ácido 3-5 Dinitrosalicílico
- 2.- 50 ml de agua + 20 ml de NaOH 2N
- 3.- 30 gr de tartrato doble de sodio y potasio
- 4.- Agua desionizada

Se disuelve el ácido 3-5 dinitrosalicílico en 50 ml de agua desionizada y se adicionan los gramos de tartrato doble de sodio y potasio. Luego se lleva la mezcla a 100 ml con agua desionizada y se guarda protegido de la luz.

Esta técnica requiere de los siguientes materiales

- 1.- Matraces aforados de 50 y 100 ml
- 2.- Embudos de filtración
- 3.- Papel Wathman para cristales finos
- 4.- Tubos de ensaye de 10 ml.

La técnica debera desarrollarse de la siguiente manera:

- 1.- Prepare una solución acuosa de 1 gr de muestra en 100 ml de agua desionizada y agítarla por 10 minutos (Preparar dos blancos de agua destilada)
- 2.- Se eliminan los sólidos no solubles por filtración
- 3.- En tubos de ensaye colocar 1 ml de solución acuosa de la muestra y agregar 1 ml de solución de coloración
- 4.- Desarrollar el color en un baño de agua a ebullición durante 5 minutos
- 5.- Enfriar en un baño de agua fría
- 6.- Afore a 10 ml con agua desionizada.
- 7.- Se lee la concentración en el espectómetro a 540 nm y se calcula el porcentaje de azúcares reductores usando la curva de calibración

Para desarrollar una curva de calibración deberan seguirse los siguientes pasos:

- 1.- Preparese una solución con maltosa disolviendo 1gramo e 1 litro de agua desionizada lo que equivale a 1 mg/ml.

2.- Realicene las siguientes diluciones colocando la cantidad de solución indicada y aforando a 10 ml

Dilución	ml de solución	µg maltosa/ml
1)	0.1	100
2)	0.2	200
3)	0.3	300
4)	0.4	400
5)	0.5	500
6)	0.6	600
7)	0.7	700
8)	0.8	800
9)	0.9	900
10)	1.0	1000

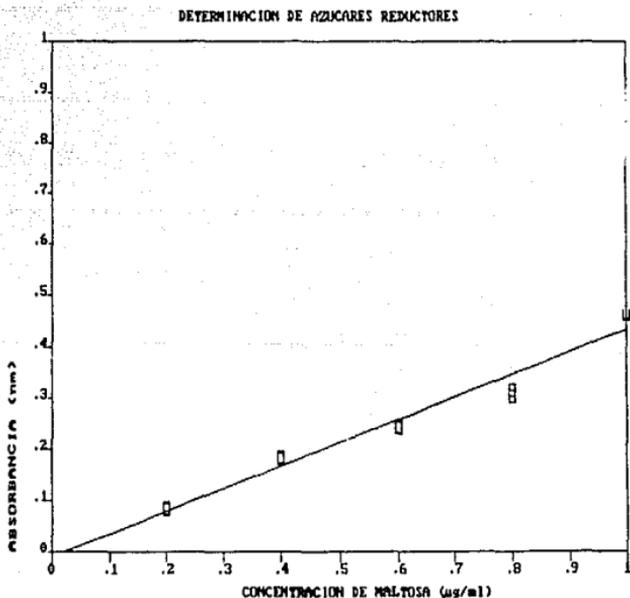


Figura A.5 Curva para determinación de azúcares reductores

A.8 Grosor del pericarpio

Esta técnica requiere del siguiente material:

1. Vernier
2. Bisturi

Los pasos a seguir en esta técnica son:

1. Se seleccionan semillas sanas, que no esten contaminadas por insectos, hongos o tengan roturas.
2. Deben remojarse se 20 a 30 minutos para aflojar el pericarpio sin que se penetre de agua el endospermo
3. Se toman 10 pericarpios y se obtiene el promedio del grosor sometido a la evaluación de desviación estándar.

A.9 Peso de 1000 granos

Esta técnica requiere de:

1. Balanza

los pasos a seguir en esta técnica son:

1. Se toman 20 muestras aleatorias en diferentes zonas de un saco de 60 kilogramos
2. Se toman 100 granos de cada muestra descartando previamente aquellos infectados por hongos o insectos o que esten rotos o cortos.
3. Se pesan las muestras y se multiplica por 10. El resultado se justifica por análisis de la varianza.

A.10 Peso hectolítrico

Esta técnica requiere del siguiente equipo:

1. Balanza hectolitrica:

Los pasos a seguir en esta técnica son:

1. Se toman 20 de muestras 1.5 kg aleatorias de diferentes zonas de un saco de 60 kg de maiz
2. Se introducen en el cilindro de una balanza Hectolitrica agitando la balanza para reducir el espacio vacio al mínimo
3. Se toman las lecturas y se justifica el promedio por análisis de la varianza

A.11 Densidad aparente

Esta técnica requiere del siguiente material:

1. Probeta de 500 ml
2. Balanza
3. Tolueno

Los pasos a seguir en esta técnica son:

1. Se pesan 250 ml de grano sano y entero en una probeta de 500 ml
2. Se llena el espacio vacío con un líquido inerte (tolueno) que no sea absorbido por el maíz
3. La fase líquida se decanta y se mide en una probeta determinando el volumen aparente del grano por diferencia
4. La densidad aparente del grano se calcula como:

$$D \text{ (Densidad)} = \frac{\text{Peso del grano}}{\text{Volumen del grano} - \text{volumen del líquido}}$$

5. El resultado se justifica por análisis de la varianza

A.12 Determinación del porcentaje de impurezas

Esta técnica requiere de :

1. Balanza

Los pasos a seguir en esta técnica son :

1. Se toman muestras aleatorias de diferentes zonas del lote de maíz y se pesan en muestras de 100 g
2. Se separan como impurezas: Los granos infectados por insectos u hongos, rotos, cortos (menores al 50% de diámetro promedio), insectos (vivos o muertos), excremento y pelo de roedores, larvas, ramas y variedades extrañas de maíz u otros granos
3. Las impurezas se pesan y el porcentaje se saca por diferencia

A.13 Determinación de color

Esta prueba se hace con el fin de comparar el color de las harinas extrudidas de maíz con el color de los testigos harina nixtamalizada de maíz y harina comercial nixtamalizada (MINSa y

MASECA) con respecto a un estándar de color blanco. esta prueba se realizó en el analizador de color Hunterlab propiedad del CIFAP- MEXICO - INIFAP.

Esta técnica requiere del siguiente equipo:

1. Colorímetro de reflectancia MD-25 Hunterlab
2. Cajas de petri
3. Mosaico blanco de calibración

Los pasos a seguir en esta técnica son:

- 1.- Calibrar el analizador con un mosaico blanco aplicando los parámetros del integrador ($L= 82.8$, $a= 0.9$, $b= -1.2$). el colorímetro de reflectancia Hunterlab MD- 25 registra la intensidad de luz absorbida por el color negro a la reflejada por el blanco (escala "L"), así como la descomposición de la luz en los colores básicos: La escala "a" va del rojo al verde y la "b" del amarillo al azul.
- 2.- Poner una muestra de harina en una caja de petri de 10 cm de diámetro y se comprime con un vidrio plano a manera de no dejar sombras que intervengan en las lecturas, ni dejar bordes de la cada sin cubrir para evitar infiltración de la luz lateralmente.
- 3.- Leer en el integrador los parámetros "L","a","b".
La desviación con respecto al estándar se calcula como:

$$nE = \sqrt{nL^2 + na^2 + nb^2}$$

A.14 Determinación de los índices de solubilidad en agua (ISA) y de absorción de agua (IAA) (Anderson et. al. 1969).

Esta técnica permite medir indirectamente el grado de gelatinización del almidón al cuantificar los sólidos solubles en agua y el agua que puede retener la harina.

Esta técnica requiere del siguiente equipo:

- 1.- Cápsulas de porcelana o cajas de petri
- 2.- Agitador mecánico
- 3.- tubos de centrifuga
- 4.- Centrifuga
- 5.- Balanza analítica
- 6.- Estufa

Los pasos a seguir en esta técnica son:

- 1.- En un tubo de centrifuga se coloca una muestra de harina de 1 a 2.5 g de harina y se le añaden 30 ml de agua.

- 2.- La suspensión es mantenida a 30 °C siendo sometida a agitación por 30 minutos.
- 3.- La suspensión se centrifuga a 3000 * G durante 10 minutos.
- 4.- El sobrenadante se decanta cuidadosamente en la cápsula de porcelana o caja de petri tarada previamente a peso constante .
- 5.- El sobrenadante se evapora en estufa hasta 105 °C hasta obtener el residuo de evaporación

Los índices se calculan mediante la fórmula:

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra} - \text{Peso del residuo de evaporación}}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}}$$

A.15 Determinaciones con en texturómetro universal Instron

Este instrumento descrito con anterioridad en el capítulo de metodologías permite determinar indirectamente el grado de gelatinización del almidón al medir las fuerzas de unión intermoleculares

En masas

Se usó la celda reversible de 200 kg cercana a fuerza promedio que aplica una máquina tortilladora. Se elaboraron esferas de masa 10g de masas fresca hidratada al 45 % en base seca las cuales fueron comprimidas al 97.22% registrando su comportamiento en el graficador del aparato.

Acotaciones

- Velocidad de celda 10 cm/ min
- Velocidad del registrador 10 cm/ min
- Peso de las muestras 10 ± 0.1g

En tortillas

Se elaboraron tortillas con muestras de 10±0.1 cm de diámetro y 0.3 ± 0.01 cm de diámetro nedidos con un micrómetro usando masas frescas hidratadas al 45% en base seca las cuales se colocan entre dos placas metálicas perforadas en su parte central y se pone una base intermedia a aparato que se encuentra a cierta

altura , dejando libres las perforaciones de las placas tanto en su parte superior como en la parte inferior. se empleó una celda de compresión de 200 kg y el accesorio tipo punción de estrella, el cual atraviesa la tortilla penetrando por la perforación de la placa metálica superior y saliendo por la inferior; registrando su comportamiento en el graficador del aparato.

Acotaciones

- Velocidad de la celda: 10 cm/min
- Velocidad del registrador: 20 cm/ min
- Características de las placas:
 - Placas de 9.9 x 10.5 cm
 - Espesor de las placas: 1.25 cm
 - Diámetro interno de las perforaciones: 1.6 cm
- Característica del punzón:
 - Diámetro del punzón 0.95 cm

A.16 Determinaciones con el viscosímetro Brookfield (Mitchka 1982, en Tecante 1985).

En suspensiones

Se elaboraron por duplicado suspensiones al 17.5% de harinas en base seca que fue la concentración máxima que permitió leer el aparato si salirse de escala. las cuales fueron sometidas a agitación magnética durante 2 minutos antes de leerse.

Se usó el huso número 1 y se tomaron las lecturas a intervalos regulares de 40 segundos para cada una de las velocidades (5, 10, 20 , 50 y 100 R.P.M.).

A.17 Determinaciones en el texturómetro Brabender

Este instrumento descrito en la sección III.2.8 que es una alternativa al texturómetro universal Instron nos permite realizar mediciones de compresión de masas

Los pasos de la técnica probada en la UNAM son:

- 1.- Se corta finamente un tubo de acero inoxidable pulido de 2 cm de longitud por media pulgada de diámetro interno

- 2.- Una vez que se ha realizado un amasado manual se hace parar la masa oprimiendo el tubo contra esta para formar cilindros los que se miden con un micrómetro y se cortan finamente con un bisturí

- 3.- Se colocan los cilindro de masa en la plataforma dentro de una caja de petri
- 4.- Se ajusta el aparato con el accesorio circular plano para compresión a 10 N de fuerza compresora
- 5.- Se ajusta la velocidad del papel a 1cm/ seg
- 6.- Se realiza la compresión
- 7.- Se miden los diámetros y las altura usando un micrómetro electrónico de cuatro cifras tomando hasta 10 lecturas para obtener una media más confiable y reducir la desviación estándar.

APENDICE B

DATOS EXPERIMENTALES

Tabla B1 Matriz de tratamientos y totales para suspensiones de harinas nixtamalizadas y extrudidas al 17.5% de sólidos (b.s.)

SUSPENSIONES DE HARINA EXTRUDIDA AL 17.5% b.s. y 30 °C .
VARIACION DE LA PENDIENTE DE LA GRAFICA LOG 10 (VISCOSIDAD APARENTE) vs LOG 10 R.P.M. MEDIDA EN UN VISCOSIMETRO BROOKFIELD.

