



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE QUÍMICA

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE POLÍMEROS NATURALES EXTRUDIDOS EN CONDICIONES ALCALINAS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS
(INGENIERÍA QUÍMICA)

PRESENTA

M. en C. Salvador Alejandro Sánchez Tovar



TUTOR:
DRA. ING. MARÍA DEL CARMEN DURÁN DE BAZÚA

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO SEGÚN EL TEMA:

Presidente: Dr. Ángel Enrique Chávez Castellanos

Secretario: Dr. Rafael Herrera Nájera

1er. Vocal Dr. Baltasar Mena Iniesta

Primera suplente: Dra. Ruth Pedroza Islas

Segundo suplente: Dr. Ernesto Moreno Martínez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

UNAM, FACULTAD DE QUÍMICA

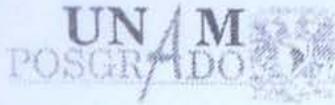
INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICIÓN “SALVADOR ZUBIRÁN”
(INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN “SALVADOR
ZUBIRÁN”)

SUSTENTANTE:

M. EN C. SALVADOR ALEJANDRO SÁNCHEZ TOVAR

TUTORA:

DRA.-ING. MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ
DE BAZÚA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

VOTO APROBATORIO

DR. WILFRIDO RIVERA GÓMEZ FRANCO
COORDINADOR DEL PROGRAMA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
P R E S E N T E

Por este medio comunicamos a usted que hemos leído la tesis intitulada

**VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE POLÍMEROS
NATURALES EXTRUDIDOS EN CONDICIONES ALCALINAS**

para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS en el campo del conocimiento de Ingeniería Química (Procesos), que presenta el alumno con número de cuenta 9080628-3, Ing. Bioquímico y Maestro en Ingeniería de Alimentos

SÁNCHEZ TOVAR SALVADOR ALEJANDRO

Consideramos que, de acuerdo con los requisitos, le otorgamos el voto asentado abajo.
Quedamos enterados(as) de que formaremos parte del jurado en la fecha y hora en que se nos comunicará posteriormente.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F.

	FIRMA	FECHA	SI	NO
PRESIDENTE Dr. Ángel Enrique Chávez Castellanos		9-17/17	✓	
SECRETARIO Dr. Rafael Herrera Nájera		09/103/17	✓	
PRIMER VOCAL Dr. Baltasar Mena Iniesta		01-03/17	✓	
PRIMERA SUPLENTE Dra. Ruth Pedroza Islas		16/4/17	✓	
SEGUNDO SUPLENTE Dr. Ernesto Moreno Martínez		9-4-17	✓	

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a su comité tutorial el valioso apoyo brindado a lo largo de la realización de esta tesis

- Dra.-Ing. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa (FQ-UNAM)*
- Dr. Baltasar Mena Iniesta (Instituto de Investigaciones en Materiales y actualmente Instituto de Ingeniería, UNAM)*
- Dr. Alfredo Salazar Zazueta (INIFAP-SARH)*

Asimismo, reconoce el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar los estudios doctorales. También agradece al personal del Instituto Nacional de la Nutrición “Salvador Zubirán” (ahora Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”), especialmente a la M. en C. Josefina Morales de León y sus colaboradores, por el apoyo brindado mediante el uso de equipos usados en la realización de una parte de los experimentos de esta investigación

DEDICATORIAS

Al Arquitecto del Universo por haberme permitido la existencia

Al Nazareno por enseñarme un camino

*A mis Padres por haberme dado la vida y una educación un espacio y su amor, gracias
papá, gracias mamá*

*A mis abuelitos, Papá Vicente, gracias viejo, me enseñaste a ser hombre y a trabajar ,
Mamá Julita, viejita chula, nunca los olvidaré*

*A mi amada esposa “Cuquis” por tu ayuda, por tu paciencia, por tu comprensión, por tu
amor, te amo muchacha*

A La Doctora Durán, por simplemente todos estos años, gracias maestra, gracias por todo

*A Don José Primelles, es usted un ejemplo de vida, un amigo, un padre, es usted genial,
gracias maestro, dondequiera que esté jamás olvidaré su dulce recuerdo*

A mis amigos del club de “Toby” Ojalá y cuando seamos ancianos, sigamos igual de jóvenes

*A ustedes, a poco creen que los iba a olvidar
Ustedes que ya dejaron su cuerpo en las montañas
Su espíritu se conforma en mis principios
Sólidos como sus pasos en las veredas
Cuando los recuerdo me siento indigno de seguir aquí
Cuando ustedes supieron darlo todo
Chamba, Eugenia, Chico, Toño, Segio, Eva
Yo seguiré luchando
Y ustedes vivirán en mí
Sus ideas y conceptos seguirán en mí por siempre
Y por lo tanto vivo en ustedes y ustedes en mí*

CONTENIDO

	Pág.
Reconocimientos	4
Resumen	18
Abstract	19
Glosario	20
Capítulo I. GENERALIDADES	25
I.1. PROBLEMÁTICA	25
I.2. HIPÓTESIS	31
I.3. OBJETIVOS	32
I.4. METAS	32
I.5. ALCANCES	32
Capítulo II. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN	34
II.1. QUÍMICA Y REOLOGÍA DE LOS POLÍMEROS NATURALES DEL MAÍZ (ALMIDÓN)	34
II.1.1. El almidón	34
II.1.2. La gelatinización del almidón	36
II.1.3. Las gomas y los almidones modificados	38
II.2. LA QUÍMICA DEL “NIXTAMAL”	39
II.2.1. Antecedentes	39
II.3. LA EXTRUSIÓN DE MATERIALES NATURALES (ALIMENTOS)	43
II.4. LA EXTRUSIÓN TERMOALCALINA DEL MAÍZ	46
Capítulo III. MATERIALES Y METODOLOGÍA	48
III.1. METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA PRIMERA META, ESTUDIOS VISCOAMILOGRÁFICOS	48
III.1.1. Materiales	48
III.1.2. Equipo	48
III.1.3. Proceso	51
III.1.4. Métodos analíticos	51
III.1.5. Modelación cinética	51
III.2. METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA SEGUNDA META, CINÉTICA DE GELATINIZACIÓN POR EXTRUSIÓN	51
III.2.1. Materiales	51
III.2.2. Equipo	51
III.2.3. Proceso	54
III.2.4. Experimento cinético	55
III.2.5. Controles de comparación	56
III.2.5.1. Almidón comercial nixtamalizado	56
III.2.5.2. Almidón de granos enteros de maíz nixtamalizado	57
III.2.6. Métodos analíticos	57

III.2.6.1.	Índices de absorción y solubilidad en agua	57
III.2.6.2.	Calorimetría diferencial de barrido	58
III.3.	METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA TERCERA META, CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES EN LOS PRODUCTOS “NIXTAMALIZADOS” Y EXTRUDIDOS, COMO UNA MEDICIÓN DIRECTA DE LOS EFECTOS DE HIDRÓLISIS ALCALINA Y TERMOMECAÑICOS	58
III.3.1.	Proceso	58
III.3.2.	Controles de comparación	58
III.3.3.	Métodos analíticos	58
Capítulo IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
IV.1.	RESULTADOS DE LA PRIMERA META	59
IV.1.1.	Resultados de los experimentos viscoamilográficos	59
IV.1.2.	Primera etapa de la viscoamilografía	60
IV.1.3.	Segunda etapa de la viscoamilografía	61
IV.1.4.	Modelo con respecto al tiempo	68
IV.1.5.	Discusión de la primera meta	70
IV.2.	RESULTADOS DE LA SEGUNDA META	72
IV.2.1	Resultados de estudios preliminares	72
IV.2.1.1.	Resultados del análisis “simplex”	72
IV.2.2.	Resultados de los experimentos de extrusión y nixtamalización termoalcalina considerando la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua	73
IV.2.2.1.	.Variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) para los experimentos de extrusión termoalcalina de almidón comercial	73
IV.2.2.2.	Variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)	74
IV.2.2.3.	Estudio comparativo entre los experimentos de extrusión y de “nixtamalización” para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua	75
IV.2.2.4.	Discusión de los resultados para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua.	76
IV.2.3.	Resultados de los experimentos de extrusión y nixtamalización termoalcalina considerando el calor específico a la temperatura de gelatinización	78
IV.2.3.1.	Calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón para los experimentos de extrusión termoalcalina de almidón comercial	78
IV.2.3.2.	Resultados de la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)	79
IV.2.3.3.	Estudio comparativo entre experimentos de extrusión y de	80

	“nixtamalización” para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón	
IV.2.3.4.	Discusión de los resultados para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón	80
IV.2.4.	Modelo cinético propuesto para la extrusión termoalcalina de almidón comercial de maíz	82
IV.2.4.1	Modelo matemático para la cinética de gelatinización termoalcalina del almidón comercial de maíz si se considera a un extrusor de una sola flecha como un reactor de flujo continuo (“pistón”)	82
IV.3.	RESULTADOS DE LA TERCERA META	89
IV.3.1.	Variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	89
IV.3.2.	Variación del contenido de azúcares reductores para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)	91
IV.3.3.	Estudio comparativo entre experimentos de extrusión y “nixtamalización” para la variación del contenido de azúcares reductores	92
IV.3.4.	Discusión de los resultados para la variación del contenido de azúcares reductores	93
IV.4.	CONSIDERACIONES FINALES	94
Capítulo V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
V.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA PRIMERA META, PRUEBAS VISCOAMILOGRÁFICAS	95
V.2.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA SEGUNDA META, CINÉTICA DE GELATINIZACIÓN POR EXTRUSIÓN	95
V.2.1.	Índices de absorción y solubilidad en agua	95
V.2.2.	Variación del calor específico	96
V.2.3.	Cinética en interior del extrusor	96
V.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TERCERA META, CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES	97
APÉNDICES		
Apéndice A.	ESTUDIOS VISCOAMILOGRÁFICOS	99
Apéndice A.1.	FIGURAS VISCOAMILOGRÁFICAS ORIGINALES	100
Apéndice A.2.	TABLAS Y FIGURAS VISCOAMILOGRÁFICAS DE ANÁLISIS	112
Apéndice B.	TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS PARA LOS RESULTADOS DE LA SEGUNDA Y TERCERA METAS	119
Apéndice B.1.	MATERIAS PRIMAS	120
Apéndice B.2.	ESTUDIOS PREVIOS	126
Apéndice B.2.	ESTUDIOS POR EL MÉTODO “SIMPLEX “EN “NIXTAMALIZACIÓN” Y EN EXTRUSIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ	127