TESTIGOS	PENDIENTE (cP/ RPM)
MINSA	- 0.6421
MASECA	- 0.6155

X = - 0.6288

MAIZ	HUMEDAD (g/ 100 g)	TEMPERATURA °C	PEN. (cP/RPM)
BL	25	120	- 0.6805
BL	25	105	- 0.3383
BL	25	90	- 0.4752
BL	20	120	- 0.6490
BL	20	105	- 0.5052
BL	20	90	- 0.0816
BL	15	120	- 0.4913
BL	15	105	- 0.0180
BL	15	90	- 0.0985
AM	25	120	- 0.6015
AM	25	105	- 0.6731
AM	25	90	- 0.5930
AM	20	120	- 0.4477
AM	20	105	- 0.6243
AM	20	90	- 0.3741
AM	15	120	- 0.6518
AM	15	105	- 0.3897
AM	15	90	- 0.0668

Tabla B2 Análisis estadístico para la matriz de tratamientos y totales para suspensiones de harina extrudida de maíz blanco

Order Fitting results for line

Independent variable	Coefficient	std. error	t value	sig. level
CONSTANT	0.329356	0.132578	-2.4757	0.0076
HG	0.1477	0.072616	2.0240	0.1348
TG	0.19132	0.072616	2.6359	0.0153
HG RAISE 2	0.061827	0.125774	0.4900	0.6257
TG RAISE 2	0.13317	0.125774	-0.9980	0.3118
HG TIMES TG	0.046035	0.080926	0.5271	0.6246

R-SQ. (Adj.) = 0.4927 SE = 0.17787 MSE = 0.080251 DurbinWat = 2.920
 Previouls: 0.0000 0.000000 0.000000
 7 observations fitted, for each (1) comput 1 for missing val. of dep. var.

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	0.405195	5	0.081039	2.56176	.0245
Error	0.094748	18	0.0052635		
Total (Corr.)	0.500000	23			

R-squared = 0.810208 Std. error of est. = 0.177872
 R-squared (Adj. for d.f.) = 0.4927 Durbin-Watson statistic = 2.92

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
HG	0.1302124	1	0.1302124	4.14	0.040
TG	0.2267858	1	0.2267858	7.16	0.0154
HG RAISE 2	0.0029711	1	0.0029711	.24	0.625
TG RAISE 2	0.0150887	1	0.0150887	1.00	0.317
HG TIMES TG	0.0008796	1	0.0008791	.20	0.659

Model 0.405195 5
 Residual Summary

Number of observations = 5 (0 missing values excluded)
 Residual average = 4.63592E-10
 Residual variance = 0.00216383
 Residual standard error = 0.147097

Loeff. of skewness = 0.0162877 standardized value = 0.0173385
 Coeff. of kurtosis = -0.292794 standardized value = -0.1791797

Durbin-Watson statistic = 2.92
 95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Coefficient	Standard error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	0.329356	0.132578	-0.75018	0.49267
HG	0.1477	0.072616	-0.37880	0.08340
TG	0.19132	0.072616	-0.42525	0.07660
HG RAISE 2	0.061827	0.125774	-0.22864	0.46190
TG RAISE 2	0.13317	0.125774	-0.52574	0.27475
HG TIMES TG	0.046035	0.080926	-0.22616	0.12791

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

Tabla B3 Análisis estadístico para la matriz de tratamientos y totales para suspensiones de harina extrudida de maíz amarillo

Model fitting results (cont INAH)					
Independent variable	Coefficient	std. error	t-value	sig. level	
CONSTANT	0.555067	0.072900	-7.5858	0.0048	
HH	0.12658	0.039933	-3.1690	0.0505	
TH	0.111183	0.039933	-2.7842	0.0667	
HH RAISE 2	-0.01725	0.069167	-0.2407	0.8571	
TH RAISE 2	0.10655	0.069167	1.5405	0.2211	
HH TIMES TH	0.144175	0.048700	2.9468	0.0602	
R-SQ. (ADJ.) = 0.7492	SEE = 0.097016	R-HEF = 0.048089	DurbWatn = 2.102		
Previous val.	0.0000	0.000000	0.000000	0.000	
9 observations fitted. (preceding) computed for 0 missing val. of dep. var.					
Analysis of Variance for the Full Regression					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	0.276441	5	0.0552886	5.77846	.0898
Error	0.0207041	3	0.0069004		
Total (Corr.)	0.297145	8			
R-squared = 0.90933 ✓					
R-squared (Adj. for d.f.) = 0.749154					
Std. error of est. = 0.0978164					
Durbin-Watson statistic = 2.10346					
Further ANOVA for Variables in the Order Fitted					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
HH	0.0600947	1	0.0600947	10.04	.0505
TH	0.0741704	1	0.0741704	7.75	.0607
HH RAISE 2	0.0001920	1	0.0001920	.04	0.8501
TH RAISE 2	0.0227050	1	0.0227050	2.37	.1211
HH TIMES TH	0.0830896	1	0.0830896	8.60	.0602
Model	0.27644209	5			
Residual Summary					
Number of observations = 9 (0 missing values excluded)					
Residual average = -0.7847117					
Residual variance = 9.55800E-5					
Residual standard error = 0.0978164					
Coeff. of skewness = 0.530509 standardized value = 0.659635					
Coeff. of kurtosis = -0.364901 standardized value = -0.273504					
Durbin-Watson statistic = 2.10346					
95 percent confidence intervals for coefficient estimates					
	Estimate	Standard error	Lower Limit	Upper Limit	
CONSTANT	-0.052507	0.07291	-0.70509	-0.32104	
HH	-0.12658	0.03993	-0.23364	-0.00954	
TH	-0.111184	0.03993	-0.23827	-0.01590	
HH RAISE 2	-0.01725	0.06917	-0.23407	0.20617	
TH RAISE 2	0.10655	0.06917	-0.11357	0.32667	
HH TIMES TH	0.14417	0.04871	-0.01152	0.29977	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

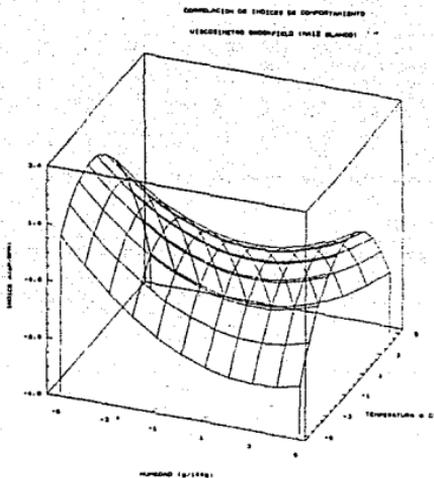


Figura B1 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en suspensiones de harina extrudada de maíz blanco al 17.5% sólidos (b.s.)

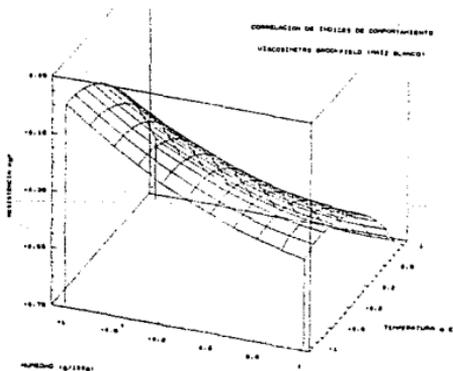


Figura B2 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en suspensiones de harina extrudada de maíz blanco al 17.5% sólidos (b.s.)

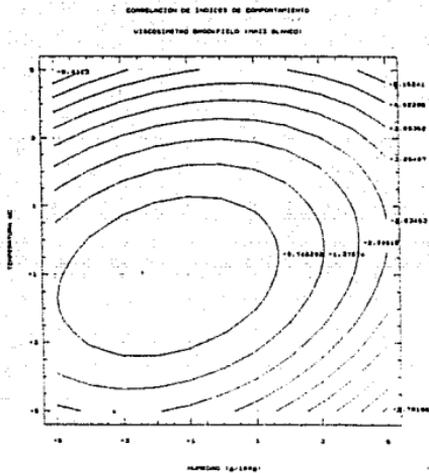


Figura B3 contorno de respuesta para la figura B1

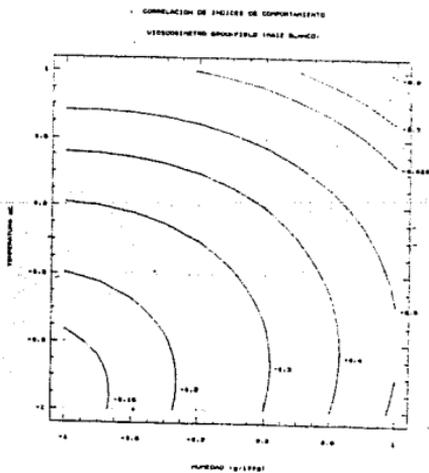


Figura B4 contorno de respuesta para la figura B2

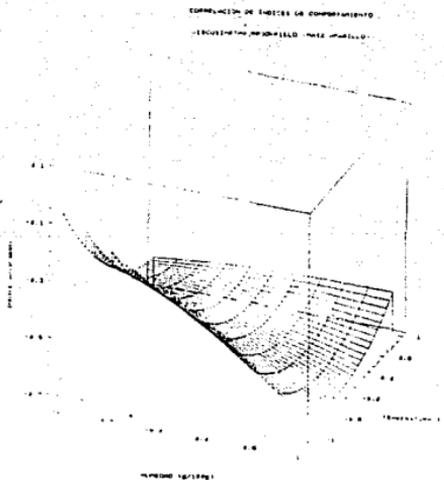


Figura B5 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en suspensiones de harina extrudida de maíz amarillo al 17.5% sólidos (b.s.)

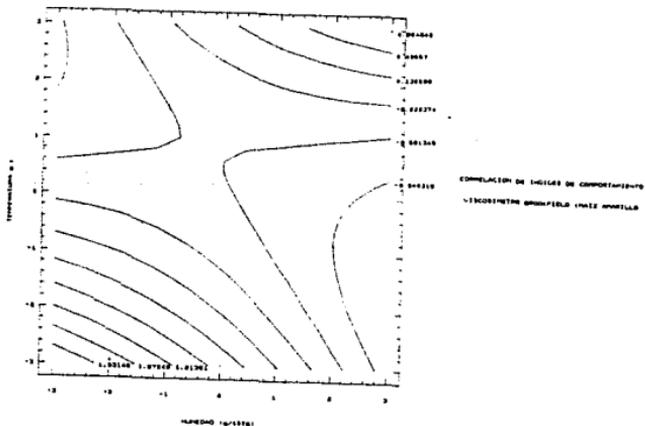


Figura B6 Contorno de respuesta extrapolado para la figura B5

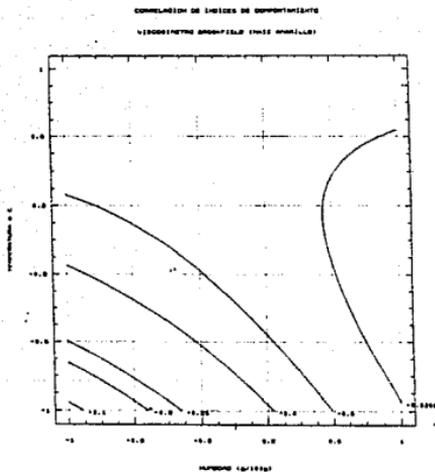


Figura B7 Contorno de respuesta sin extrapolar para la figura B5

Tabla B4 Matriz de tratamientos y totales para suspensiones de harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíces blanco y amarillo al 5% de sólidos (b.s.) tratadas termicamente ("atoles")

PRUEBAS REALIZADAS EN UN VISCOSIMETRO BROOKFIELD EN ATOLES (5% DE SÓLIDOS b.s., COCIDOS 3 MIN A 92 °C Y ENFRIADOS A 50 °C).

TESTIGOS	PENDIENTE (cP/RPM)	
MASECA	- 0.3089	
MINSA	- 0.3003	X = - 0.3181
NIX BL	- 0.3617	S = 0.0292
NIX AM	- 0.3024	C.V. = 0.0917

MAIZ	HUMEDAD (g/100 g)	TEMPERATURA °C	PENDIENTE (cP/RPM).
BL	25	120	- 0.3473
BL	25	105	- 0.2420
BL	25	90	- 0.3033
BL	20	120	- 0.3889
BL	20	105	- 0.3908
BL	20	90	- 0.3869
BL	15	120	- 0.4133
BL	15	105	- 0.5443
BL	15	90	- 0.4473
AM	25	120	- 0.3161
AM	25	105	- 0.3794
AM	25	90	- 0.3042
AM	20	120	- 0.3428
AM	20	105	- 0.2335
AM	20	90	- 0.2854
AM	15	120	- 0.2069
AM	15	105	- 0.2831
AM	15	90	- 0.2625

Tabla B5 Análisis estadístico para la matriz de tratamientos y totales para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) elaboradas con harina extrudida de maíz blanco

Model fitting results for INBLA

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-0.296332	0.049155	-8.6629	0.0040
HI	0.065281	0.026923	3.1713	0.0504
II	0.002	0.026923	-0.0741	0.9453
HI RAISE 2	0.00595	0.046633	0.1276	0.9065
II RAISE 2	0.0112	0.046633	0.2402	0.8257
HI TIMES II	-0.0195	0.022974	-0.3914	0.5959
R-SQ. (ADJ.) = 0.4068	SE = 0.065949	MAE = 0.034489	durWat = 3.172	
Previously:	0.0000	0.000000	0.000000	0.000

9 observations fitted. forecasts computed for 0 missing val. of dep. var.

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	Df	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
HI	.04374180	1	.0437419	10.06	.0504
II	.00002900	1	.0000290	.01	.9453
HI RAISE 2	.00002900	1	.0000290	.02	.9065
II RAISE 2	.00025908	1	.0002591	.06	.8258
HI TIMES II	.00152100	1	.0015210	.35	.6017
Model	.04560077	5			

Regression Summary

Number of observations = 9 (0 missing values excluded)
 Residual average = 6.16781E-10
 Residual variance = 4.24422E-3
 Residual standard error = 0.0659496

Coeff. of slowness = -0.131191 standardized value = -0.166675
 Coeff. of loss = -0.267021 standardized value = -0.175764

Durbin-Watson statistic = 3.17301

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	0.0456008	5	0.0912017	7.09732	.2870
Error	0.0659496	4	0.0164874		
Total (Corr.)	0.0520504	9			

R-squared = 0.772557 Std. error of est. = 0.0659486
 F-squared (Adj. for d.f.) = 0.406817 Durbin-Watson statistic = 3.17301

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	0.296332	0.04916	-0.35277	0.25990
HI	0.065281	0.02692	-0.09920	0.17107
II	-0.002000	0.02692	-0.08768	0.08368
HI RAISE 2	0.005955	0.04663	-0.14246	0.15436
II RAISE 2	0.011200	0.04662	-0.13721	0.15961
HI TIMES II	-0.019500	0.03297	-0.12444	0.08544

Tabla B6 Análisis estadístico para la matriz de tratamientos y totales para suspensiones al 5% de sólidos (b.s.) de harina extrudida de maíz amarillo tratadas técnicamente ("ataoles")

Model Fitting Results for TRABA

Independent variable	Coefficient	Std. Error	T-value	P-value
CONSTANT	0.27547	0.04400	6.25831	0.0001
HJ	-0.0412	0.04450	-1.6259	0.1123
TJ	-0.002295	0.04450	-0.0727	0.9319
HJ RAISE 2	0.0940	0.04450	2.1127	0.0370
TJ RAISE 2	0.01225	0.04450	0.2750	0.7907
HJ TIMES TJ	0.016075	0.04450	0.36109	0.7143

R-SQ, (ADJ.) = 0.0000 SE = 0.060217 MAE = 0.027066 Durbin-Watson = 0.63
 F-Statistic = 0.0000 0.000000 0.000000 0.0000

3 observations fitted, forecastal computed for 0 missing val. of dep. var.

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	0.0117061	5	0.0023412	0.645660	.6804
Error	0.0107901	3	0.0035967		
Total (Corrected)	0.0225042	8			

R-squared = 0.51000

Std. error of est. = 0.0602166

R-squared (adj. for D.F.) = 0

Durbin-Watson statistic = 0.66336

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
HJ	0.0038464	1	0.0038464	2.31	.1725
TJ	0.0002110	1	0.0002110	.04	.8320
HJ RAISE 2	0.0003495	1	0.0003495	.04	.7105
TJ RAISE 2	0.0002050	1	0.0002050	.03	.7925
HJ TIMES TJ	0.0112988	1	0.0112988	7.51	.0198

Model 0.0117061 5

Residual Summary

Number of observations = 7 (3 missing values excluded)

Residual average = 0.0000000

Residual variance = 0.0035967

Residual standard error = 0.0602166

Coeff. of standardization = 0.0920728 standardized value = 0.112021

Coeff. of correlation = 0.0445000 standardized value = -0.162724

Durbin-Watson statistic = 0.66336

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	0.27547	0.04400	-0.43830	0.15263
HJ	-0.04120	0.04450	-0.11944	0.03700
TJ	-0.002295	0.04450	-0.09052	0.07595
HJ RAISE 2	0.01225	0.04450	-0.14031	0.13071
TJ RAISE 2	0.016075	0.04450	-0.12516	0.14786
HJ TIMES TJ	0.016075	0.04450	-0.11269	0.07874

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

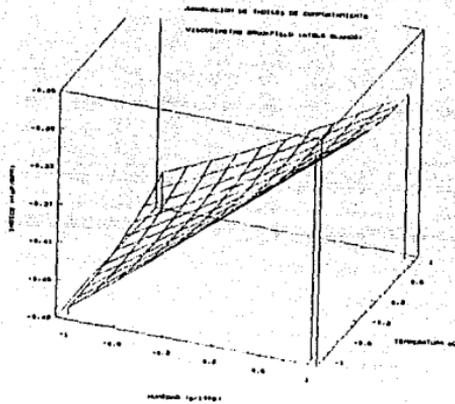


Figura BB Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en "atoles" de maíz blanco

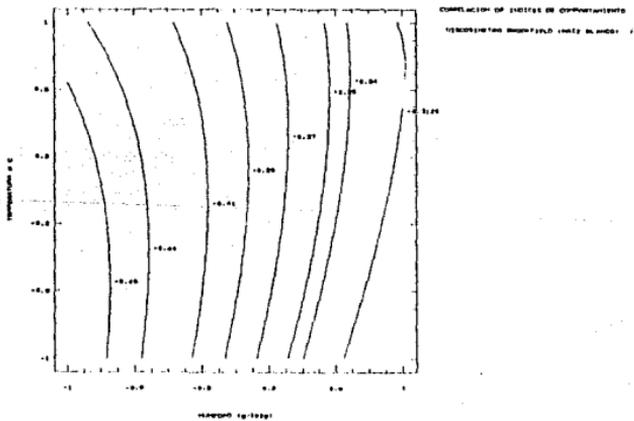


Figura B9 Contorno de respuesta para la figura BB

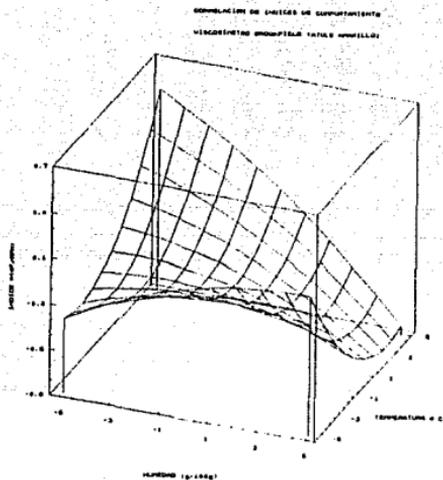


Figura 10 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en "atoles" de maíz amarillo

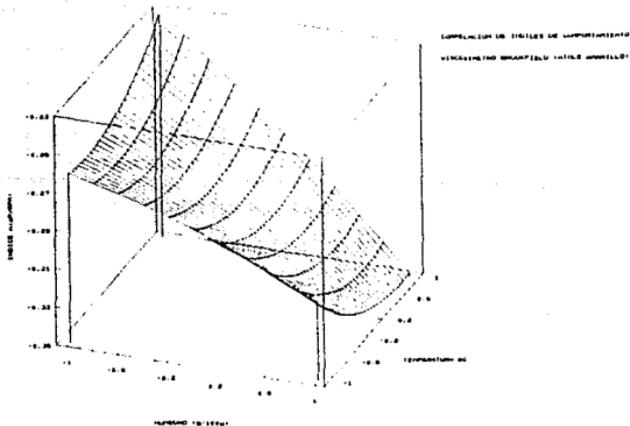


Figura B11 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de comportamiento en "atoles" de maíz amarillo

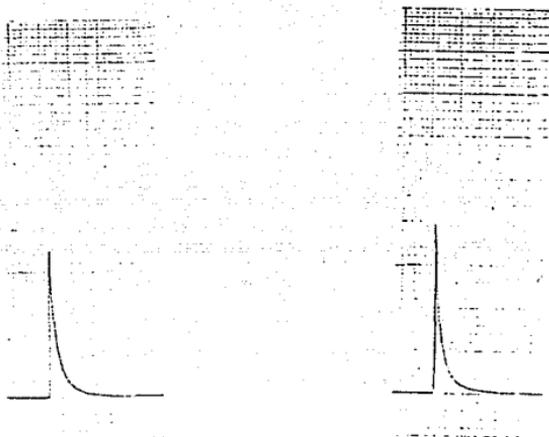


Figura B14 Picos de respuesta para masas de harinas comerciales (MASECA, MINSA)

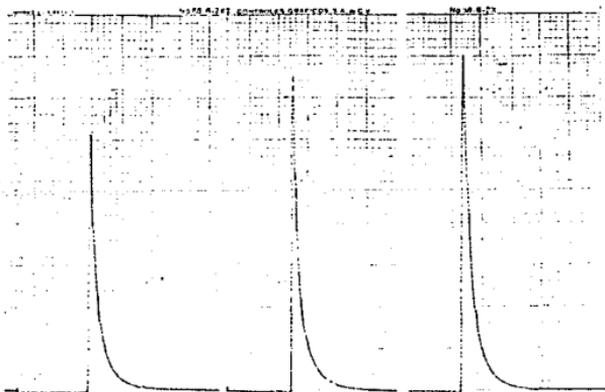


Figura B15 Picos de respuesta para compresión de masas de algunas pruebas preliminares

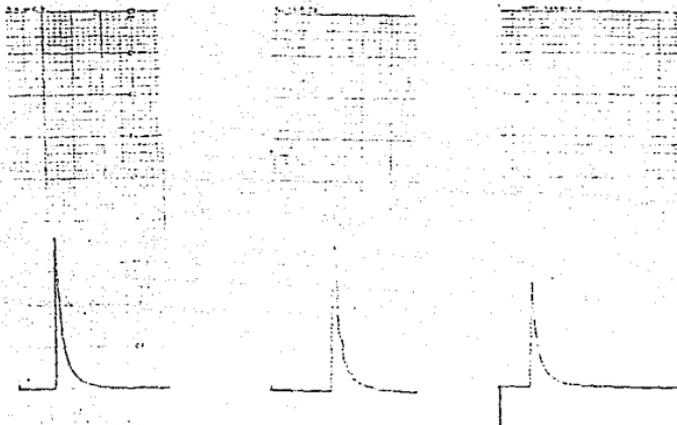


Figura B16 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco al 25% de humedad (b.s.)

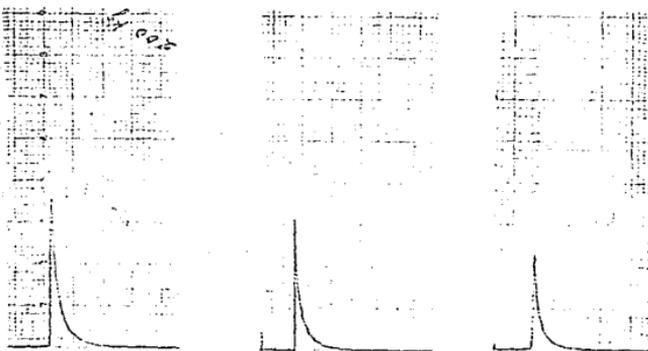


Figura B17 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco al 20% de humedad (b.s.)

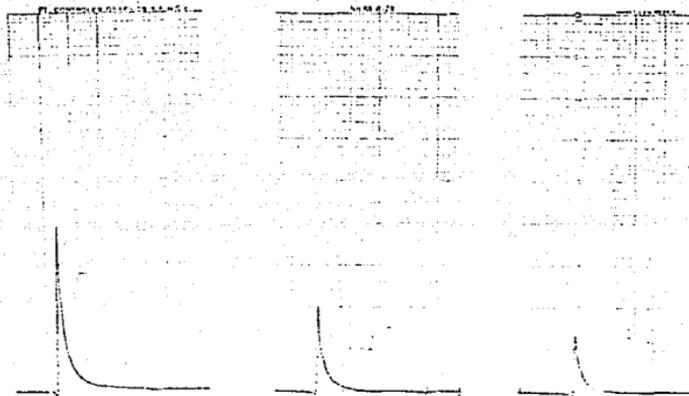


Figura B18 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco al 15% de humedad (b.s.)⁵

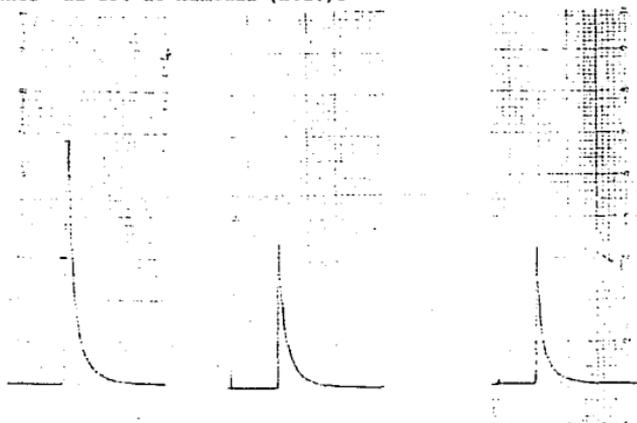


Figura B19 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo al 25% de humedad (b.s.)