B.2.1.	Experimentos de ensayo y error	127
B.2.2.	Experimentos de ensayo y error para “nixtamalización” de almidón de maíz	127
B.2.3.	Experimentos de ensayo y error para extrusión termoalcalina de almidón comercial de maíz	127
B.2.4.	Experimentos “Simplex”	128
Apéndice B.3.	ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN Y SOLUBILIDAD EN AGUA PARA ALMIDÓN DE MAÍZ “EXTRUDIDO TERMOALCALINAMENTE”	131
Apéndice B.4	ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN Y SOLUBILIDAD EN AGUA (IAA E ISA), PARA ALMIDÓN DE MAÍZ “NIXTAMALIZADO”	148
Apéndice B.5.	VARIACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE (C_p, $J\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) PARA LOS EXPERIMENTOS DE EXTRUSIÓN TERMOALCALINA DE ALMIDÓN COMERCIAL	165
Apéndice B.6.	VARIACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE (C_p, $J\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) PARA LOS EXPERIMENTOS DE “NIXTAMALIZACIÓN” DE ALMIDÓN COMERCIAL	185
Apéndice B.7.	ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES EN ALMIDÓN COMERCIAL DE MAÍZ “EXTRUDIDO TERMOALCALINAMENTE”	202
Apéndice B.8.	VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES PARA LOS EXPERIMENTOS DE NIXTAMALIZACIÓN (TRATAMIENTO TÉRMICO-ALCALINO DE ALMIDÓN DE GRANOS DE MAÍZ Y DE ALMIDÓN COMERCIAL)	209
Apéndice C.	METODOLOGÍAS PARA LA SELECCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS Y ANÁLISIS DE PRODUCTOS TERMINADOS	216
C.1.	Determinación del grosor del pericarpio	217
C.2.	Peso de 1000 granos	217
C.3.	Peso hectolítrico	217
C.4.	Densidad aparente	218
C.5.	Determinación del porcentaje de impurezas	218
C.6.	Humedad absoluta (AOAC, 14-02-1984)	218
C.7.	Determinación de cenizas (AOAC, 14.006-1984)	219
C.8.	Determinación del extracto etéreo (AOAC, 7.062-1984)	219
C.9.	Determinación de proteína o técnica de nitrógeno Kjeldahl AOAC (8) N° 960.52 o Método. 12.1.07 –16a Ed. (1984), Vásquez-Reyes y col., 1996)	220
C.10.	Determinación del contenido de almidón, técnica de gravimetría (Gómez y col., 1992)	221
C.11.	Determinación de amilosa: Técnica de yodometría (Ott, 1992)	222
C.12.	Metodología para análisis viscoamilográfico en un viscoamilógrafo marca Brabender (RFA) tipo PT-100 ICC “Standard” No. 126 / ISO 7973, AACC No. 22-10 (Muller, 1979)	223
C.13.	Metodología para la “nixtamalización” de granos enteros (Illescas, 1943)	223
C.14.	Metodología para la nixtamalización de almidón de maíz	224

	(Adaptación de la metodología de Illescas, 1943)	
C.15.	Metodología para la extrusión de granos de maíz enteros (Sánchez-Tovar, 1993)	224
C.16.	Metodología para la extrusión de almidón de maíz (Sánchez-Tovar, 1993)	225
C.17.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) (Pérez y Rodríguez, 1988)	225
C.18.	Determinación del contenido de azúcares reductores o metodología 80-60 de la AACC (1976, 1983)	226
C.19.	Determinación de almidón modificado o dañado por digestibilidad enzimática “in vitro” por el método de la AACC-76-30-a (AACC, 1976, 1983)	227
C.20.	Metodología para el análisis por calorimetría diferencial de barrido (ASTM, 2005, Redes)	228
Bibliografía		229
Material adicional		244
Patente		244
Artículo internacional		263
Artículo nacional		274

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS DEL CAPÍTULO I

Figura 1.1.	Esquema general de una planta de maíz (Jugenheimer, 1981)	26
Figura 1.2.	Esquema general de una semilla de maíz, <i>Zea mays</i> (Jugenheimer, 1981)	27
Figura 1.3.	Comparación del proceso tradicional y proceso de extrusión termoalcalina para producir masas y harinas precocidas de maíz para tortilla (Durán-de-Bazúa, 1988)	33

FIGURAS DEL CAPÍTULO II

Figura 2.1.	Molécula de amilosa (Anónimo, 2006a, Redes)	35
Figura 2.2.	Molécula de amilopectina (Anónimo, 2006b, Redes)	35

FIGURAS DEL CAPÍTULO III

Figura 3.1.	Diagrama de bloques de la metodología seguida	49
Figura 3.2.	Fotografía y esquema del viscoamilógrafo “Brabender”	50
Figura 3.3.	Interior del extrusor de bajo costo tipo CIATECH (Durán-de-Bazúa, 1988)	52
Figura 3.4.	Exterior del extrusor de bajo costo tipo CIATECH (Durán-de-Bazúa, 1988)	53
Figura 3.5.	Fotografía del extrusor CIATECH de bajo costo (Sánchez-Tovar, 2003)	53
Figura 3.6.	Gráfica de una superficie de respuesta para una ecuación cuadrática del tipo $Y = b_0 + b_1C + b_2H + b_3C^2 + b_4H^2 + b_5CH + e$ (donde H es la humedad, C es la concentración y Y es la variable dependiente)	55

FIGURAS DEL CAPÍTULO IV

Figura 4.1.	Viscoamilograma para 0.1% de Ca(OH) ₂ para la muestra M1	59
Figura 4.1a	Gránulos de almidón de maíz gelatinizados termoalcalinamente (microscopio óptico Omega-1350, 200x)	60
Figura 4.2.	Relación de los radios en un gránulo de almidón completamente esférico	60
Figura 4.3.	Viscoamilograma típico (Gráfica cartesiana: se observan dos etapas una primera que es una línea recta horizontal y una segunda ascendente que muestra diferentes transiciones)	62
Figura 4.4.	Viscoamilogramas para almidón de maíz “Blanco –Tuxpeño” <i>Zea mays</i> (Gráfica cartesiana una de la segunda etapa de la viscoamilografía la muestra diferentes transiciones)	63
Figura 4.5.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>versus</i> temperatura, K), 0.0% Ca(OH) ₂	63
Figura 4.6.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>versus</i> temperatura, K), 0.1% Ca(OH) ₂	64
Figura 4.7.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>versus</i> temperatura, K), 0.3% Ca(OH) ₂	64
Figura 4.8.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>versus</i> temperatura, K), 0.5% Ca(OH) ₂	64
Figura 4.9.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>vs.</i> Temperatura, K), 0.9% Ca(OH) ₂	65
Figura 4.10.	Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” <i>versus</i> temperatura, K), 1.20% Ca(OH) ₂	65
Figura 4.11.	Energía de activación (J g mol ⁻¹) <i>versus</i> concentración de hidróxido de calcio Ca(OH) ₂ b.s.	66
Figura 4.12.	Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para alcanzar la máxima viscosidad aparente	67
Figura 4.13.	Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para la variación de la temperatura medida al alcanzar la máxima viscosidad aparente	67
Figura 4.14.	Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para el tiempo medido para alcanzar la máxima viscosidad aparente	67
Figura 4.15.	Viscosidad aparente (U. Brabender <i>versus</i> tiempo en minutos)	68
Figura 4.16a.	Superficie de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	73
Figura 4.16b	Contorno de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	73
Figura 4.17a.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C3H2) extrudido termoalcalinamente	78
Figura B.17b.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2HI NIXT). "Nixtamalizado"	79
Figura 4.18a.	Superficie de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C _p , J g ⁻¹ °C ⁻¹) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	80
Figura B.18b.	Contorno de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C _p , J g ⁻¹ °C ⁻¹) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	80
Figura 4.19a.	Variación del índice de absorción de agua IAA, a lo largo del dado o boquilla del extrusor a bajo costo tipo CIATECH. IAA= 0.004 L+ 0.0064	83

	($R^2= 0.9632$)	
Figura 4.19b.	Cinética para la variación de la velocidad de reacción de la gelatinización termoalcalina de almidón comercial de maíz a lo largo del extrusor, $-rA = 1 \times 10^{-7} V + 2 \times 10^{-6}$ ($R^2=0.9399$)	83
Figura 4.20a.	Elemento diferencial de reacción para un extrusor a bajo costo que se estudia como un reactor continuo de flujo tipo pistón (Sánchez-Tovar y col., 2000)	84
Figura 4.20b.	Dimensiones que definen la geometría de un extrusor de bajo costo, de una sola flecha, tipo "CIATECH" que se estudia como un reactor continuo de flujo pistón (Sánchez-Tovar y col., 2000)	85
Figura 4.21a.	Superficie de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	91
Figura 4.21b.	Contorno de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	91

FIGURAS DE LOS APÉNDICES

FIGURAS DEL APÉNDICE A		100
Figura A.1.1.	Viscoamilograma para 0.0% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (T-1)	101
Figura A.1.2.	Viscoamilograma para 0.1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (M1)	102
Figura A.1.3.	Viscoamilograma para 0.3% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (M2)	103
Figura A.1.4.	Viscoamilograma para 0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (M3)	104
Figura A.1.5.	Viscoamilograma para 0.8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (M4)	105
Figura A.1.6.	Viscoamilograma para 1.20 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s.(M5)	106
Figura A.1.7.	Viscoamilograma para 0.0% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (T-2)	107
Figura A.1.8.	Viscoamilograma para 0.1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (MA1)	108
Figura A.1.9.	Viscoamilograma para 0.3% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (MA2)	109
Figura A.1.10.	Viscoamilograma para 0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (MA3)	110
Figura A.1.11.	Viscoamilograma para 0.8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (MA4)	111
Figura A.1.12.	Viscoamilograma para 1.20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ % b.s. (MA5)	112
Figura A.2.1.	Variación del tiempo de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	115
Figura A.2.2.	Variación de la temperatura de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	115
Figura A.2.3.	Variación de la viscosidad aparente en unidades "Brabender" en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	115
Figura A.2.4.	Variación del tiempo de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	117
Figura A.2.5.	Variación de la temperatura de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	117
Figura A.2.6.	Variación de la viscosidad aparente en unidades "Brabender" en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía	117

FIGURAS DEL APÉNDICE B

Figura B.3.1.	Superficie de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	146
Figura B.3.2.	Contorno de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	146
Figura B.3.3.	Superficie de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	147
Figura B.3.4.	Contorno de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	147
Figura B.4.1.	Superficie de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	163
Figura B.4.2.	Contorno de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	163
Figura B.4.3.	Superficie de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	164
Figura B.4.4.	Contorno de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	164
Figura B.5.1.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	166
Figura B.5.2.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$) (sesgada y anulada)	167
Figura B.5.3.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	168
Figura B.5.4.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL-CRUDO) (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	169
Figura B.5.5.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL-CRUDO) (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	170
Figura B.5.6.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL-CRUDO) (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	171
Figura B.5.7.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CIH1) extrudido termoalcalinamente	172
Figura B.5.8.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C2HI) extrudido termoalcalinamente	173
Figura B.5.9.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C3HI) extrudido termoalcalinamente	174
Figura B.5.10.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C1H2) extrudido termoalcalinamente	175
Figura B.5.11.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C2H2) extrudido termoalcalinamente	176
Figura B.5.12.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C3H2) extrudido termoalcalinamente	177
Figura B.5.13.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C1H3) extrudido termoalcalinamente	178
Figura B.5.14.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C2H3) extrudido termoalcalinamente	179