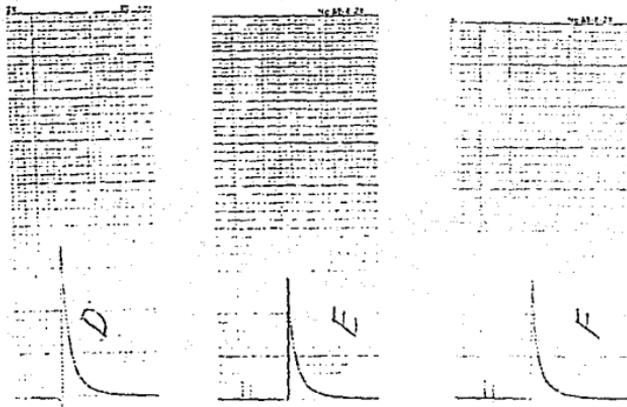


Figura B20 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo al 20% de humedad (b.s.)

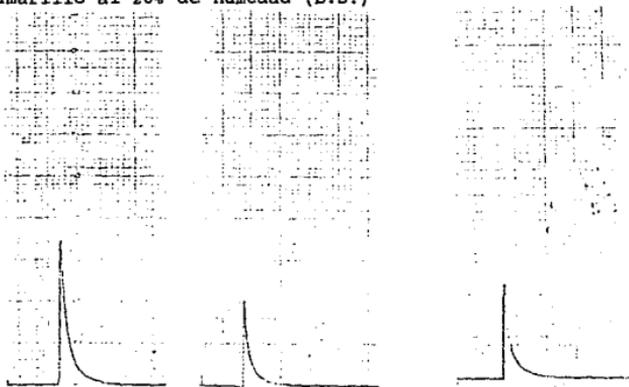


Figura B21 Picos de respuesta para masas al 55% de sólidos (b.s.), elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo al 15% de humedad (b.s.)

Tabla B7 Matriz de tratamientos y totales para la compresión de masas elaboradas con harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz blanco y amarillo

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN MASAS AL TEXTUROMETRO INSTRON CUANDO SE APLICAN 200 kgf

TESTIGOS RESPUESTA kgf

MINSA 360

MASECA 380

X= 370

MAIZ	HUMEDAD (g H2O) 100 g	TEMPERATURA °C	RESPUESTA kgf
BL	25	120	360
BL	25	105	340
BL	25	90	245
BL	20	120	350
BL	20	105	310
BL	20	90	230
BL	15	120	350
BL	15	105	200
BL	15	90	140
AM	25	120	580
AM	25	105	340
AM	25	90	320
AM	20	120	345
AM	20	105	280
AM	20	90	220
AM	15	120	340
AM	15	105	200
AM	15	90	210

Tabla B9 Análisis estadístico para la compresión de masas elaboradas con harinas de maíz amarillo nixtamalizadas y extrudidas

Model Fitting results for: #16

Independent variable	Coefficient	Std. error	t-value	sig. level
CONSTANT	240	22.7226	10.561	0.0001
#B	81.88867	17.70337	4.6251	0.0012
TE	85.83333	17.70333	4.8488	0.0017
#B RAISE 1	50	30.68249	1.6298	0.1018
TE RAISE 2	62.5	30.68249	2.0361	0.0443
#B TIMES TE	22.5	21.88288	1.0281	0.3059

R-SQ. (ADJ.) = 0.8593 MS = 43.18571 MAE = 20.18818 Durbin-Watson = 2.084
 Predicted: 0.0000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000
 (Observations fitted, forecasted, computed for missing values of dependent variable)

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	101258.7	5	20251.7	10.7890	0.0002
Error	5641.67	9	626.85		
Total (Corrected)	106900.4	14			

R-squared = 0.947225 Std. error of est. = 43.3654
 R-squared (Adj.) for d.f. = 0.859266 Durbin-Watson statistic = 2.0846

Further ANOVA for variables in the Model fitted

Source	Sum of Squares	df	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
#B	40016.867	1	40016.867	21.18	0.0022
TE	44204.167	1	44204.167	23.82	0.0017
#B RAISE 1	5000.0000	1	5000.0000	2.68	0.1119
TE RAISE 2	7812.5000	1	7812.5000	4.12	0.0443
#B TIMES TE	4222.0000	1	4222.0000	2.25	0.1509
Total	101258.733	5			

Residual Summary

Number of observations = 9 (9 missing values excluded)
 Residual average = -0.7365814
 Residual variance = 11860.56
 Residual standard error = 43.3654

Levene's test for homogeneity of variance = 0.21667 standardized value = 0.46815
 Cook's distance = 0.000054 bfe criterion value = 0.000100

Durbin-Watson statistic = 2.0846

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower limit	Upper limit
CONSTANT	240.000	22.7226	177.175	342.825
#B	81.8887	17.70337	35.2251	128.552
TE	85.8333	17.7033	31.8718	141.175
#B RAISE 1	50.0000	30.6825	-10.5625	147.562
TE RAISE 2	62.5000	30.6825	-10.0925	160.098
#B TIMES TE	22.5000	21.8827	-10.3849	151.384

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

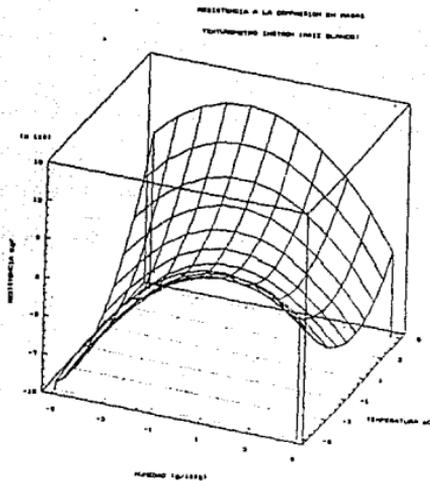


Figura B22 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la compresión de masas elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco

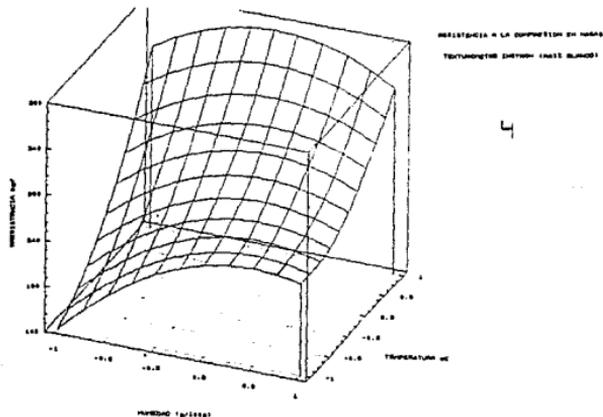


Figura B23 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la compresión de masas elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco

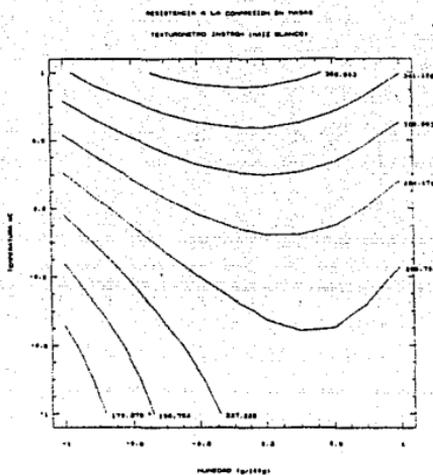


Figura B24 Contorno de respuesta para la figura B23

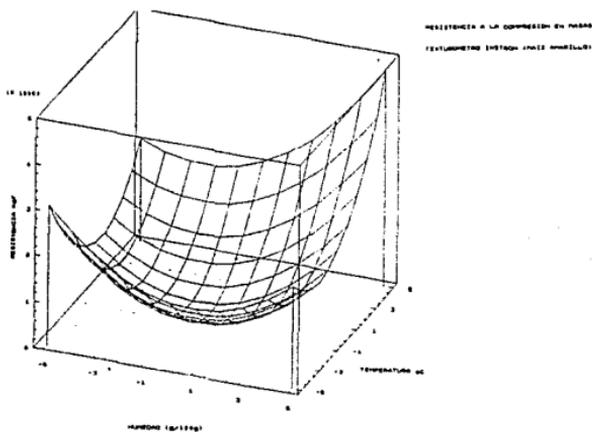


Figura B25 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la compresión de masas elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo

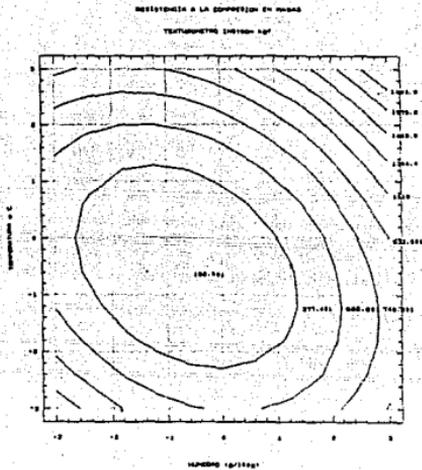


Figura B26 Contorno de respuesta para la figura B25

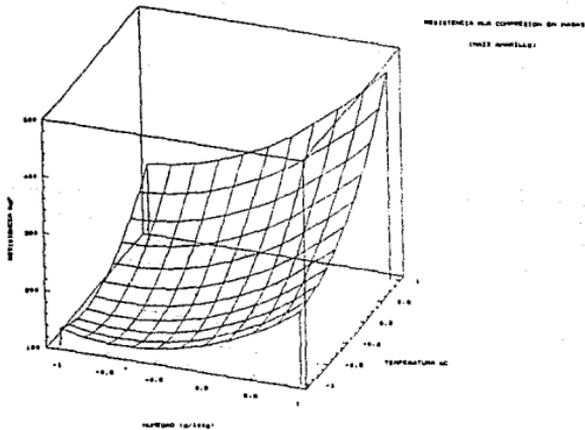


Figura B27 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la compresión de masas elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo

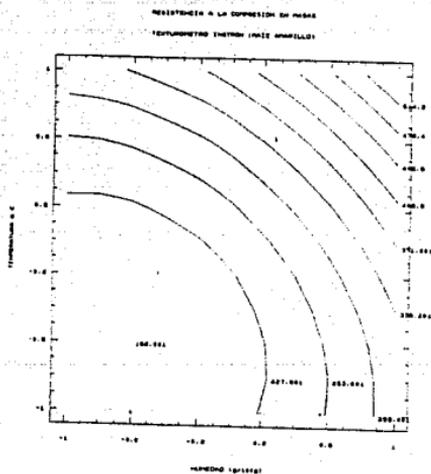


Figura B28 Contorno de respuesta para la figura B27

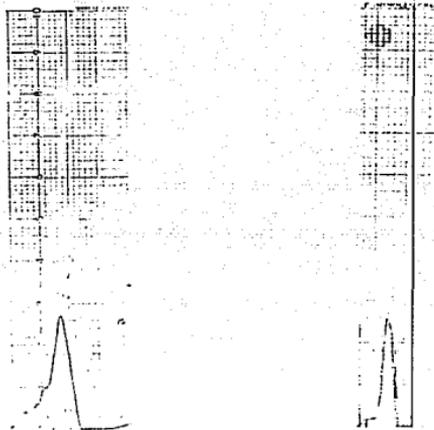


Figura B29 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas nixtamalizadas comerciales (MASECA, MINSA)

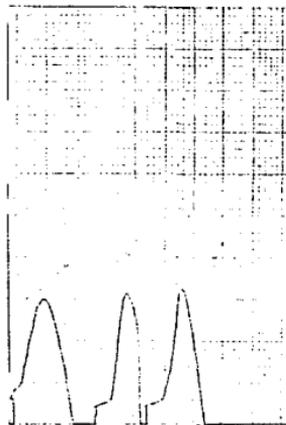


Figura B30 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de algunas pruebas preliminares

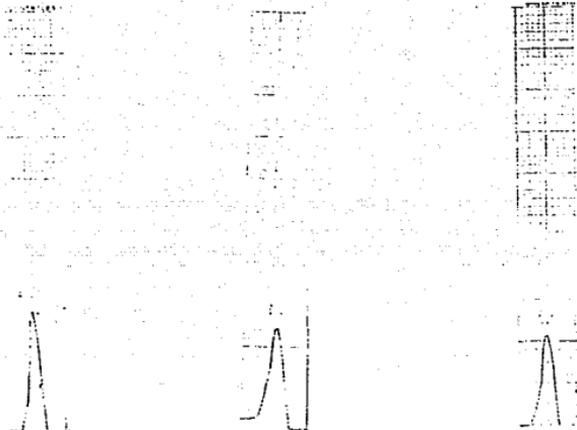


Figura B31 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz blanco extrudidas al 25% de humedad (b.s.)