Figura B.5.15.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C3H3) extrudido termoalcalinamente	180
Figura B.5.16.	Superficie de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	184
Figura B.5.17.	Contorno de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	184
Figura B.6.1.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $Ca(OH)_2$)	186
Figura B.6.2.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $Ca(OH)_2$)	187
Figura B.6.3.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $Ca(OH)_2$)	188
Figura B.6.4.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANCIHI NIXT). "Nixtamalizado"	189
Figura B.6.5	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2HI NIXT). "Nixtamalizado"	190
Figura B.6.6.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3HI NIXT). "Nixtamalizado"	191
Figura B.6.7.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANCIH2 NIXT). "Nixtamalizado"	192
Figura B.6.8.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2H2 NIXT). "Nixtamalizado"	193
Figura B.6.9.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3H2 NIXT). "Nixtamalizado"	194
Figura B.6.10.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC1H3 NIXT). "Nixtamalizado"	195
Figura B.6.11.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2H3 NIXT). "Nixtamalizado"	196
Figura B.6.12.	Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3H3 NIXT). "Nixtamalizado"	197
Figura B.6.13.	Superficie de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	201
Figura B.6.14.	Contorno de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	202
Figura B.7.1.	Superficie de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	208
Figura B.7.2.	Curva patrón para determinar azúcares reductores	208
Figura B.7.3.	Contorno de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	208
Figura B.8.1.	Superficie de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	215
Figura B.8.2.	Contorno de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Condiciones de operación en el extrusor CIATECH	54
Tabla 4.1.	Ecuaciones de regresión para las Figuras 4.5 a 4.10	66
Tabla 4.2.	Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el índice de absorción de agua IAA	75
Tabla 4.3.	Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el índice de solubilidad en agua ISA	76
Tabla 4.4.	Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el calor específico a presión constante (C_p , $J\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$)	81
Tabla 4.5.	Aplicación del modelo cinético para la variación de la velocidad de reacción de la gelatinización termoalcalina de almidón comercial de maíz (Sánchez-Tovar y col., 2000)	90
Tabla 4.6.	Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para la variación del contenido de azúcares reductores	92

TABLAS DE LOS APÉNDICES

TABLAS DEL APÉNDICE A

Tabla A.2.1.	Primera corrida de muestras de almidón de maíz en el viscoamilógrafo “Brabender”	114
Tabla A.2.2.	Segunda corrida de muestras de almidón de maíz en el viscoamilógrafo “Brabender”	116
Tabla A.2.3.	Promedios de los datos de las Tablas A.2.1 y A.2.2	118

TABLAS DEL APÉNDICE B

Tabla B.1.1.	Análisis físico de los granos en comparación a la Norma Oficial Mexicana NOM-F46-S-1980	121
Tabla B.1.2.	Medias de los análisis bromatológicos para diferentes tipos de harinas	122
Tabla B.1.2a.	Análisis bromatológico y granulométrico para la fécula de maíz empleada (Maizena)	123
Tabla B.1.3.	Variación de los índices de absorción y solubilidad para almidón de maíz obtenidos de granos enteros de maíz “nixtamalizado”	124
Tabla B.1.4.	Análisis de la varianza para los datos del contenido de azúcares reductores del almidón obtenido de gránulos de maíz entero nixtamalizado	125
Tabla B.2.1.	Resultados del análisis de varianza del método "simplex" para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	129
Tabla B.2.2.	Resultados del análisis de varianza del método "simplex" para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua en almidón comercial de maíz extrudido	130
Tabla B.3.1a.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	132
Tabla B.3.1b.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	134

Tabla B.3.1c.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	135
Tabla B.3.1d.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	137
Tabla B.3.1e.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	139
Tabla B.3.2.	Promedio de la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	141
Tabla B.3.3a.	Análisis de la varianza para el índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	142
Tabla B.3.3b.	Análisis de la varianza para el índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	143
Tabla B.3.4a.	Análisis de la regresión múltiple para el índice de absorción de agua (IAA) en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	144
Tabla B.3.4b.	Análisis de regresión múltiple para el índice de solubilidad en agua ISA, del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	145
Tabla B.4.1a.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado	149
Tabla B.4.1b.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado	151
Tabla B.4.1c.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado	153
Tabla B.4.1d.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado	155
Tabla B.4.1e.	Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado	157
Tabla B.4.2.	Promedio de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) para almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	158
Tabla B.4.3a.	Análisis de la varianza del Índice de absorción de agua (IAA) en almidón comercial de maíz nixtamalizado"	159
Tabla B.4.3b.	Análisis de la varianza del índice de solubilidad en agua (ISA) en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	160
Tabla B.4.4a.	Análisis de la regresión múltiple para el índice de absorción de agua IAA, en almidón comercial de maíz nixtamalizado	161
Tabla B.4.4b.	Análisis de la regresión múltiple para el índice de solubilidad en agua ISA, en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	162
Tabla B.5.1.	Variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	181
Tabla B.5.2.	Análisis de la varianza para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	182
Tabla B.5.3.	Regresión múltiple para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización ($75°C$) del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	183
Tabla B.6.1.	Variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón ($75°C$), comercial de maíz nixtamalizado	198
Tabla B.6.2.	Análisis de la varianza para los datos del calor específico a presión	199

	constante ($C_p, J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz nixtamalizado"	
Tabla B.6.3.	Análisis de la regresión múltiple para la variación del calor específico a presión constante ($C_p, J g^{-1} °C^{-1}$) en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	200
Tabla B.7.1.	Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente (Primer análisis)	203
Tabla B.7.2.	Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	204
Tabla B.7.3.	Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	205
Tabla B.7.4.	Análisis de la varianza para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente	206
Tabla B.7.5.	Análisis de la regresión múltiple para los datos de la Tabla B.7.4	207
Tabla B.8.1.	Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz nixtamalizado	210
Tabla B.8.2.	Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial	211
Tabla B.8.3.	Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz nixtamalizado	212
Tabla B.8.4.	Análisis de la varianza para los datos del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	213
Tabla B.8.5.	Análisis de la regresión múltiple para los datos de la para los datos de la Tabla B.8.3. Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"	214

RESUMEN

Se comparó el efecto del hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y la humedad inicial sobre almidón de maíz “Blanco Tuxpeño” (*Zea mays*) sometido a dos tratamientos térmicos diferentes: La simulación de la “nixtamalización” y la extrusión termoalcalina. Se estableció como hipótesis nula: La igualdad o máxima semejanza entre las muestras nixtamalizadas y las extrudidas termoalcalinamente. Se usaron como testigos o sustancias de control: El almidón extraído de granos crudos, el almidón comercial crudo y el extraído de granos nixtamalizados por el método tradicional. Se fijaron tres metas: la primera fue el estudio viscoamilográfico de suspensiones de almidón comercial crudo alcalinizado con 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.9 y 1.20% de Ca(OH)_2 , b.s., usando un viscoamilografo “Brabender” y obteniendo curvas de viscosidad contra temperatura de la forma $\ln\mu = -E_a/Rg(1/T) + \ln\mu_0$. Se observó que al 0.1 % de cal, b.s., la energía de activación aumenta ligeramente con respecto al testigo (-159129.30 a -144346.29J gmol^{-1}) y a partir de 0.3% cae abruptamente (-480672.09 J gmol^{-1}), reincrementándose siguiendo una curva asintótica hasta alcanzar el valor de -12070.845 J gmol^{-1} . Este comportamiento parece indicar que se estaría venciendo una resistencia al flujo para comenzar otra resistencia. Al incrementar la concentración de hidróxido de calcio la viscosidad máxima aparente aumenta siguiendo la ecuación polinomial de segundo grado $\mu = 1487.6 [\text{Ca(OH)}_2]^2 + 1476.6[\text{Ca(OH)}_2] + 601.42$ con un ajuste muy bueno ($R^2 = 0.9729$), lo cual muestra una tendencia asintótica. También se observa el mismo comportamiento asintótico al aumentar la concentración de cal, la temperatura para alcanzar la máxima viscosidad disminuye siguiendo una curva de la forma $T(\text{K}) = -3.8165[\text{Ca(OH)}_2]^2 - 11.236[\text{Ca(OH)}_2] + 86.643$, con un ajuste de $R^2 = 0.99950$. Por último, el tiempo para alcanzar la viscosidad máxima de gelatinización, disminuye siguiendo una curva de la forma: $t = 5.1822 [\text{Ca(OH)}_2]^2 - 10.575[\text{Ca(OH)}_2] + 41.76$, con un ajuste $R^2 = 0.9800$, también con una tendencia asintótica. Lo anterior demuestra la influencia definitiva de la cal sobre la gelatinización del almidón de maíz. La segunda meta consintió en extrudir, así como nixtamalizar almidón comercial crudo de maíz a las mismas condiciones de humedad (20, 30, 40%, b.s.) y concentración de hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 (0.1, 0.5, 0.9%, b.s.) combinadas en un diseño factorial 3 x 3. Se midieron las variaciones de los índices de absorción y solubilidad en agua, el calor específico a presión constante, C_p ($\text{J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) Finalmente, como tercer meta el contenido de azúcares reductores. Se encontraron por análisis de la varianza diferencias significativas al 5%, tanto para todas las respuestas de las muestras nixtamalizadas como para las extrudidas, por separado. Por otra parte, se compararon ambos procesos por el método de la “t student” no encontrando diferencias significativas en las variables dependientes, por lo que se concluye que la hipótesis nula es verdadera, es decir, ambos procesos modifican las propiedades fisicoquímicas del almidón de maíz de forma igual o semejante., se estudió también la variación del índice de absorción de agua a lo largo del extrusor, la cual se ajusta a una recta con ordenada al origen que corresponde a un modelo cinético de primer orden aparente. Se recomienda seguir investigando la estructura de los almidones de maíz mediante la cristalografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido para determinar si el calcio se incorpora al interior de la amilosa. Esto podría abrir nuevos horizontes al uso de los almidones gelatinizados alcalinamente en nuevos alimentos, cosméticos y fármacos.

Palabras clave: Almidón, cinética, extrusión, “nixtamalización”, hidróxido de calcio, viscoamilografía, índices de absorción y solubilidad en agua, análisis térmico diferencial

ABSTRACT

The objective of the present research was to compare the effect of calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ or lime and of initial moisture contents on the physicochemical modification of corn starch from White “Tuxpeño” *Zea mays*, used for tortillas y other staple foods preparation, processed by two different methods: Thermoalkaline extrusion and “nixtamalization”. The proposed hypothesis was that there are no differences in the starch physicochemical modifications when processed by either treatment. Starch obtained from whole grains, “nixtamalized” grains, as well as a commercial corn starch was used as control substances. Three goals were proposed: The first one was to carry out viscoamylographic studies varying lime concentration (0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.9, and 1.20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, d.b.), using a “Brabender” viscoamylographer. Graphics of apparent viscosity vs temperature and apparent viscosity vs time were obtained. These results were adjusted as an Arrhenius model $\ln\mu = -E_a/Rg(1/T) + \ln\mu_0$. From these analyses, the activation energies were calculated. For 0.1% d.b. lime concentration, the activation energy increased little in comparison with the control substance (-159129.30 to -144346.29 J gmol^{-1}), but a drastical reduction of the activation energy was found at 0.3% of lime, d.b. (-480672.09 J gmol^{-1}); then activation energy began to increase gradually following a quadratic curve to reach -12070.845 J gmol^{-1} . It seems as if one resistance was overcome before the other one appeared. When calcium hydroxide concentration increased, the maximum apparent viscosity rised following a curve, $\mu = 1487.6 [\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 + 1476.6[\text{Ca}(\text{OH})_2] + 601.42$, $R^2 = 0.9729$. Additionally, when calcium hydroxide concentration increased, gelatinization temperature decreased following a curve: $T(\text{K}) = -3.8165[\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 - 11.236[\text{Ca}(\text{OH})_2] + 86.643$, $R^2 = 0.99950$. Finally, the time required to reach maximum apparent viscosities decreased following the curve $t = 5.1822 [\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 - 10.575[\text{Ca}(\text{OH})_2] + 41.76$, $R^2 = 0.9800$. The latter shows that lime has a definitive effect in cornstarch gelatinization. The second goal consisted of the processing of corn starch by extrusion and nixtamalization combining three moisture levels: (20, 30, 40%, d.b.) and three lime concentrations, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.1, 0.5, 0.9%, d.b.) following an experimental factorial design 3 x 3. Water absorption and solubility indexes, specific heat C_p ($\text{J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), and reducing sugar contents were measured as dependent variables. Significant differences by ANOVA at 5% were found for each process. The differences between both processes were calculated by the “t student” method finding no significant difference in the dependent variables. Therefore, the hypothesis stated is correct: extrusion modifies the physicochemical properties of corn starch in the same way or very similar to the “nixtamalization” process. Values for control substances were include in to each experimental design. As the third goal, the variation of the water absorption index along the extruder was studied. This parameter adjusts to a straight line which shows that the starch gelatinization under thermoalkaline conditions corresponds to an apparent first order kinetic model. In the near future, it is necessary to continue this research using analytical techniques such as X-Ray crystallography and scanning electron microscopy, in order to find other possible applications of thermoalkaline gelatinized cornstarch in food development, pharmaceuticals, and cosmetics.

Key Words: Starch, kinetics, extrusion, “nixtamalization”, lime or calcium hydroxide, viscoamylography, water absorption and solubility indexes, differential thermal analysis

GLOSARIO

Los términos de origen náhuatl fueron tomados del Diccionario de Aztequismos de Luís Cabrera (2002), quien no llegó a conocerlo. Fue puesto en orden y revisado por J. Ignacio Dávila Garibi (alrededor de mediados del siglo XX), revisando los términos nahuas Luís Reyes García y los que aparecen en latín Esteban Inciarte.

A	Ampere o amperio
AACC	American Association of Cereal Chemists (Asociación Americana de Químicos Cerealeros)
Actre	Área de la base del cono truncado a la entrada (Ecuación 4.2.1)
Actrs	Área de la base del cono truncado a la salida (Ecuación 4.2.2)
ADS	Ácido dinitro salicílico
Afloramiento	Difusión de la amilosa del interior del gránulo de almidón hacia el medio acuoso exterior (“leaching out”)
At	Área total transversal del cañón del extrusor cm^2 (Ecuación 4.2.1)
a	Término que agrupa $[(-r_A * VF) / N_{ao} * g]$ (Ecuaciones 4.1.18, 4.1.19)
Ag	Masa de almidón gelatinizado (Ecuaciones 4.1.5 y 4.1.8)
Ang	Masa de almidón no gelatinizado (Ecuación 4.1.5)
ANCn	Se maneja como la concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 %, base seca para la nixtamalización, donde n = 1,2,3, ayuda a distinguir el etiquetado de las muestras de su contraparte extrudida
ANDSA	Almacenes Nacionales de Depósito, institución creada en México para almacenar granos básicos y regular sus precios, especialmente para tenerlos disponibles para la población de escasos recursos
Atole	Bebida caliente de harina de maíz disuelta en agua o leche, a la que se pueden agregar saborizantes y edulcorantes. Del náhuatl <i>atl</i> =agua y <i>tlao</i> li=maíz molido
B	Coefficiente de movimiento del modelo “Simplex”
bo, b1, b2, b3, b4, b5	Coefficientes de regresión múltiple (Ecuación 3.1)
BIOSA	Boletín de Información Oportuna del Sector Alimentario, México
Boquilla o “dado”	Disminución diametral de expulsión de una bomba, tubería o extrusor
C_{A0}	Almidón no gelatinizado a la entrada del reactor continuo (extrusor)
C_A	Almidón no gelatinizado a la entrada del volumen diferencial de reacción
$C_A + dC_A$	Almidón no gelatinizado a la salida del volumen diferencial de reacción
C_{AS}	Almidón no gelatinizado a la salida del reactor continuo (extrusor)
C	Se maneja como la concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (Ecuación 3.1)
Ci	Concentración de cada componente reaccionante al tiempo t
<i>Cio</i>	Concentración en la alimentación del extrusor (Ecuaciones 2.1.1, 2.1.2)
Cacahuacintli, cacahuacintle	Especie de maíz de granos grandes y suaves que parecen cacahuates, maíz como cacahuete (<i>Arachis hypogea</i> , L.) (<i>cacáhuatl</i> =cacao, <i>tlalcacáhuatl</i> =cacao de la tierra, <i>cintli</i> =maíz)
Canónico	El adjetivo <i>canónico</i> se usa con frecuencia en matemáticas para indicar que algo es natural, como debe ser e independiente de elecciones arbitrarias, que es absoluto y no relativo a un observador, que es intrínseco y no depende de un sistema de referencia o de un sistema de <u>coordenadas</u> , que pertenece a la <u>estructura</u> propia de la que se estudia, .
Carbohidrato	Palabra que no existe en el Diccionario de la Lengua Española pero que es ampliamente usada por la comunidad química para designar a los hidratos de carbono, compuestos químicos formados principalmente por carbono y agua, de fórmula general $\text{C(H}_2\text{O)}_n$
CDB (DSC)	Calorimetría diferencial de barrido (<i>Differential scanning calorimetry</i> en inglés)
Centéotl	Dios del Maíz (centli=maíz, téotl=dios)
Centeocíhuatl	Diosa o Señora del Maíz (centli=maíz, cíhuatl=señora, mujer)

Centli, cintli	Maíz (<i>Zea mays</i>)
CIATECH	Centro de Investigación Tecnológica del estado de Chihuahua, Dependiente del Conacyt
CIDESI	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, dependiente de la SEP
CIMMYT	Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo
C_n	Concentración del componente n en gmol L^{-1} (Ecuaciones 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4)
Conacyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México
CONAL	Comisión Nacional de Alimentación, México
CONASUPO	Comisión Nacional de Subsistencias Populares, organismo creado en México para regular el abasto de alimentos y evitar su acaparamiento y aumento desmedido de precios
“Cristalitos”	Microcristales de tamaño menor o igual a $1.0 \mu\text{m}$
Curtosis	En teoría de la probabilidad y estadística, la curtosis es una medida de lo "punti-agudo" de la distribución de probabilidad de una variable aleatoria de número real. Una mayor curtosis implica una mayor varianza debidas a desviaciones infrecuentes en los extremos, que se oponen a desviaciones comunes de medidas menos pronunciadas
d	Densidad del fluido, kg_f / m^3 (Ecuación 4.2.8)
D_n	Difusividad del componente n, en $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ (Ecuaciones 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4)
E	Espesor mínimo primera capa pregelatinizada de un gránulo esférico de almidón, $E = (R_1 - R_2)$ (Figura 4-4)
E_a	Energía de activación (KJ kgmol^{-1}) (Ecuación 4.1.23)
e	Error experimental en el modelo de regresión múltiple (Ecuación 3.1)
F_A	Entrada de A al volumen diferencial de reacción, mol s^{-1}
F_{A0}	Entrada de A_0 a un reactor continuo (extrusor), mol s^{-1}
$F_A + dF_A$	Salida de F_A a la salida del volumen diferencial de reacción, mol s^{-1}
F_{AS}	Salida de F_A a la salida de un reactor continuo (extrusor), mol s^{-1}
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, México
FV	Flujo volumétrico, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (Ecuaciones 2.1.3, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8)
FVe	Flujo volumétrico a la entrada del volumen de reacción = $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (Ecuación 4.2.18)
FVs	Flujo volumétrico a la salida del volumen de reacción = $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ [(Ecuación 4.2.19).
G_n	Tasa de difusión (Ecuaciones 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4)
g	Factor de proporcionalidad (1/unidades Brabender) (Ecuaciones 4.1.15, 4.1.16, 4.1.17, 4.1.18, 4.1.19, 4.1.20, 4.1.21, 4.1.22)
H	Humedad de proceso, % base seca, tanto para extrusión como para nixtamalización
HDPE	Siglas en inglés para <i>high density polyethylene</i> . Polietileno no ramificado de alta densidad
hm	Altura fija $h_m = (h_2 - h_1)$ y donde solo hay variación del segundo radio (Ecuación 4.2.29)
Hp, HP	Del inglés <i>Horse Power</i> , caballos de potencia (motores)
i	Niveles experimentales para el modelo de regresión múltiple (3=alto, 2=medio, 1=bajo) (Ecuación 3.1)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México
IPN	Instituto Politécnico Nacional, México
j	Constante de proporcionalidad (Ecuación 4.1.1)
k	Constante de proporcionalidad que relaciona la velocidad de gelatinización del almidón o velocidad de desaparición de almidón no gelatinizado dentro de un volumen de fluido FV para la acumulación del almidón gelatinizado termoalcalinamente en moles/ (unidad de tiempo*VF de las capas más externas del gránulo) y la concentración de un componente C_n . Se conoce también como coeficiente cinético (Ecuaciones 4.1.21, 4.1.22, 4.1.23). La ecuación de Arrhenius relaciona la dependencia de k con la temperatura
k_o	Constante de proporcionalidad que relaciona la velocidad de gelatinización del almidón o velocidad de desaparición de almidón no gelatinizado dentro de un volumen de fluido FV para la acumulación del almidón gelatinizado termoalcalinamente en moles/ (unidad de tiempo*VF de las capas más externas del gránulo) y la concentración de un componente C_n . Se conoce también como coeficiente cinético (Ecuación 4.1.23)
K	Número de dimensiones del modelo “Simplex”
M, m	Flujo de masa, kg s^{-1} (Ecuación 4.2.25)

Maíz	<i>Zea mays</i> , vocablo de origen caribe que significa sustento divino o alimento de los dioses. Los aztecas lo llamaban <i>tlaoilli</i>
Metate	Del náhuatl “ <i>métlatl</i> ”, mesa de piedra. Piedra curva usada para moler el “nixtamal” y otros alimentos. Metlapili, mano del metate, del náhuatl “ <i>métlatl</i> ” y “ <i>pilli</i> ” hijo
“Micronización”	Palabra derivada del inglés, <i>micronize</i> , que significa reducir las partículas a solamente algunos micrómetros de diámetro. Proceso patentado como “micronization”, una técnica que usa energía infrarroja (en una banda estrecha entre 1.7 y 3.4) micrómetros. No es energía de microondas
MSB	Método “Simplex” básico
MSM	Método “Simplex” modificado
<i>Na</i>	Moles de almidón al tiempo <i>t</i> (Ecuación 4.1.8, 4.1.9)
<i>Nao</i>	Moles de almidón iniciales (Ecuaciones 4.1.8 a 4.1.14)
<i>n</i>	<i>n</i> = Exponente cuyo valor es >1 (Ecuación 2.1.1)
<i>n</i>	Indica el componente <i>n</i> de una reacción (Ecuaciones 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4)
Nejayote	Aguas de cocción y lavado del maíz cocido con cal (<i>nextli</i> =cenizas de cal, <i>áyoh</i> =caldo, <i>atl</i> =agua)
Nixtamalización	Palabra derivada del náhuatl para designar el proceso de cocción del maíz con cal (<i>nextli</i> =lechada de cal, <i>tamalli</i> =masa de maíz cocido)
OEE	Oficina de Estudios Especiales de la SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería), México
P	Vértice en el método “Simplex”
Pc	Centroide de la hiperfase en el método “Simplex”
“Pellet”, “pellets”	Del latín <i>pila</i> , bola de materia blanda, como la nieve, el barro, etc., que se amasa fácilmente
PIQAYQA	Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, de la Facultad de Química de la UNAM
Pj	Vértice correspondiente a la peor respuesta
PVC	Cloruro de polivinilo, por sus siglas en inglés (<i>Polyvinyl chloride</i>)
Pozol, posol	Bebida refrescante preparada con masa de maíz después de ser fermentada (<i>poxcas</i> , <i>poxcahui</i> =enmohecido, enmohecer)
Pozole	Guisado regional de la costa del Pacífico hecho a base de granos descabezados de maíz <i>cacahuacintli</i> con carne de cabeza de puerco y otros condimentos (<i>pozoni</i> =hervir en una olla, <i>pozonalli</i> =espumoso, cosa espumosa)
<i>R</i>	Radio del gránulo esférico de almidón (Ecuaciones 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4)
<i>R1</i>	Radio del gránulo esférico de almidón (Figura 4-4)
<i>R2</i>	Radio del gránulo esférico de almidón parcialmente gelatinizado (Figura 4-4)
<i>Rn</i>	Radio del gránulo esférico de almidón que no se gelatiniza (Figura 4-4)
<i>R</i> ²	Coefficiente de correlación de datos, mide el ajuste de los datos a una curva o recta, vale entre 0 y 1 o del 0 al 100% de correlación
<i>Rg</i>	Constante universal de los gases 8.31 J gmol ⁻¹ K ⁻¹ , (Ecuación 4.1.4)
<i>-rA</i>	Rapidez o velocidad de gelatinización del almidón o velocidad de desaparición de almidón no gelatinizado dentro de un volumen de fluido FV para la acumulación del almidón gelatinizado termoalcalinamente en moles/(unidad de tiempo*VF de las capas más externas del gránulo) (Ecuaciones 4.1.7, 4.1.11 a 4.1.14; 4.1.16 a 4.1.22)
rpm	Revoluciones por minuto
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería (ahora SAGARPA), México
SEP	Secretaría de Educación Pública, México
Sesgo	En estadística y epidemiología, un sesgo es un error que aparece en los resultados de un estudio debido a factores que dependen de la recogida, análisis, interpretación, publicación o revisión de los datos que pueden conducir a conclusiones que son sistemáticamente diferentes de la verdad o incorrectas acerca de los objetivos de una investigación. Este error puede ser sistemático o no y es diferente al error aleatorio
Tamal, tamales	Del náhuatl “ <i>tamalli</i> ”, pan de maíz envuelto en hojas de mazorca (<i>totomochtle</i>) o en hojas de plátano (<i>papatla</i>) y cocido al vapor en una olla