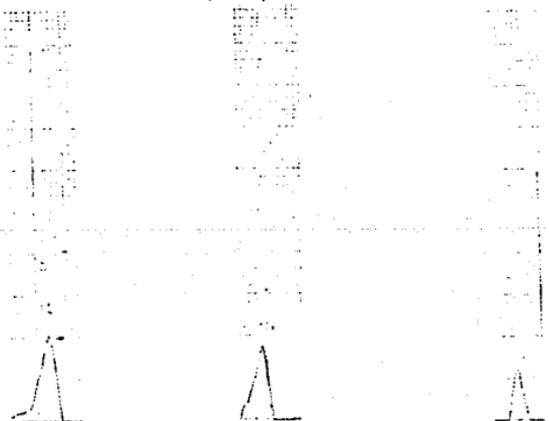


Figura B32 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz blanco extrudidas al 20% de humedad (b.s.)



Figura B33 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz blanco extrudidas al 15% de humedad (b.s.)

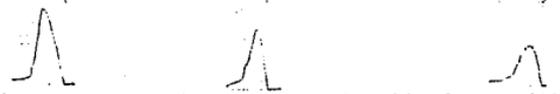


Figura B34 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz amarillo extrudidas al 25% de humedad (b.s.)

104-10-45501

104-10-45502

104-10-45503



Figura B35 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz amarillo extrudidas al 20% de humedad (b.s.)



Figura B36 Picos de respuesta para penetración de tortillas elaboradas con harinas de maíz amarillo extrudidas al 25% de humedad (b.s.)

Tabla B10 Matriz de tratamientos y totales para la penetración de tortillas elaboradas con harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíces blanco y amarillo

RESISTENCIA A LA PENETRACION EN TORTILLAS COCIDAS A 400 °C
1 MINUTO POR UNA CARA Y 10 SEG POR OTRA USANDO EL TEXTUROMETRO
INSTRON CON EL PUNZON DE ESTRELLA APLICADO CON 200 kgf

TESTIGOS	RESISTENCIA kgf	
MINSA	1.90	
MASECA	1.85	X = 1.875

MAIZ	HUMEDAD (g/100 g)	TEMPERATURA °C	RESPUESTA kgf
BL	25	120	1.40
BL	25	105	1.20
BL	25	90	1.05
BL	20	120	1.00
BL	20	105	0.90
BL	20	90	0.55
BL	15	120	0.90
BL	15	105	0.70
BL	15	90	0.475
AM	25	120	1.35
AM	25	105	1.00
AM	25	90	0.90
AM	20	120	0.95
AM	20	105	0.70
AM	20	90	0.50
AM	15	120	0.75
AM	15	105	0.60
AM	15	90	0.50

Tabla B12 Análisis estadístico para la penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo

Model fitting results (continued)

Independent variable	Coefficient	Std. error	t-value	Prob. > t
CONSTANT	0.27776	0.00175	158.1	<.0001
MC	0.12277	0.00175	70.1	<.0001
TC	0.11887	0.00169	70.3	<.0001
MC RAISE 1	0.12277	0.00169	70.3	<.0001
TC RAISE 1	0.05533	0.00169	32.7	<.0001
MC TIME 1	0.00	0.00139	0.0	0.1442

R-SQ (ADJ.) = 0.9458 SE = 0.001910 F-TEST = 0.02516 Durbin-Watson = 2.1147
 F-TEST (1, 4) = 0.0000 0.000000 0.000000 0.000000
 5 observations fitted. Forecast(s) computed for 5 missing cell. 0.000000

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Value	Prob. > F
Model	0.599444	5	0.119889	46.1429	<.0001
Error	0.0077776	4	0.0019444		
Total (Corrected)	0.607222	9			

R-squared = 0.97151 Lind. error of est. = 0.001910
 Adjusted R-sq. for d.f. = 0.945843 Durbin-Watson statistic = 2.1147

Further ANOVA for Variables in the Model (continued)

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Value	Prob. > F
MC	0.226967	1	0.226967	126.40	<.0001
TC	0.224167	1	0.224167	125.40	<.0001
MC RAISE 1	0.225333	1	0.225333	124.71	<.0001
TC RAISE 1	0.068958	1	0.068958	37.60	<.0001
MC TIME 1	0.0160000	1	0.0160000	8.66	0.0047
Model	0.599444	5			

Residual Summary

Number of observations = 9. All missing values excluded.
 Residual average = 0.0511111
 Residual variance = 0.0019444
 Residual standard error = 0.0044091

Coeff. of skewness = 0.55634 standardized value = 0.661074
 Coeff. of kurtosis = -1.22528 standardized value = 0.11165
 Durbin-Watson statistic = 2.1147

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower limit	Upper limit
CONSTANT	0.27776	0.00175	0.25746	0.29806
MC	0.12277	0.00175	0.11827	0.12727
TC	0.11887	0.00169	0.11453	0.12321
MC RAISE 1	0.12277	0.00169	0.11827	0.12727
TC RAISE 1	0.05533	0.00169	0.05062	0.06004
MC TIME 1	0.00000	0.00139	-0.00139	0.00139

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

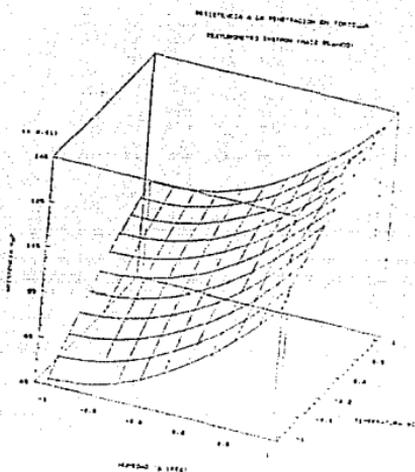


Figura B37 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco.

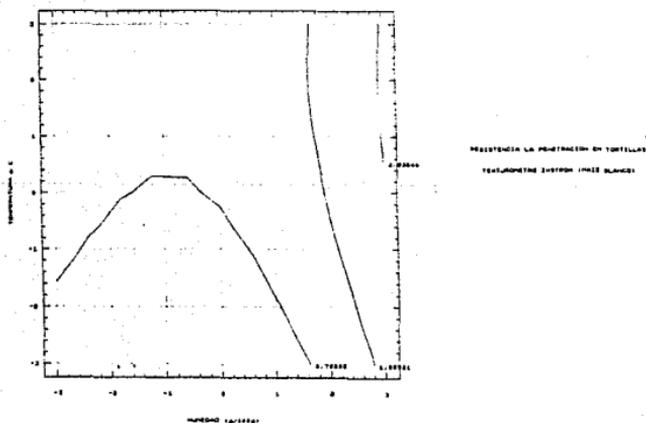


Figura B38 Contorno de respuesta para la figura B37

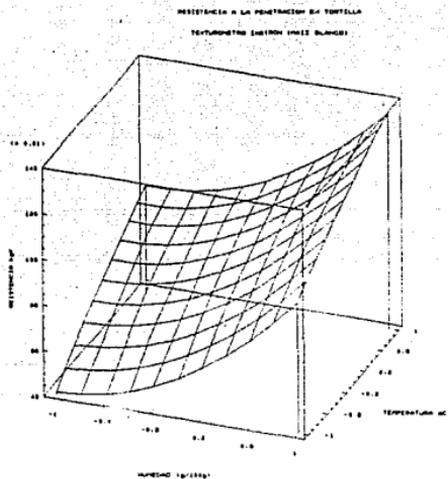


Figura B39 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de maíz blanco.

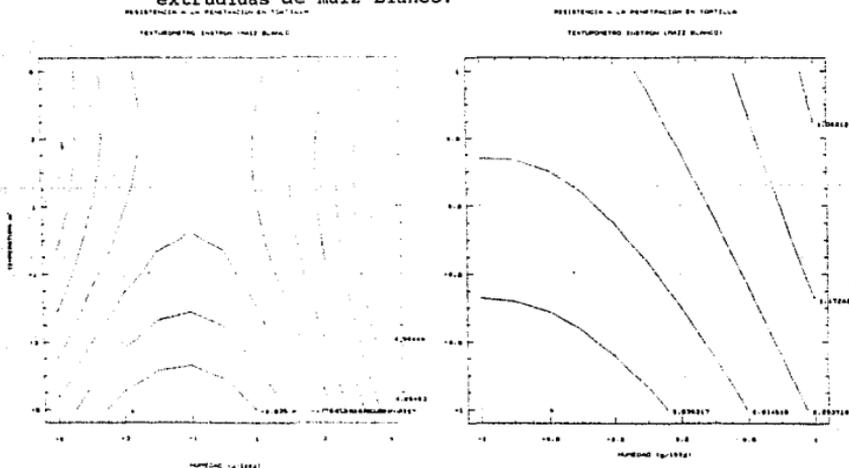


Figura B40 Contorno de respuesta para la figura B39

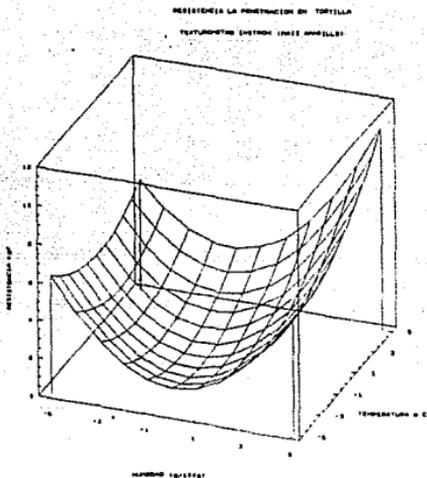
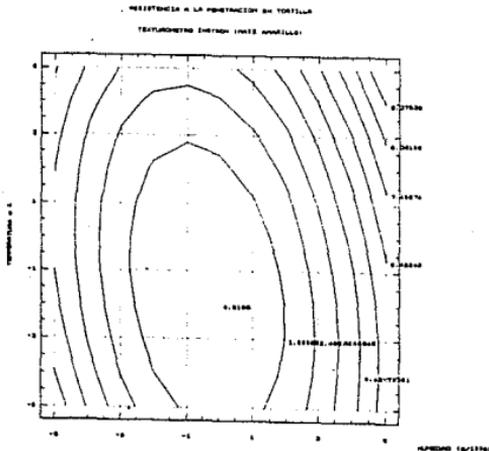


Figura B41 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo.



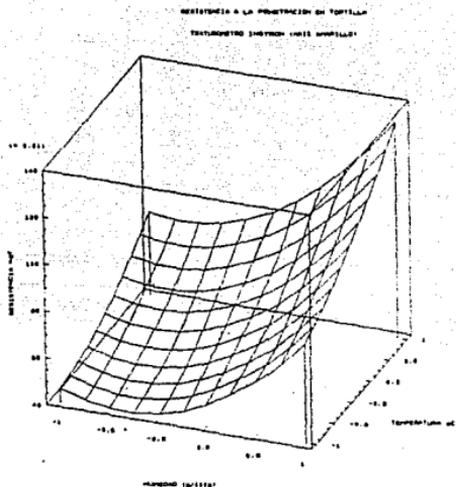


Figura B43 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la penetración de tortillas elaboradas con harinas extrudidas de maíz amarillo.

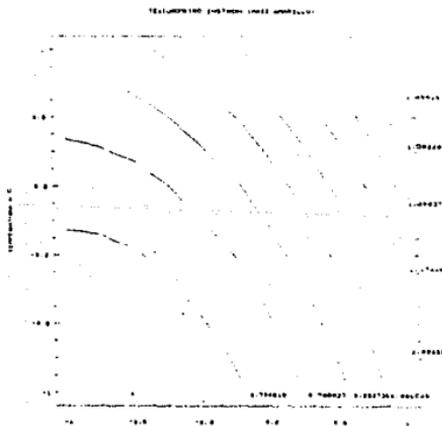


Figura B44 Contorno de respuesta para la figura B43

Tabla B13 Matriz de tratamientos y totales para la variación del módulo de la elasticidad en masas elaboradas con harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíces blanco y amarillo.

 VARIACION DEL MODULO DE LA ELASTICIDAD N/ cm2

TESTIGOS	M.E. N/ cm2		
MINSA	3.7510		
MASECA	3.6349		
NIX BL	3.4422	X =	3.5440
		S =	0.1824
NIX AM	3.3480	C.V. =	0.0052

MAIZ	HUMEDAD (g/100 g)	TEMP °C	M.E. N/cm2
BL	25	120	3.7210
BL	25	105	2.9963
BL	25	90	2.7497
BL	20	120	3.1704
BL	20	105	2.3489
BL	20	90	2.3149
BL	15	120	3.0360
BL	15	105	1.9469
BL	15	90	1.4984
AM	25	120	3.6396
AM	25	105	3.1745
AM	25	90	3.1189
AM	20	120	3.1738
AM	20	105	2.2720
AM	20	90	2.5123
AM	15	120	2.5760
AM	15	105	2.1810
AM	15	90	1.3485

Tabla B16 Análisis estadístico para la variación del modulo de la elasticidad en masas de maiz amarillo usando el texturómetro Brabender

Model fitting results for pNE

Independent variable	Coefficient	Std. error	t-value	sig. level
Model	2.798	0.10631	26.3702	0.0000
NE	0.260712	0.05822	4.4827	0.0002
TE	0.497617	0.05822	8.5484	0.0000
NE RAISE 1	0.2177	0.10000	2.1770	0.0311
TE RAISE 2	0.04665	0.10000	0.4665	0.6475
NE TIMES TE	-0.141575	0.07132	-1.9851	0.0414

R-Sq. (Adj.) = 0.9582 SE = 0.14267 MAE = 0.076756 DurbinWatn = 1.401
 F-previous = 0.0000 0.000000 0.000000
 9 observations fitted, Forecast(s) computed for 0 missing val. of dep. var.