Teocintle, teocinte	Palabra derivada del náhuatl para designar a un tipo de maíz, <i>Euchlaena mexicana</i> , Schrad., <i>Euchl. Luxurians</i> , Dur. et Asch., considerado de los Dioses (<i>teotl</i> =dios, <i>cintli</i> =maíz)
Tequesquite	Sal natural compuesta de “sesquicarbonato de sosa” y cloruro de sodio; significa piedra eflorescente (<i>tetl</i> =piedra, <i>quísquitl</i> =brotante, por lo que a las flores o rosetas o “palomitas” de maíz tostado se les llamaba <i>ízquitl</i> , aunque actualmente este vocablo en forma errónea se usa para nombrar al maíz tierno cocido en agua con cal y aderezado con chile seco molido, al que se llama “esquite”, variante de “ízquitl”)
Termoalcalino,a	Adjetivo que designa a los procesos térmico-alcalinos, sean por “nixtamalización” o por “extrusión”
Tesguino, teshuino, tecuín, tecuino	Bebida compuesta de maíz prieto, tostado y molido, disuelto en agua con piloncillo y dejada en infusión varios días. Se supone que produce calor y sobreexcitación nerviosa (<i>tecuini</i> =palpitar el corazón)
Tg	Temperatura de transición vítrea (“Glass transition temperature”, en inglés)
To	Temperatura de inicio de la gelatinización (conocida en inglés como “onset temperature”, Ecuación 4.1.23)
T	Temperatura de gelatinización al tiempo t (Ecuación 4.1.23)
T	Tiempo en que se mide una reacción (Ecuaciones 2.1.2, 4.1.8, 4.1.11, a 4.1.14)
To	Tiempo en inicial en que se mide una reacción (Ecuaciones 2.1.2, 4.1.14, 4.1.16)
tr	Tiempo de residencia (Ecuaciones 2.1.1, 2.12)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USAI	Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación de la Facultad de Química de la UNAM
FV	Flujo volumétrico $m^3 s^{-1}$
V	Velocidad, m/s (Ecuación 4.2.4)
VAC	Tipo de motor trifásico por su marca comercial
V _A	Velocidad a la entrada del volumen diferencial de reacción
V _{A0}	Velocidad a la entrada del reactor continuo (extrusor)
V _{A+dV_A}	Velocidad a la salida del volumen diferencial de reacción
V _{AS}	Velocidad a la salida del reactor continuo (extrusor)
v _c	Velocidad de corte, $cm. s^{-1}$ (Ecuación 2.1.1)
V _c	Volumen del cilindro formado por el cañón
V _{c1}	Volumen del cilindro formado por el cañón (Ecuación 4.2.10)
V _{f1}	Volumen de la flecha $=(\pi r_1^2 h_1)$ (Ecuación 4.2.11)
V _{c2}	El volumen del cilindro formado por el cañón en la zona del compresión
VF	Volumen de fluido específico (Ecuaciones 3.1.1, 4.1.7, 4.1.11 a 4.1.14, 4.1.16 a 4.1.22)
V _r	Volumen del reactor por lotes (Ecuaciones 2.1.3, 3.1.1, 4.2.25, 4.2.26. Fig 3.2)
V ₁	Volumen de entrada (cilindro con calentamiento), dado por el volumen del cilindro formado por el cañón y el volumen de la flecha (Ecuaciones 4.2.9, 4.2.12)
V ₂	V ₂ = Volumen de reacción en el dado (Región con compresión forzada) Volumen del cilindro formado por el cañón – Volumen del cono truncado (Ecuaciones 4.2.13, 4.2.14)
V ₃	Volumen total de reacción, = V ₁ +V ₂ dado por el volumen del cilindro que forma el cañón – volumen del cono truncado (m ³) (Ecuación 4.2.17)
Viscoamilograma	Gráfica que registra la variación de la viscosidad aparente en unidades arbitrarias de suspensiones de almidones
V _{tru}	Volumen del cono truncado en el dado del extrusor (m ³), (Ecuación 4.2.15)
W	Vértice correspondiente a la peor respuesta en el “Simplex” modificado
w, x, y, z	Coefficientes molares (Ecuación 4.1.5)
X _a	Conversión molar al tiempo t (Ecuaciones 4.1.9, 4.1.11 a 4.1.15, 4.1.21, 4.1.22)
X _{a0}	Conversión molar al tiempo t ₀ (Ecuaciones 4.1.13 a 4.1.15, 4.1.21, 4.1.22)
X _A	Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la entrada del volumen diferencial de reacción
X _{A0}	Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la entrada del reactor continuo

$X_A + dX_A$	Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la salida del volumen de reacción
X_{AS}	Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la salida del reactor
Y	Variable dependiente en un modelo de regresión (Ecuación 3.1)
Yuca	La yuca (<i>Manihot esculenta</i>) es un arbusto de la familia de las euforbiáceas (Euphorbiaceae) cultivada ampliamente en regiones tropicales y subtropicales. Su raíz tuberosa y almidonosa es comestible y es una fuente importante de energía para la dieta de las personas de escasos recursos. Se conoce como <i>cassava</i> en inglés, <i>mandioca</i> , <i>aipim</i> o <i>macaxeira</i> en portugués, <i>mandio</i> en guaraní, <i>mogho</i> en gujarati, <i>singkong</i> en Indonesia, <i>balinhoy</i> en tagalog y <i>maniok</i> en danés y checo
Z	Desplazamiento, cm (Ecuación 2.1.1)

Letras griegas

α	constante de proporcionalidad (Ecuación (2.1.1))
ϵ	Eficiencia
μ	Viscosidad aparente en unidades “Brabender”(Ecuaciones 4.1.15 a 4.1.22)
T	Esfuerzo cortante, Newton m. ⁻² (Ecuación 2.1.1)

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

I.1. PROBLEMÁTICA

La agricultura representó la base económica y social de los primeros pobladores del continente americano, ya que pasaron de ser nómadas a convertirse en sedentarios (Díaz-León y Cruz-León, 1998). 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 y Centeocíhuatl fueron los dioses aztecas del maíz (Bonfil, 1987, Durán-de-Bazúa, 1988), la diosa maya del maíz fue Yumm Kaxx e, inclusive, el Popol Vuh, libro central de la religión maya describe al hombre formado por los dioses con maíz (México, Enciclopedia de, 1978). El esquema general de una planta de maíz se observa en la Figura 1.1 y la disección de una semilla de maíz en la Figura 1.2 (Jugenheimer, 1981).

En México se consume una gran variedad de productos con base en el maíz: Tamales, atole pozole, gorditas, tlacoyos, dulces (gelatinas y “temblorosos”), fermentados alcohólicos como el tesguino y no alcohólicos como el pozol. Sin embargo, la forma más generalizada de consumo es la tortilla, la cual se prepara por el proceso de nixtamalización tradicional (México, Enciclopedia de, 1978).

El maíz se cultiva, tanto en zonas de riego como de temporal, siendo las últimas las que mayoritariamente usa la población campesina para autoconsumo. Se cree que todas las variedades de maíz mexicano tienen un ancestro común, una planta de nombre “teocintle”, que abunda en la regiones de Guerrero y Oaxaca y en otras partes del Altiplano Mexicano y que también forma la parte de los géneros y la especie *Zea mays*. Su evolución ha sido seguida por arqueólogos y etnobotánicos, a través de olotes momificados encontrados en las diferentes zonas etnoculturales del México Antiguo (Peña-Hurtado, 1997a, Redes). Se piensa que, durante el esplendor de Teotihuacán existían diferentes alianzas que conservaban “razas” de maíz propias de cada región tales como: La Otopameana de la región centro de México y sur de Michoacán; las Tlapaneca, Amuzgo y Zapoteca, que se desarrollaron en el territorio de los Estados de Guerrero y Oaxaca; la Popoloca, en Veracruz y la Huave-Chiapaneca en Chiapas y Guatemala. En la actualidad, los maíces más cultivados para la producción de tortillas son las variedades Tuxpeño, Toluqueño y Blanco Criollo, aunque en los Almacenes Nacionales de Depósito (ANDSA) o en la Comisión Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), se reciben a granel y sólo se clasifican como maíz blanco o amarillo para tortillas o maíz para nixtamal que, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana correspondiente (NOM, 2003), restringe a un máximo de 3% de variedades de granos harinosos o de alto contenido de amilopectina, mezclándose las diferentes variedades y vendiéndose también a granel (Benz, 1997; BIOSA, 1996; Díaz-Núñez, 1999; Hernández-Xolocotzi, 1990; Peña- Hurtado, 1997b, Redes).