Analysis of Variance for the full regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	p-value
Model	276466	5	55293.2	26.9642	0.0000
Error	0.6610378	5	0.1322076		
Total (corr.)	0.71970	8			

R-squared = 0.982591 Std. error of est. = 0.14267
 R-squared (adj.) = 0.958242 Durbin-Watson statistic = 1.4008

Further pNOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	p-value
Model	276466	5	55293.2	26.9642	0.0000
NE	1.685514	1	1.685514	14.1212	0.0012
TE	1.48571406	1	1.48571406	12.7022	0.0014
NE RAISE 1	0.2016658	1	0.2016658	1.7212	0.1971
TE RAISE 2	0.00415245	1	0.00415245	0.0353	0.8570
NE TIMES TE	0.68017292	1	0.68017292	5.8211	0.0142
Model	3.6586526	5			

Residual Summary

Number of observations = 9 (0 missing values excluded)
 Residual average = -1.12701E-10
 Residual variance = 0.0202439
 Residual standard error = 0.142679
 Coeff. of skewness = 0.488972 standardized value = 0.175097
 Coeff. of kurtosis = 0.468777 standardized value = 0.164647
 Durbin-Watson statistic = 1.4008

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower limit	Upper limit
CONSTANT	2.79760	0.10632	2.59128	2.99392
NE	0.260712	0.05822	0.15251	0.36891
TE	0.497617	0.05822	0.38229	0.61294
NE RAISE 1	0.21770	0.10000	-0.00329	0.43869
TE RAISE 2	0.04665	0.10000	-0.27424	0.36094
NE TIMES TE	-0.14158	0.07132	-0.28035	0.00719

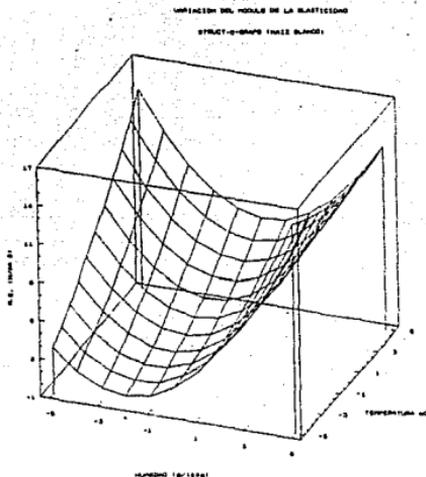


Figura B45 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del módulo de la elasticidad de masas elaboradas con harina extrudida de maíz blanco

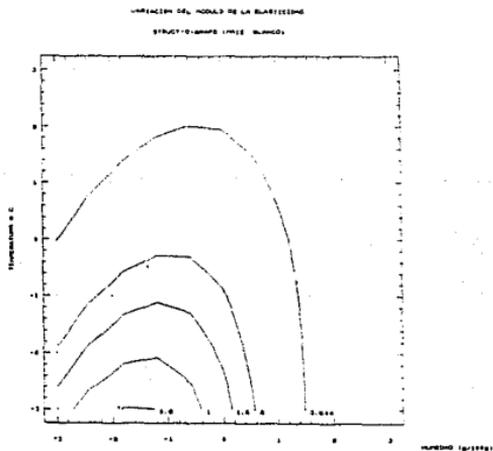


Figura B46 Contorno de respuesta para la figura B45

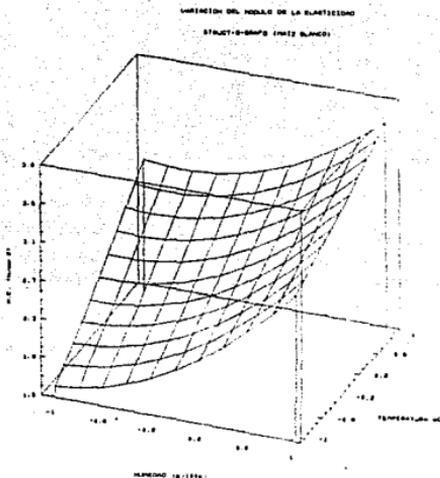


Figura B47 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del módulo de la elasticidad de masas elaboradas con harina extrudida de maíz blanco

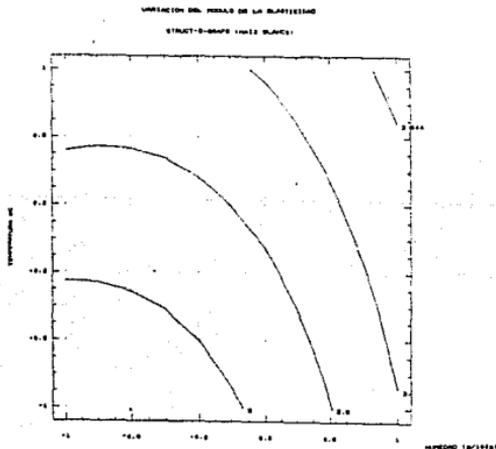


Figura B48 Contorno de respuesta para la figura B47

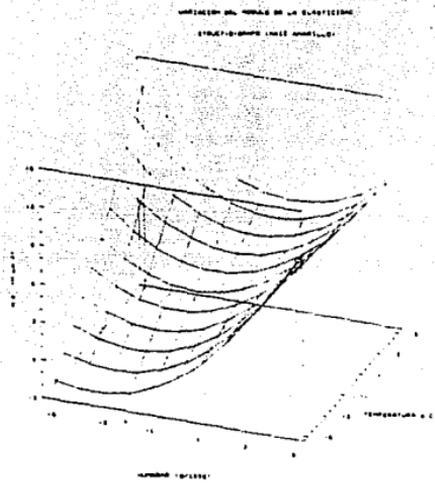


Figura B49 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del módulo de la elasticidad de masas elaboradas con harina extrudida de maíz amarillo

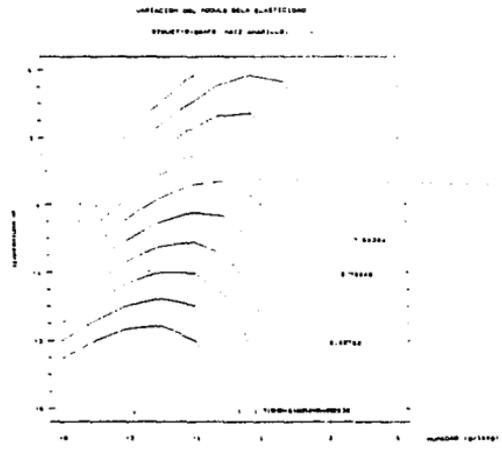


Figura B50 Contorno de respuesta para la figura B49

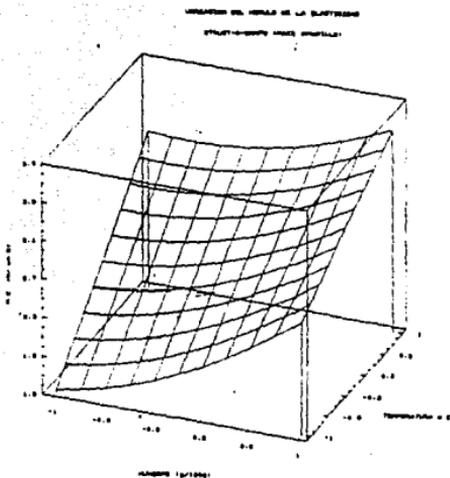


Figura B51 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del módulo de la elasticidad de masas elaboradas con harina extrudida de maíz amarillo

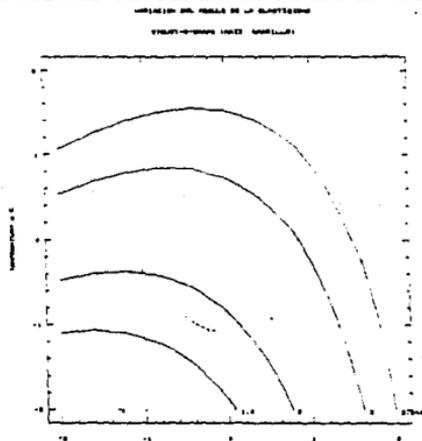


Figura B52 Contorno de respuesta para la figura B51

Tabla B16 Matriz de tratamientos y totales para la variación del índice de absorción de agua en harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíces blanco y amarillo

VARIACION DEL INDICE DE ABSORCION DE AGUA (g/g)

TESTIGOS	IAA (g/g)	
MINSA	3.4462	
MASECA	3.6025	X = 3.4797
NIX BL	3.4202	S = 0.0842
NIX AM	3.4300	C.V. = 0.0242

MAIZ	HUMEDAD (g/ g)	TEMPERATURA oC	IAA (g/g)
BL	25	120	2.8714
BL	25	105	2.7328
BL	25	90	2.5492
BL	20	120	2.7444
BL	20	105	2.7266
BL	20	90	2.6890
BL	15	120	2.6937
BL	15	105	2.6023
BL	15	90	2.3618
AM	25	120	2.8290
AM	25	105	2.6292
AM	25	90	2.5929
AM	20	120	2.8873
AM	20	105	2.7022
AM	20	90	2.5416
AM	20	120	2.6700
AM	20	105	2.6203
AM	20	90	2.4200

Tabla B17 Análisis estadístico para la variación del índice de absorción de agua de harinas extrudidas de maíz blanco

Model fitting results for IAB

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	2.743767	0.069607	39.4177	0.0000
HM	0.0826	0.038126	2.1665	0.1189
TH	0.11825	0.038126	3.1016	0.0532
HM RAISE 2	-0.0848	0.066035	-1.2842	0.2893
TH RAISE 2	-0.03563	0.066035	-0.5399	0.6268
HM TIMES TH	-0.002423	0.046694	-0.0519	0.9618

R-SQ. (ADJ.) = 0.5846 SE= 0.093388 MAE= 0.046007 DurbinWat= 1.355
 Previouslv= 0.0000 U.000000 0.000000 0.000000
 9 observations fitted, forecast(s) computed for 0 missing val. of dep. var.

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	0.161785	5	0.0283563	3.25139	.1803
Error	0.0261640	8	0.00327135		
Total (Corr.)	0.167946	8			

R-squared = 0.844212 Std. error of est. = 0.0933881
 F-squared (Adj. for d.f.) = 0.584565 Durbin-Watson statistic = 1.35488

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
HM	0.04093656	1	0.0409366	4.69	.1189
TH	0.08789828	1	0.0878984	9.62	.0532
HM RAISE 2	0.01478208	1	0.0147821	1.65	.2893
TH RAISE 2	0.00154185	1	0.0015418	.29	.6321
HM TIMES TH	0.00000000	1	0.0000000	.00	.9624

Residual Summary

Model	.1617856	5			
-------	----------	---	--	--	--

Number of observations = 9 (0 missing values excluded)
 Residual average = 9.86865E-17
 Residual variance = 8.72135E-5
 Residual standard error = 0.0933881

Coeff. of skewness = 0.279676 standardized value = 0.342532
 Coeff. of kurtosis = -0.47114 standardized value = -0.288513

Durbin-Watson statistic = 1.35488

95 percent Confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	2.74377	0.06961	2.52224	2.96529
HM	0.08260	0.03813	-0.03873	0.20392
TH	0.11825	0.03813	-0.00308	0.23958
HM RAISE 2	-0.08480	0.06604	-0.29495	0.12355
TH RAISE 2	-0.03563	0.06604	-0.24580	0.17450
HM TIMES TH	-0.00242	0.04669	-0.15103	0.14618

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla B18 Análisis estadístico para la variación del índice de absorción de agua de harinas extrudidas de maíz amarillo

Model Summary Statistics

Independent Variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Ratio	F-value	Significance
CONSTANT	10.00000	1	10.00000	57.9653	0.0000	0.0000
IN	0.00000	1	0.00000	0.0000	0.9582	0.3333
IN WAISE 2	0.00000	1	0.00000	0.0000	0.9582	0.3333
IN WAISE 3	0.00000	1	0.00000	0.0000	0.9582	0.3333
IN TIMES IN	0.00000	1	0.00000	0.0000	0.9582	0.3333

Model Summary Statistics

Statistic	Value
R Squared	0.00000
Adjusted R Squared	-0.00000
F	57.9653
Mean Square Error	0.00000
Standard Error of Estimate	0.00000

Number of observations fitted: 10
Number of observations computed for missing Val. of dep. var.: 0

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Ratio	F-value
Model	0.14875	5	0.02975	7.59185	0.020
Error	0.11725	4	0.02929		
Total (Corrected)	0.26600	9			