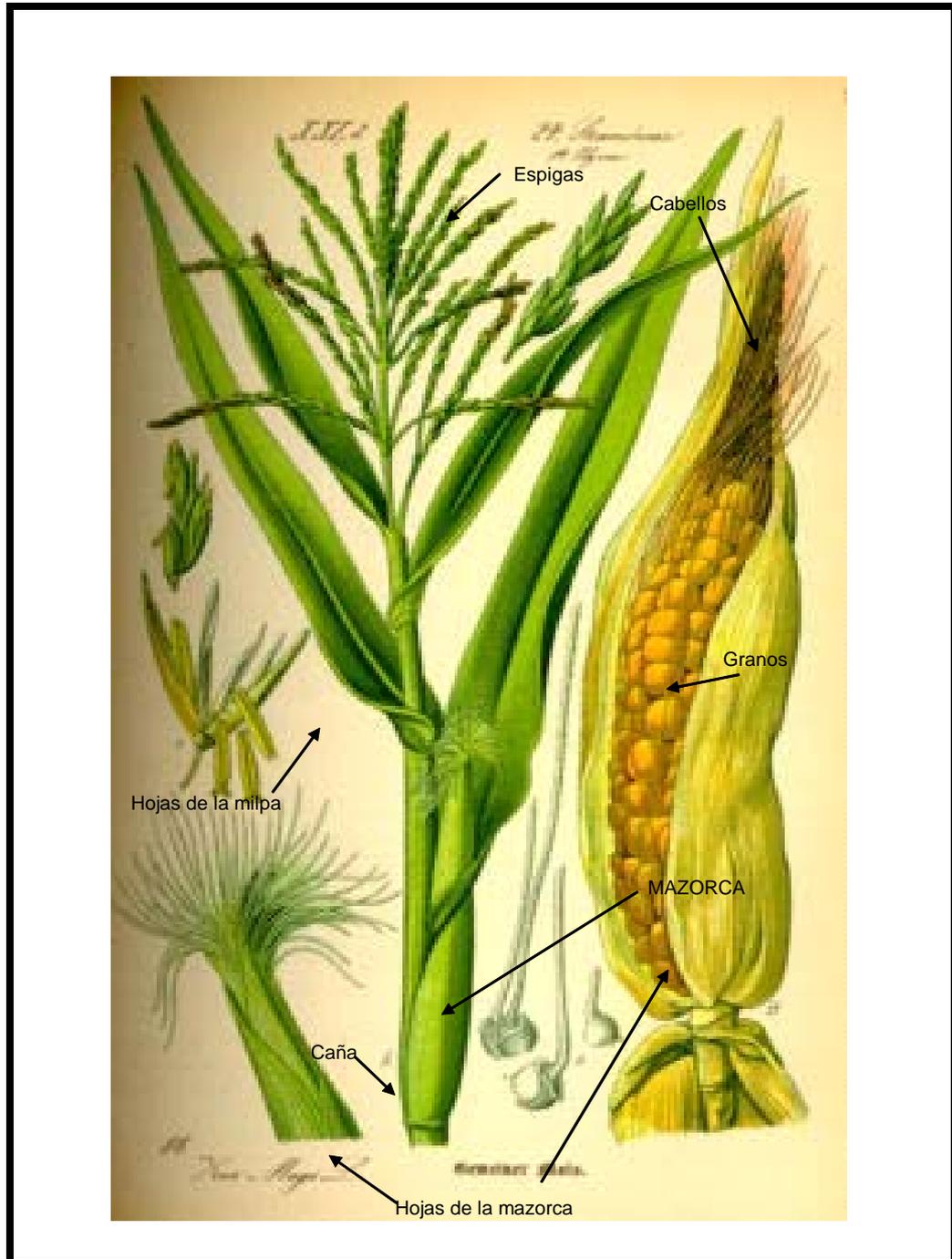


Figura 1.1. Esquema general de una planta de maíz (Jugenheimer, 1981)

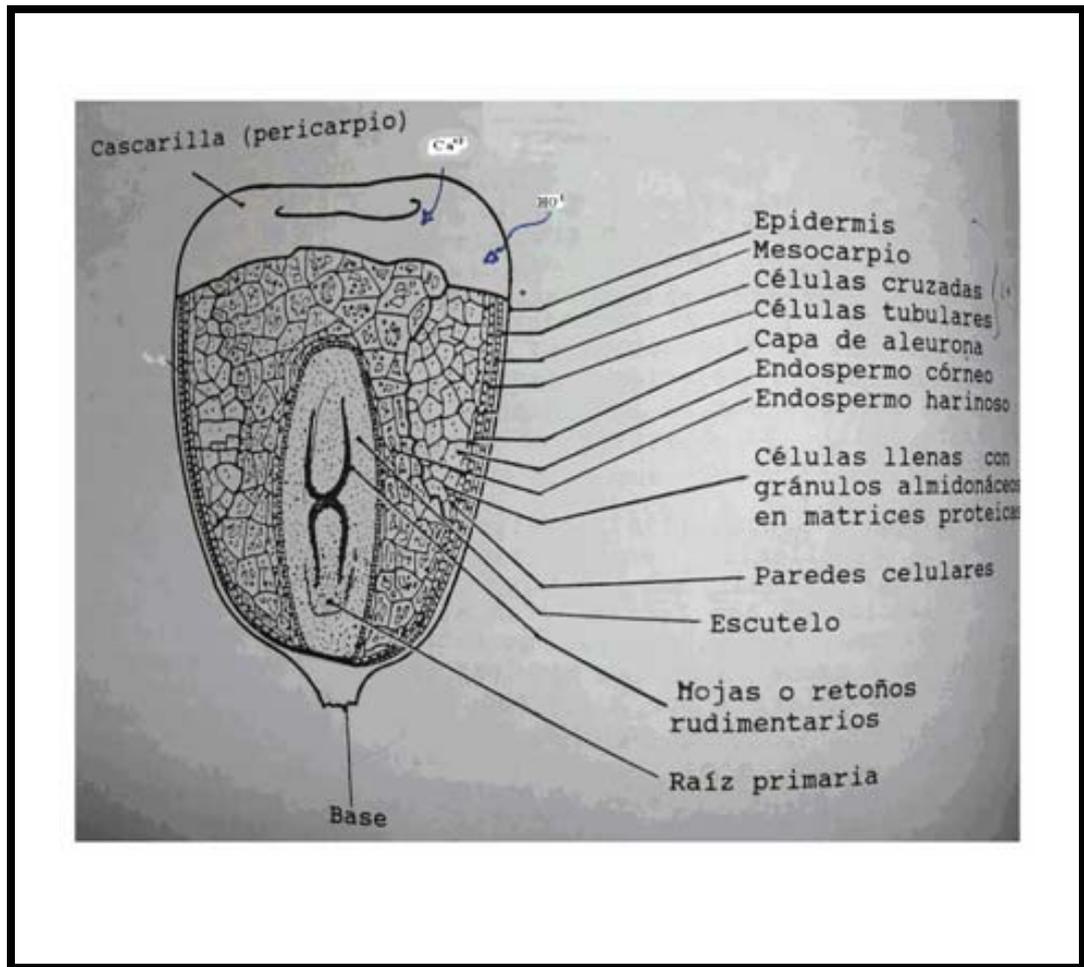


Figura 1.2. Esquema general de una semilla de maíz, *Zea mays* (Jugenheimer, 1981)

En México existen más de cuarenta razas de maíz (poblaciones de maíz cuyas semejanzas entre sí son mayores que con las de otras poblaciones), lo que indica una mayor herencia genética compartida y un parentesco, pero que son tan sólo adaptaciones de la misma planta, *Zea mays* (Wellhausen y col., 1951). Estas razas de maíz varían en sus rasgos morfológicos, de acuerdo con diferentes investigaciones que pretenden aclarar la evolución. Las clasificaciones iniciales, incluidas las de los rusos Vavilov y Kuhleshov (Benz, 1997) y la de los grupos de la Oficina de Estudios Especiales, OEE, de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, SAG, con apoyo de la Fundación Rockefeller (Benz, 1997), permiten distinguir a los maíces mexicanos en razas. Por ejemplo, el maíz de las zonas costeras del país y el de las zonas montañosas han desarrollado diferentes patrones filogenéticos. Al maíz que crece en las orillas del Valle de México (arrocillo, cacahuacintle, cónico, chalqueño y toluqueño) en el Altiplano, dependiendo de las condiciones de frío, presentan mazorcas cónicas que tienen un mayor diámetro cerca de la base optimando las relaciones volumen: superficie y dándoles una mejor resistencia a las heladas. Este tipo de maíz tarda en madurar sus mazorcas hasta ocho meses por la gran cantidad de recursos energéticos destinados a la resistencia al clima. Las razas de maíz que viven cerca de la costa, como la “zapalote chico de Oaxaca”, de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas produce mazorcas pequeñas de apenas unos 15 centímetros de

longitud, las que maduran en un lapso de dos a tres meses. Los maíces “blancos” de endospermo duro se cultivan en su mayoría en el Golfo de México y en el altiplano. Los maíces de alto contenido de amilosa en el endospermo, como los “cacahuacintle” o conejillo, olotillo, “tabloncillo”, se utilizan para cocerse reventándose y elaborando una bebida llamada “pozol” (fermentación no alcohólica de maíz), así como un guiso denominado “pozole” (maíz cocido en caldo de carne con chile y otros condimentos), la elaboración de “temblorosos” (gelatina o relleno de pan de maíz). También se puede elaborar tortillas usando en el agua de cocción del maíz, sales que brotan de sedimentos de lagos salados (como el “tequesquite”), para obtener una masa suave. Los maíces de endospermo vítreo o “palomeros” no son adecuados para hacer nixtamal pero tostados en el comal (reventados como “palomitas”), se consumen como golosinas y tienen características organolépticas agradables. Este proceso de tostado o “reventado” era un proceso precolombino aplicable no solamente al maíz sino a otros granos, como el ahora llamado amaranto o “huautli” en náhuatl, que ya reventado y mezclado con miel de abeja se conoce en México como “alegría” (Benz, 1997; Durán-de-Bazúa y col., 2004; Rangel-Silva, 1996; Rangel-Silva y col., 1992, 1994, 1995, 1996; Rangel y Durán-de-Bazúa, 1992).

En el norte de México, la nixtamalización y el consumo de tortillas fue desconocido hasta antes de la conquista ya que los indígenas de estas regiones lo tostaban, lo molían y condimentaban elaborando los “pinoles”, como una fuente calórica ya que los animales eran su fuente de proteínas. Aún en la actualidad, la tortilla de maíz no forma parte esencial de la cultura gastronómica de la región norte de México sino la de trigo, cereal introducido de Europa y ampliamente cultivado en la zona (Benz, 1997; Peña Hurtado, 1997b, Redes). Solamente las poblaciones indígenas autóctonas (rarámuris, principalmente) y las poblaciones migrantes de “braceros”, provenientes de zonas muy pobres del centro y sur de México (de Oaxaca, principalmente), son las que consumen tortillas de maíz en la parte norte de México.

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. Ésta constituye una fuente energética e inclusive, proteínica, en la dieta de los sectores más desfavorecidos y, obviamente, mayoritarios de los mexicanos, por su alto contenido de carbohidratos, grasas y proteínas en el endospermo ya que se consume en forma íntegra (Durán-de-Bazúa, 1988; Montañez, 1991a).

Las familias de más bajos recursos consumen, *per cápita*, el doble de maíz que las de ingresos medios y altos. También consumen 50% más frijol que es, además de la tortilla, su fuente principal de proteínas (Bonfil, 1987, Durán-de-Bazúa, 1988); sin embargo; su consumo diario en kilocalorías es menor al mínimo 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-de-Bazúa, 1988; Gutiérrez-Díaz y Güemes, 1997, Redes).