R Squared = 0.12667 Std. error of est. = 0.026268
 F-Ratio (Adj. for d.f.) = 6.81112 Jacobin-Watson statistic = 2.41669

Regression Analysis for Variables in the Order Fitted

Variable	Sum of Squares	df	Mean Sq.	F-Ratio	F-value
IN	0.00000	1	0.00000	0.00	0.129
IN WAISE 2	0.00000	1	0.00000	0.00	0.129
IN WAISE 3	0.00000	1	0.00000	0.00	0.129
IN TIMES IN	0.00000	1	0.00000	0.00	0.129

Model Summary Statistics

Statistic	Value
R Squared	0.00000
Adjusted R Squared	-0.00000
F	0.00000
Mean Square Error	0.02929
Standard Error of Estimate	0.026268

Number of observations = 10
 Number of observations excluded = 0
 Regression average = 0.063658
 Regression variance = 0.02929
 Regression standard error = 0.026268

Number of variables = 5
 Number of observations = 10
 Degrees of freedom = 4

Jacobin-Watson Statistic = 2.41669

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

Variable	Estimate	Standard Error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	0.063658	0.004668	0.054322	0.072994
IN	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
IN WAISE 2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
IN WAISE 3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
IN TIMES IN	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

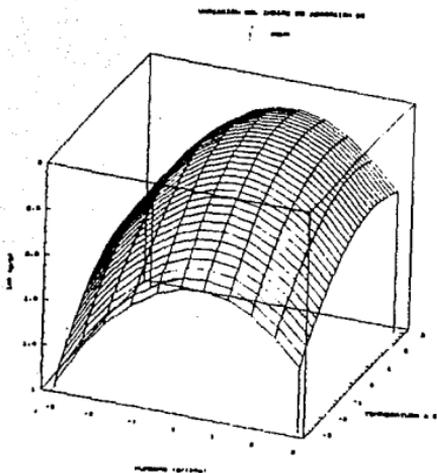


Figura B53 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del índice de absorción de agua en harinas extrudidas de maíz blanco

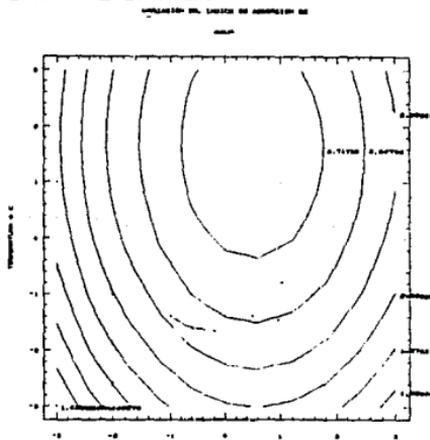


Figura B54 Contorno de repuesta para la figura B53

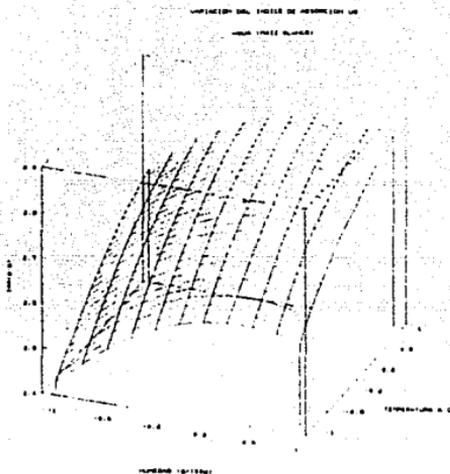


Figura B55 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de absorción de agua en harinas extrudidas de maíz blanco

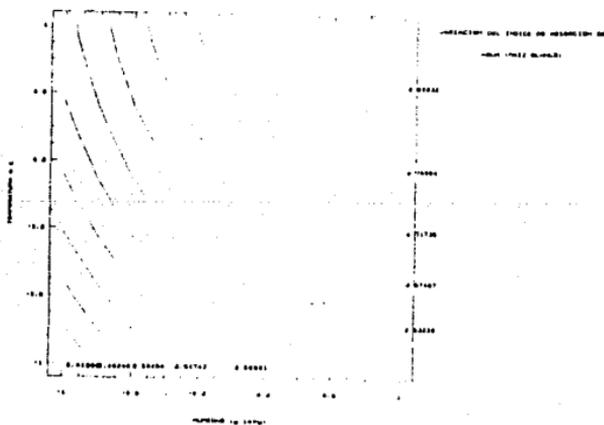


Figura B56 Contorno de repuesta para la figura B55

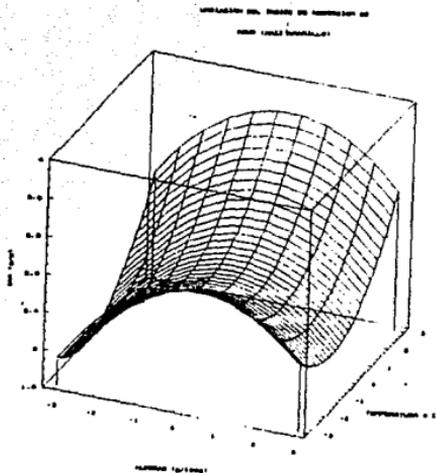


Figura B57 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del índice de absorción de agua en harinas extrudidas de maíz amarillo

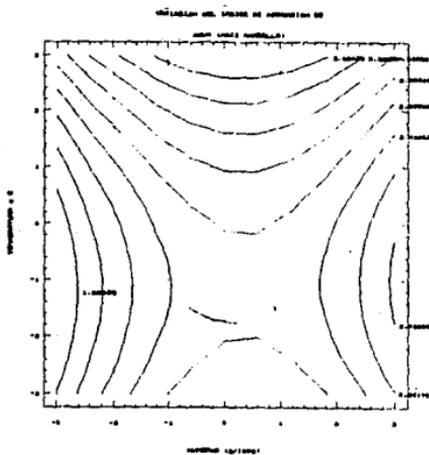


Figura B58 Contorno de repuesta para la figura B57

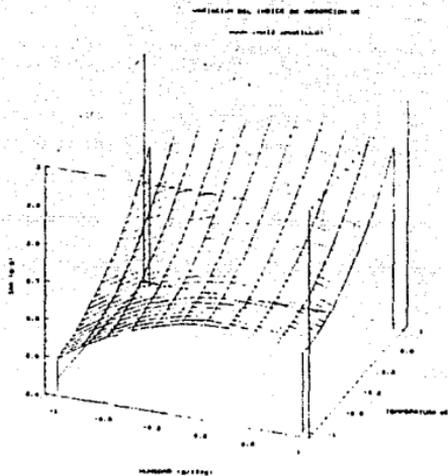


Figura B59 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de absorción de agua en harinas extrudidas de maíz amarillo

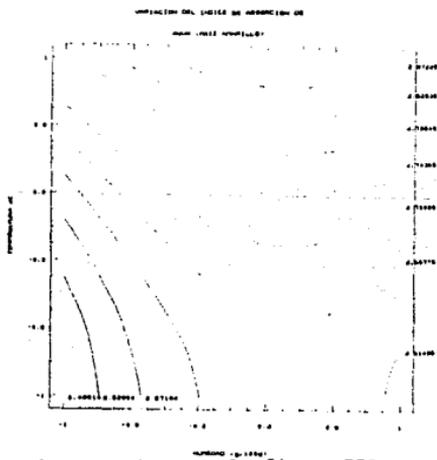


Figura B60 Contorno de repuesta para la figura B59

Tabla B19 Matriz de tratamientos y totales para la variación del índice de solubilidad de agua en harinas extrudidas de maíz blanco y amarillo

 VARIACION DEL INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (g/g)

TESTIGOS	ISA (g/g)		
MINSA	0.0407		
MASECA	0.0387	X	= 0.0396
NIX BL	0.0380	S	= 0.001476
NIX AM	0.0410	C.V.	= 0.0372

MAIZ	HUMEDAD (g/g)	TEMPERATURA °C	ISA (g/g)
BL	25	120	0.0434
BL	25	105	0.0413
BL	25	90	0.0373
BL	20	120	0.0389
BL	20	105	0.0388
BL	20	90	0.0348
BL	15	120	0.0345
BL	15	105	0.0339
BL	15	90	0.0277
AM	25	120	0.0405
AM	25	105	0.0363
AM	25	90	0.0264
AM	20	120	0.0384
AM	20	105	0.0281
AM	20	90	0.0224
AM	15	120	0.0349
AM	15	105	0.0280
AM	15	90	0.0213

Tabla B20

Análisis estadístico para la variación del índice de solubilidad en agua de harinas extrudidas de maíz blanco

MODEL FITTING RESULTS

INDEPENDENT VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	T-VALUE	PROBABILITY
CONSTANT	1.0274	0.00000	10274.00	<.0001
W	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ²⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ³⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁴⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁵⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁶⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁷⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁸⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹¹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹²	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹³	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁴	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁵	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁶	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁷	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁸	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ⁹⁹	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001
W ¹⁰⁰	0.00000	0.00000	0.0000	>.0001

R-SQUARE = 0.00000000 SE = 0.00000000 SEE = 0.00000000 DURBINWATSON = 0.00000000
 F-STATISTIC = 0.00000000
 * OBSERVATIONS FITTED * FORECAST(S) COMPUTED FOR MISSING VAL. OF DEP. VAR.

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	Probable
Model	0.00000000	5	0.00000000	0.0000	>.0001
Error	0.00000000	1	0.00000000		
Total	0.00000000	6			

R-Squares = 0.00000000
 R-Squares (Adj. for D.F.) = 0.00000000
 Std. error of est. = 0.00000000
 Durbin-Watson statistic = 0.00000000

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	Probable
Model	0.00000000	1	0.00000000	0.0000	>.0001
Error	0.00000000	5	0.00000000		
Total	0.00000000	6			

Residual Summary

NUMBER OF OBSERVATIONS = 7 (0 MISSING VALUES EXCLUDED)
 RESIDUAL AVERAGE = 0.00000000
 RESIDUAL VARIANCE = 0.00000000
 RESIDUAL STANDARD ERROR = 0.00000000
 DEGREE OF FREEDOM = 0.00000000 STANDARDIZED VALUE = 0.00000000
 DEGREE OF FREEDOM = 0.00000000 STANDARDIZED VALUE = 0.00000000
 DURBIN-WATSON STATISTIC = 0.00000000

95 PERCENT CONFIDENCE INTERVALS FOR COEFFICIENTS

COEFFICIENT	ESTIMATE	STANDARD ERROR	LOWER 95%	UPPER 95%
CONSTANT	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁵	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁶	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁷	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁸	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁰	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹¹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹²	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹³	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁴	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁵	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁶	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁷	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁸	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ¹⁹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁰	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²¹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²²	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²³	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁴	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁵	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁶	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁷	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁸	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ²⁹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁰	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³¹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³²	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³³	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁴	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁵	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁶	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁷	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁸	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ³⁹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴⁰	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴¹	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴²	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴³	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴⁴	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
W ⁴⁵				

Tabla B21

Análisis estadístico para la variación del índice de solubilidad en agua de harinas extrudidas de maíz amarillo

Model fitting results for linear

Independent variable	Coefficient	Std. error	t-value	Prob. > t
CONSTANT	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
X1	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
X2	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
X3	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
X4	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
X5	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-value	Prob. > F
Total	0.000000	0	0.000000		
Error	0.000000	0	0.000000		
Residual	0.000000	0	0.000000		

Further ANOVA for variables in the Order listed

Source	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-value	Prob. > F
Total	0.000000	0	0.000000		
Error	0.000000	0	0.000000		
Residual	0.000000	0	0.000000		

Residual Summary

Number of observations = 0 (missing values = 0)

Residual Average = 0.000000

Residual variance = 0.000000

Residual standard error = 0.000000

Coeff. of determination = 0.000000 standard error = 0.000000

Mean of residuals = 0.000000 standard deviation = 0.000000

Burton-Watson statistic = 0.000000

95 percent confidence intervals for coefficient estimates

	Estimate	Standard error	Lower limit	Upper limit
CONSTANT	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
X6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

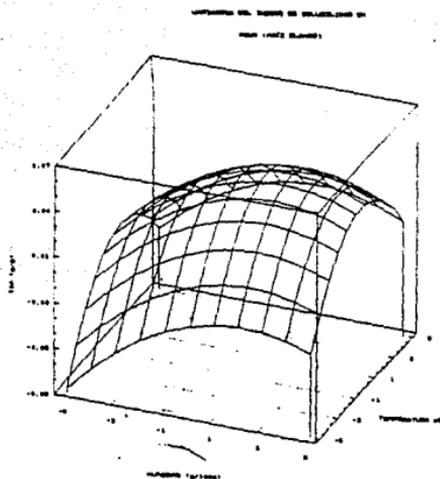


Figura B61 Superficie de respuesta con extrapolaciones para la variación del índice de solubilidad en agua de harinas extrudidas de maíz blanco