La palabra “nixtamal” es un vocablo que proviene del náhuatl “*nextli*”, cenizas de cal y “*tamalli*”, masa de maíz cocido) y es un proceso desarrollado varios miles de años antes de que los europeos se tropezaran con el continente ahora conocido como América en su viaje al lejano Oriente. Illescas (1943) fue el primero en describir el proceso tal como se lleva a cabo

en México. Este proceso consiste en cocer los granos limpios de maíz blanco, conocido como criollo, en agua con una lechada de cal (1.0% de hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 , aproximadamente), durante 40 minutos o hasta que el maíz muestre un color amarillo-naranja y dejar reposar en el agua de cocción durante 12 a 14 horas. Al día siguiente, se decanta el líquido cocido y el maíz hinchado y parcialmente gelatinizado, denominado entonces “nixtamal”, se lava dos o tres veces con agua para eliminar las cubiertas seminales, las pilorizas, la cal sobrante y las impurezas del grano, obteniéndose un líquido o agua residual llamada “nejayote” (también del náhuatl “nextli”, cenizas de cal, de “ayoh”, caldo o cosa aguada y de “atl” agua, caldo de cenizas de cal). La añadidura de cal en la fase de cocción que permanece en la fase de remojo contribuye a reaccionar con las celulosas y hemicelulosas haciendo que puedan desprenderse del endospermo. Los subproductos se desechan o bien sirven para alimentar ganado porcino o para otros procesos (Durán, 1987; Illescas, 1943; Cravioto y Cervantes, 1965; Cravioto y col., 1950).

A nivel rural, se convertía el maíz en masa moliéndolo varias veces con una piedra plana y una “mano” de piedra (“metate” y “metlapili”, respectivamente), hasta que las partículas gruesas alcanzaran la finura requerida. Actualmente, la molienda inicial se realiza con un aparato de moler carne o con molinillos de disco y luego se refina la masa con el “metate”.

A nivel semiindustrial, en molinos, el “nixtamal” se muele en molinos de discos de piedra volcánica. La masa, la cual es un sólido deformable con aproximadamente un 50.0% de humedad, se moldea para elaborar la base de la alimentación del pueblo mexicano, las “tortillas”. También se pueden preparar con ella otros alimentos de alto consumo popular, como los “tamales” y el “atole”, entre otros. En Guatemala se sigue un proceso similar, descrito por Bressani y sus colaboradores desde 1958 (Braham y Bressani, 1966; Bressani, 1972; Bressani y col., 1958, entre otras muchas).

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

- ◆ 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 (Montañez, 1991a,b; Gutiérrez-Díaz y Güemez, 1997, Redes).
- ◆ La nixtamalización se realiza en el campo consumiendo importantes cantidades 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 considerables (Gutiérrez-Díaz y Güemez, 1997, Redes).
- ◆ La masa elaborada a nivel casero o en molino tiene una vida de anaquel muy corta, de 3 a 7 horas, dependiendo del clima, ya que entra en descomposición por la presencia de microorganismos (Durán-de-Bazúa, 1988).
- ◆ 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 (Durán, 1987).
- ◆ 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. Un molino tradicional solamente es eficiente

energéticamente en un 25%, ya que la mayor parte de la energía se pierde como calor convectivo de gases a la atmósfera, agua residual altamente contaminada y caliente derramada al drenaje, equipos e instalaciones viejas de baja eficiencia calorífica y eléctrica); además de introducir en las harinas elevadas concentraciones de cal que exceden lo asimilable por el aparato digestivo humano, por lo que al parecer crean problemas de formación de “cálculos” biliares o renales. (ARCRIDE, 1997, Redes; Camacho y col., 1998; Reyes-Castañeda, 1986, 1990).

- ◆ La importación de cantidades considerables de maíz amarillo, no apto para consumo humano, debido a las “oscilaciones” en la producción de maíz nacional desde fines de la década de los setenta y que se ha ido incrementando paulatinamente (BIOSA, 1996). Este grano no puede ser procesado eficientemente por el proceso de nixtamalización tradicional porque se tiene pérdidas considerables de materia prima en las aguas residuales, ya que es muy frágil porque viene roto o dañado (por los procesos de secado con aire caliente y la transportación), creando aún mayores problemas ambientales por la generación de aguas residuales con mayores contenidos de materiales contaminantes. En ocasiones, viene contaminado con hongos microscópicos que producen toxinas (aflatoxinas, principalmente), que resultan sumamente nocivas para la salud y que no son totalmente eliminadas por el proceso de nixtamalización. Además, los residuos de toxinas que se van a las aguas de proceso van directamente al ambiente (Durán-Domínguez-de-Bazúa, 1987).
- ◆ La modificación reciente de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-187-SSA1-2001 (NOM, 2003), denominada “Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias”, que lejos de mejorar la calidad de estos productos de consumo masivo permite que los intereses de grandes fabricantes vayan sobre la salud de los consumidores cuando se le compara con la norma que sustituyó (NOM-F46-S-1980).

Con esta problemática se inició un proyecto de investigación desde la década de los setenta del siglo XX para generar tecnologías apropiadas para el procesamiento del maíz y otros granos en el campo buscando reducir las pérdidas poscosecha y minimizar los efectos de negativos de la falta de almacenamiento adecuado, así como instrumentarla también para las zonas semiurbanas y urbanas (Durán, 1978). 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 masa listas para preparar tortillas, como para aprovechar las aguas residuales de la tecnología tradicional (Durán, 1972, 1977, 1978, 1987; Durán y col, 1979; Durán y Guerra, 1980; Durán-de-Bazúa, 1986,1987, 1988, 1998).

La extrusión alcalina se ha propuesto para sustituir el cocimiento tradicional del maíz para producir tortillas, tanto a escala industrial como en molinos urbanos y suburbanos y empresas familiares. Se ha demostrado operacionalmente que cualquier extrusor puede elaborar productos de harina de maíz cuando el grano es previamente molido, humedecido y alcalinizado y que, una vez secados y molidos, se convierten en harinas que, rehidratadas, producen masas con las que se pueden elaborar tortillas con características sensoriales y de textura muy semejantes a las elaboradas por el método de nixtamalización tradicional (Figura 1.3). Este proceso, la extrusión, permite un amplio campo de investigación en áreas tales como reología y textura de masas durante y posteriores el proceso de extrusión, comportamiento químico de los polímeros naturales (almidones, celulosa y proteínas) y sus interacciones, así

como su influencia en las características sensoriales y de textura de cualquier producto, en este caso las tortillas producidas por extrusión termoalcalina (Calderón y Domínguez, 1997, Redes; Pérez y Rodríguez, 1988).

Entender la química del “nixtamal” (fracciones del maíz químicamente más significativas, interacción química entre las mismas fracciones, reacciones y mecanismos de reacción), así como la ingeniería para industrializar este proceso en las mejores condiciones ambientales y de operación; es de gran importancia no solamente para México, sino para la población consumidora de todo el mundo, ya que inicialmente con el fenómeno de migración de mexicanos a otros países en las últimas décadas y la globalización, el consumo de la tortilla se incrementa día a día en el resto del mundo.

Con esta breve introducción sobre la importancia de este grano originario de México, del potencial del proceso de extrusión y de la importancia de estudiar el efecto de este proceso en el almidón del maíz, a continuación se presentan las hipótesis en las que se basa esta investigación, su objetivo y las metas, así como los alcances.

Esta investigación está dirigida al estudio del almidón como aquella fracción del maíz que para muchos investigadores es la más significativa en su interacción con el hidróxido de calcio. Debe mencionarse que esto no significa que las demás fracciones de maíz pierdan su importancia; sin embargo, éstas se dejarán para estudios posteriores.

I.2. HIPÓTESIS

Como uno de los fenómenos interesantes de la nixtamalización del maíz es la modificación de los almidones para producir masas maleables, las hipótesis de trabajo de esta investigación son las siguientes:

Ho (Hipótesis nula) = El fenómeno de gelatinización termoalcalina de los gránulos de almidón en la extrusión termoalcalina ocurre exactamente igual o de manera muy similar a la nixtamalización tradicional

H1 (Hipótesis alternativa) = El fenómeno de gelatinización termoalcalina de los gránulos de almidón no ocurre exactamente igual a la nixtamalización tradicional en la extrusión termoalcalina.

H1 + 1 (Hipótesis alternativa de una cola) = El fenómeno de hidrólisis alcalina de los gránulos de almidón es mayor en la nixtamalización tradicional que en la extrusión termoalcalina.

H1 - 1 (Hipótesis alternativa de una cola) = El fenómeno de hidrólisis alcalina de los gránulos de almidón es menor en la nixtamalización tradicional que en la extrusión termoalcalina.

I.3. OBJETIVOS

Estudiar la variación de algunas propiedades fisicoquímicas del polímero natural (almidón de maíz) en condiciones alcalinas.

Se tiene un OBJETIVO ESPECÍFICO:

Estudiar exclusivamente la fracción almidonosa del maíz, para determinar el efecto de la molécula de hidróxido de calcio y el agua en un polímero natural, y así poder tener un acercamiento al entendimiento de los fenómenos de gelatinización termoalcalina y, una vez entendida, poder sustituir un proceso tradicional que es ineficiente a escala semiindustrial e industrial por otro moderno y más eficiente.

I.4. METAS

1. Estudio de los cambios provocados en los almidones por diferentes concentraciones de hidróxido de calcio mediante evaluaciones viscoamilográficas (variaciones de temperatura, tiempo y viscosidad máxima aparente) de suspensiones en un viscoamilógrafo “Brabender”
2. Determinación de las condiciones a las cuales el almidón de maíz extrudido termoalcalinamente (variando la humedad de proceso y la concentración de hidróxido de calcio) presenta propiedades fisicoquímicas iguales o lo más semejantes a sus contrapartes nixtamalizadas.
3. Estudio de la variación del contenido de azúcares reductores en los productos cocidos y extrudidos, como una medición directa de los efectos de hidrólisis y termomecánicos

I.5. ALCANCES

La presente investigación tiene como alcances, únicamente:

La determinación de los efectos de la variación de la concentración de hidróxido de calcio y la humedad de proceso en el almidón de maíz blanco criollo tipo “tuxpeño”, que es el de mayor cultivo y consumo humano en México.

La realización de experimentos a nivel de laboratorio que permitan simular el proceso de “nixtamalización” tradicional del almidón de maíz, únicamente, considerando la transferencia de energía calorífica y el tiempo de operación similares a los que tendría el grano entero en un proceso tradicional.

No se consideran la determinación de mecanismos de reacción, ni de modelos reológicos o termodinámicos. Esto podrá realizarse en estudios posteriores, aprovechando los resultados de la presente investigación.