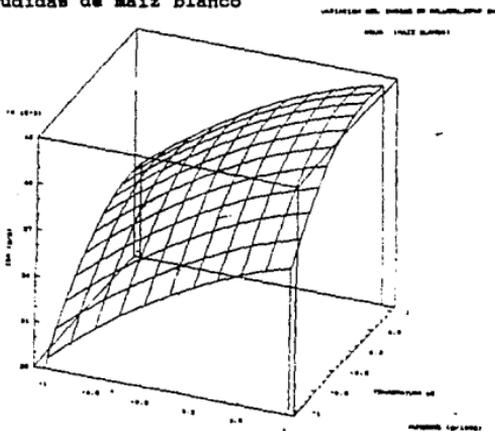


Figura B62 Superficie de respuesta sin extrapolaciones para la variación del índice de solubilidad en agua harinas extrudidas de maíz blanco

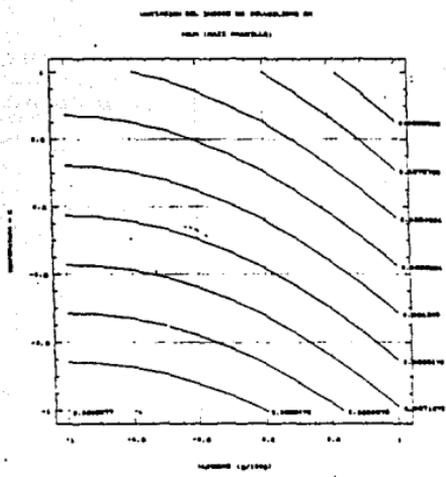


Figura B65 Amplificación de la figura B64

CONTORNO DE RESPUESTA DE UN SISTEMA DE
DOS GRADOS LIBEROS

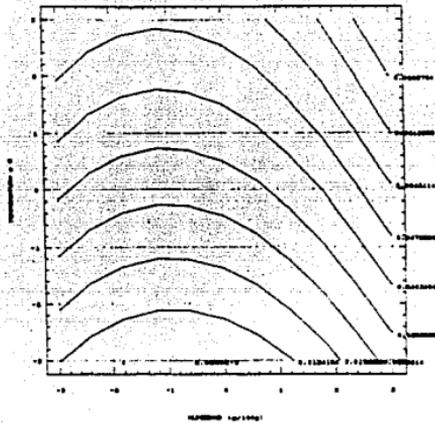


Figura B66 Contorno de respuesta con extrapolaciones para la figura B65

APENDICE C

Tabla C-1. Caracterización bromatológica de algunas de las las harinas extrudidas en las pruebas preliminares

Muestra	L	Color		AE	Grasa g/100g	Ceniza g/100g
		a	b			
BL 20 120	74.8	-2.4	20.7	77.64	4.17	1.93
BL 20 140	71.3	-1.0	16.5	73.19	4.25	1.86
BL 20 160	68.8	-1.3	20.0	71.65	4.93	1.91
AM 20 180	----	----	----	----	----	2.66
AM 30 180	----	----	----	----	----	2.54
AM 40 180	----	----	----	----	----	2.36

Muestra	Almidón g/100g	Amilosa g/100g	Proteína g/100g	Lisina g/100g	Triptofano g/100g
BL 20 140	70.0	20.50	6.88	0.20	0.22
BL 20 160	68.0	28.88	7.52	----	----
AM 20 180	----	----	----	----	----
AM 30 180	----	----	----	----	----
AM 40 180	----	----	----	----	----

 Tabla C-2. Composición promedio en base seca calculada de las harinas humedecidas antes de ser sometidas al proceso de extrusión (con base en la composición promedio de la materia prima)

Muestra (maíz)	Humedad g/100g	Temperatura °C	Xc g/100g	Xp g/100g	Xg g/100g	Xcz g/100g
BL	25	120	56.929	8.097	3.967	1.015
BL	25	105	56.929	8.097	3.967	1.015
BL	25	90	56.929	8.097	3.967	1.015
BL	20	120	61.068	8.633	4.232	1.055
BL	20	105	61.068	8.633	4.232	1.055
BL	20	90	61.068	8.633	4.232	1.055
BL	15	120	65.208	9.180	4.497	1.115
BL	15	105	65.208	9.180	4.497	1.115
BL	15	90	65.208	9.180	4.497	1.115
AM	25	120	57.040	8.075	3.961	0.924
AM	25	105	57.040	8.075	3.961	0.924
AM	25	90	57.040	8.075	3.961	0.924
AM	20	120	61.187	8.611	4.226	0.976
AM	20	105	61.187	8.611	4.226	0.976
AM	20	90	61.187	8.611	4.226	0.976
AM	15	120	65.334	9.155	4.491	1.019
AM	15	105	65.334	9.155	4.491	1.019
AM	15	90	65.334	9.155	4.491	1.019

 Xc = Fracción másica de carbohidratos descontando el 5% del pericarpio eliminado durante la criba
 Xp = Fracción másica de proteínas
 Xg = Fracción másica de las grasas
 Xcz = Fracción másica de las cenizas

Tabla C-2. Calores específicos de la materia seca Cd y de la materia húmeda Cp, calculados por las ecuaciones 7 y 8 del capítulo III (Shepherd y Bhardwaj, 1986). Humedades en base seca posteriores al proceso de extrusión y a la molienda y deshidratación de los productos extrudidos, determinadas por termobalanza

Muestra (maíz)	Humedad g/100g	Temperatura °C	Cd KJ/Kg K	Cp KJ/kg K	Humedad posterior a extrudir g/100g	Humedad posterior a secar g/100g
BL	25	120	1.291	4.349	17.5±0.1	10.0±0.2
BL	25	105	1.291	3.217	18.6±0.2	10.2±0.2
BL	25	90	1.291	3.171	19.7±0.3	10.0±0.3
BL	20	120	1.322	3.122	17.5±0.2	10.3±0.2
BL	20	105	1.322	3.077	14.7±0.3	10.4±0.4
BL	20	90	1.322	3.031	14.5±0.5	10.6±0.3
BL	15	120	1.352	2.985	12.9±0.2	10.5±0.2
BL	15	105	1.352	2.939	12.4±0.1	10.3±0.3
BL	15	90	1.352	2.893	12.3±0.2	10.6±0.3
AM	25	120	1.291	3.263	18.0±0.3	10.0±0.3
AM	25	105	1.291	3.217	18.0±0.4	10.0±0.8
AM	25	90	1.291	3.173	19.8±0.4	10.1±0.3
AM	20	120	1.322	3.122	14.5±0.4	10.1±0.4
AM	20	105	1.322	3.077	14.0±0.2	10.1±0.6
AM	20	90	1.322	3.031	16.5±0.2	10.1±0.1
AM	15	120	1.352	2.984	12.8±0.3	10.1±0.4
AM	15	105	1.352	2.939	12.7±0.2	10.2±0.5
AM	15	90	1.352	2.894	13.7±0.4	10.2±0.3

VARIACION DE LOS CALORES ESPECIFICOS DE LAS HARINAS DURANTE LA EXTRUSION

MAIZ	HUMEDAD(g/100 g)	TEMPERATURA °C	CP (kJ/kg K)
BL	25	120	4.3493
BL	25	105	3.2174
BL	25	90	3.1718
BL	20	120	3.1226
BL	20	105	3.0770
BL	20	90	3.0314
BL	15	120	2.9843
BL	15	105	2.9387
BL	15	90	2.8931
AM	25	120	3.2633
AM	25	105	3.2177
AM	25	90	3.1721
AM	20	120	3.1223
AM	20	105	3.0767
AM	20	90	3.0311
AM	15	120	2.9848
AM	15	105	2.9392
AM	15	90	2.8936

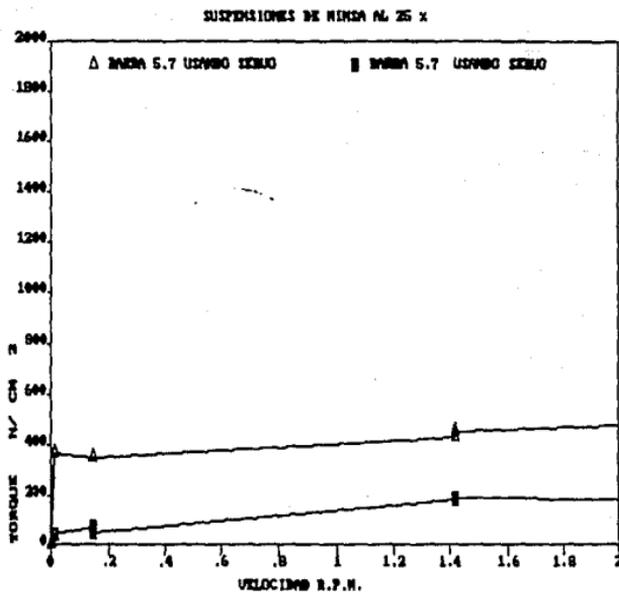


Figura C-1 Gráfica obtenida en el viscosímetro cono plato (Reogoniómetro Weissenberg)

APENDICE D
Tablas estadísticas

Valores percentiles (t_p) para
la distribución t de Student
con v grados de libertad
(Área en sombra = p)



v	$t_{.995}$	$t_{.99}$	$t_{.975}$	$t_{.95}$	$t_{.90}$	$t_{.80}$	$t_{.75}$	$t_{.70}$	$t_{.60}$	$t_{.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	.727	.325	.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	.816	.617	.289	.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	.978	.765	.584	.277	.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	.941	.741	.569	.271	.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	.920	.727	.559	.267	.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	.906	.718	.553	.265	.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	.896	.711	.549	.263	.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	.889	.706	.546	.262	.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	.883	.703	.543	.261	.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	.879	.700	.542	.260	.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	.876	.697	.540	.260	.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	.873	.695	.539	.259	.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	.870	.694	.538	.259	.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	.868	.692	.537	.258	.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	.866	.691	.536	.258	.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	.865	.690	.535	.258	.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	.863	.689	.534	.257	.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	.862	.688	.534	.257	.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	.861	.688	.533	.257	.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	.860	.687	.533	.257	.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	.859	.686	.532	.257	.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	.858	.686	.532	.256	.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	.858	.685	.532	.256	.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	.857	.685	.531	.256	.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.684	.531	.256	.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.683	.530	.256	.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	.851	.681	.529	.255	.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	.848	.679	.527	.254	.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	.845	.677	.526	.254	.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	.842	.674	.524	.253	.126

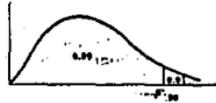
Fuente: R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (5ª edición), Tabla III, Oliver y Boyd Ltd., Edinburgo, con autorización de los autores y editores.

Tabla D-1 Distribución de t Student con n grados de libertad
(Spiegel 1990)



$V_2 \backslash V_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.48	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Tabla D-2 Valores de los 95-ésimos percentiles para la Distribución F (V_1 = grados de libertad en el numerador), (V_2 = grados de libertad en el denominador), (Spiegel, 1990)



F_{α, v_1, v_2}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6023	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7	13.7	13.6	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.9	9.7	9.5	9.4	9.3	9.2	9.2	9.1	9.0
6	13.7	10.9	9.7	9.1	8.7	8.4	8.2	8.1	7.9	7.8	7.7	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9	6.8
7	12.2	9.5	8.4	7.8	7.4	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6	6.4	6.3	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5
8	11.3	8.6	7.5	7.0	6.6	6.3	6.1	6.0	5.9	5.8	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7
9	10.6	8.0	6.9	6.4	6.0	5.8	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3
10	10.0	7.5	6.5	5.9	5.6	5.3	5.2	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8
11	9.6	7.2	6.2	5.6	5.3	5.0	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6
12	9.3	6.9	5.9	5.4	5.0	4.8	4.6	4.5	4.3	4.3	4.2	4.1	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3
13	9.0	6.7	5.7	5.2	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	4.1	3.9	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1
14	8.8	6.5	5.6	5.0	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0
15	8.6	6.3	5.4	4.8	4.5	4.2	4.1	4.0	3.8	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7
16	8.5	6.2	5.2	4.7	4.4	4.2	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6
17	8.4	6.1	5.1	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5
18	8.2	6.0	5.0	4.5	4.2	4.0	3.8	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
19	8.1	5.9	5.0	4.5	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
20	8.0	5.8	4.9	4.4	4.1	3.8	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
21	8.0	5.7	4.8	4.3	4.0	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
22	7.9	5.7	4.8	4.3	3.9	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
23	7.8	5.6	4.7	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
24	7.8	5.6	4.7	4.2	3.9	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
25	7.7	5.5	4.6	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
26	7.7	5.4	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
27	7.6	5.4	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
28	7.6	5.4	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
29	7.5	5.3	4.4	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
30	7.5	5.3	4.4	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
40	7.3	5.1	4.3	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.6	2.5	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
60	7.1	5.1	4.3	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.6	2.5	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
120	6.8	4.9	4.1	3.6	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7
∞	6.6	4.6	3.8	3.3	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2

Tabla D-3 Valores de los 99-ésimos percentiles para la Distribución F (v_1 = grados de libertad en el numerador), (v_2 = grados de libertad en el denominador), (Spiegel, 1990)