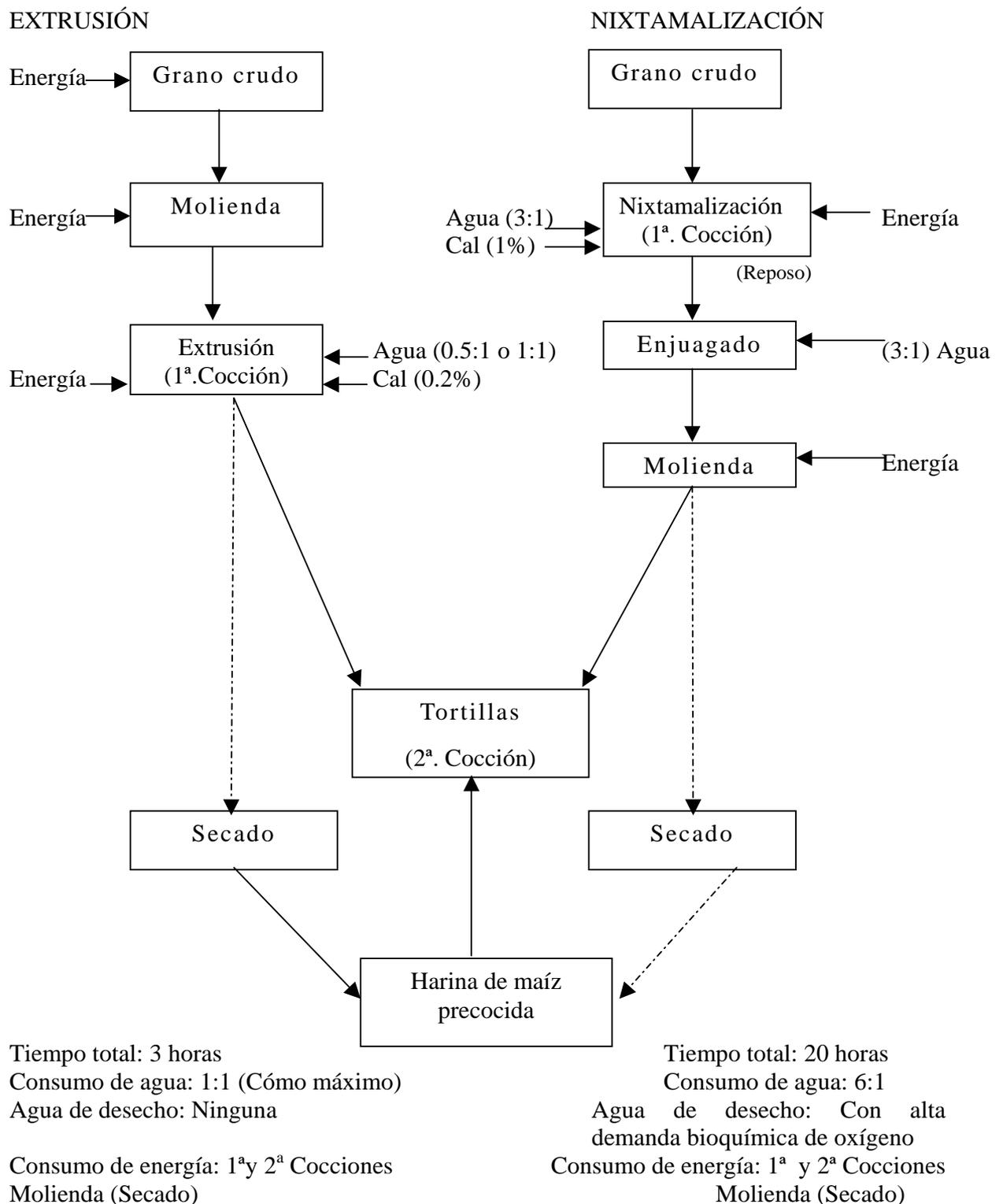


Figura 1.3. Comparación del proceso tradicional y proceso de extrusión termoalcalina para producir masas y harinas precocidas de maíz para tortillas (Durán-de-Bazúa, 1988)

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

II.1. QUÍMICA Y REOLOGÍA DE LOS POLÍMEROS NATURALES DEL MAÍZ (ALMIDÓN)

II.1.1. El almidón

El término almidón se refiere en general al polvo blanco harinoso que puede separarse de los tubérculos o raíces o bien de las semillas de las gramíneas. Los almidones son polímeros homopolisacáridos de moléculas de D-glucosa unidas por enlaces alfa (1-4) y alfa (1-6) que sirven de reserva energética en algunos productos de origen vegetal, como semillas, granos, frutos, tubérculos, etc. Una sola molécula de almidón puede tener de 200 a 5,000 unidades monoméricas de D-glucosa. En estado natural se encuentra en forma de gránulos cuyo tamaño y forma son característicos de cada producto. Pueden tener pesos moleculares de hasta un millón de daltones. Las propiedades de los almidones tienden a variar según la especie vegetal de donde provengan. Por ejemplo, los almidones de papa tienden a esterificarse con grupos acetilo y también a metilarse y, a la vez, a mantener diferentes grados de sustitución en sus moléculas, lo que cambia totalmente las propiedades de tensión superficial y viscosidad de sus suspensiones acuosas además de sus propiedades de digestibilidad (Baduí-Dergal, 1988; Bull, 1971, Charbonniere y col., 1973; Escher, 1995, Redes; Hernández-Ayala y col., 1996; Pravisani y col., 1985; Steeneken y col., 1995, Redes).

El almidón se dispone en estructuras rígidas llamadas gránulos que varían en cada especie vegetal y pueden ser de diferentes diámetros y diferentes geometrías. Los gránulos se encuentran algunas veces dentro de una matriz proteínica llamada aleurona que da cuerpo y resistencia mecánica a las semillas. El endospermo harinoso de una semilla de maíz puede apreciarse en la Figura 1.2 del capítulo 1 (Jugenheimer, 1981).

El almidón está principalmente constituido por dos tipos de polímeros, la amilosa, que es un polímero helicoidal unido por enlaces alfa (1-4) (Figura 2.1) y la amilopectina, que es un polímero que presenta enlaces alfa (1-4) y ramificaciones por enlaces alfa (1-6) (Figura 2.2) y cuya proporción varía naturalmente con la especie vegetal de donde se obtenga. Por ejemplo, algunos tipos de maíz de endospermo duro, como el maíz “blanco criollo-dentado”, tienen de 27 a 30% de amilosa y el resto de la parte almidonosa es amilopectina. Las variedades de maíz harinoso como el “cacahuacintle” tienen hasta un 80% de amilosa y el resto de la fracción almidonosa es amilopectina. El maíz usado para hacer “palomitas”, conocido como “toluqueño”, tiene hasta un 90% de amilopectina y el resto es amilosa. Aún cuando todos son de la misma especie *Zea mays*, la proporción de los dos principales componentes del almidón: la amilosa y la amilopectina tiene que ver directamente con la dureza del grano. La hidratación de estas fracciones interviene directamente con la formación de zonas dentro del gránulo, cristalinas y amorfas, dependiendo de si prevalece la amilosa o la amilopectina (Cabrera y col., 1986).

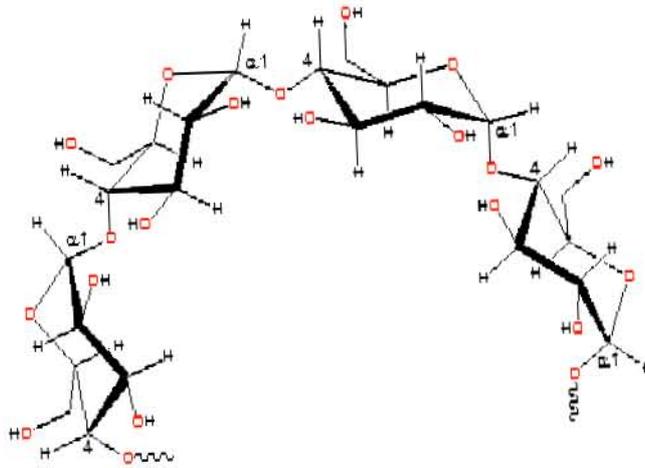


Figura 2.1. Molécula de amilosa (Anónimo, 2006a, Redes)

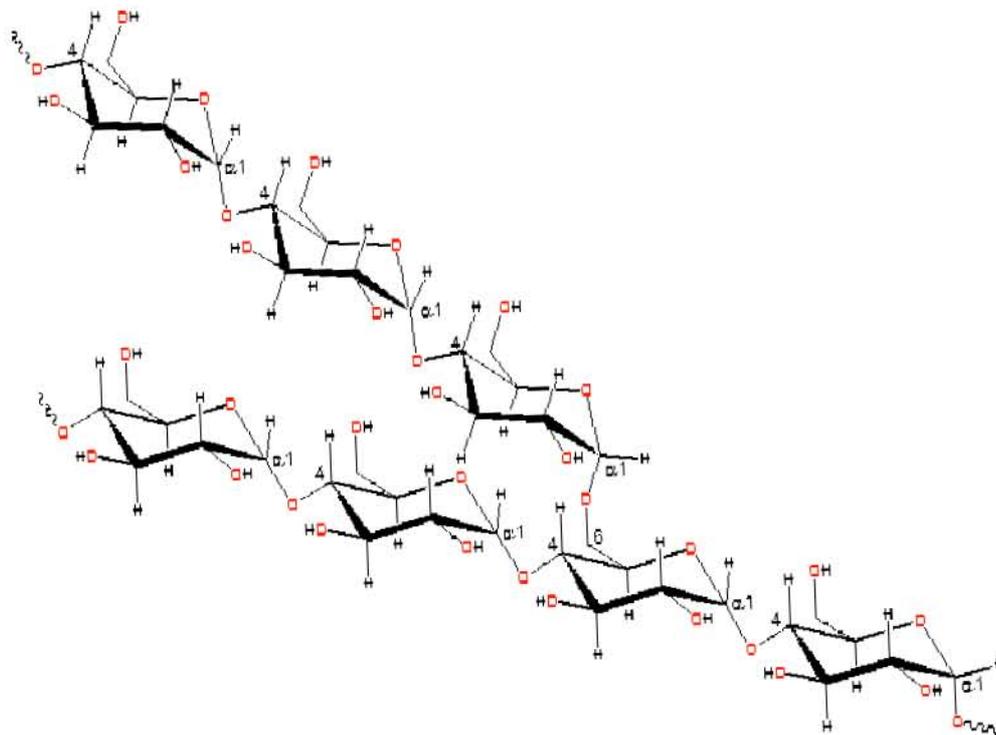


Figura 2.2. Molécula de amilopectina (Anónimo, 2006b, Redes)

Los almidones presentan propiedades como la capacidad de formar geles en presencia de agentes plastificantes cuando reaccionan o interactúan con ellos. En el caso de los almidones, el agente plastificante es el agua y la reactividad está dada por los grupos hidroxilo dependiendo de la posición de las diferentes unidades de glucosa (Uribe-Velasco, 1985; Ureta Barrón, 1989).

II.1.2. La gelatinización del almidón

La mayoría de los almidones conocidos en la naturaleza, cuando están en agua fría (25°C), de una manera lenta la van absorbiendo, a la vez que se hinchan ligeramente. El aumento de sus proporciones sólo es observable al microscopio pero, cuando su calientan gradualmente hasta alcanzar temperaturas cercanas los 50-55°C, ocurren una serie conjunta de fenómenos conocidos con el nombre genérico de gelatinización y otros posteriores denominados como retrogradación y dextrinización (Baduí-Dergal, 1988, Charbonniere y col., 1973; Diosady y col., 1985; Escher, 1995, Redes; Linko y col., 1983; Steeneken y col., 1995, Redes). La “gelatinización” se estudia principalmente por técnicas o métodos de análisis como la calorimetría diferencial de barrido, la cromatografía de líquidos después de que las muestras se someten a digestión en presencia de alfa amilasa y alfa glucosidasa, la viscoamilografía, etc. (Steeneken y col., 1995, Redes). Este grupo de fenómenos se describen a continuación.

a) Pérdida de birrefringencia

La birrefringencia o capacidad de un cuerpo para desviar la luz polarizada (desdoblamiento de un rayo luminoso cuando incide sobre un medio “anisótropo”) es la característica de un cuerpo de no tener las mismas propiedades en todas direcciones. Uno de los rayos, denominado ordinario, tiene una velocidad constante e independiente de la dirección, mientras que otro rayo, el extraordinario, tiene una velocidad dependiente de la dirección; es decir, hay más de un índice de refracción con respecto a la propagación de la luz. En consecuencia, son capaces de presentar la cruz de malta al irradiarse con la luz polarizada, debido a la ruptura del arreglo radial de los polímeros (Baduí-Dergal, 1988). La birrefringencia de los almidones está directamente asociada con la proporción de agua que hay y su pérdida es proporcional a ese contenido. Suponiendo que se comience a calentar una muestra de almidón en agua (de papa, avena, trigo o maíz), a una razón constante de 1.5°C/min, se ha demostrado con el microscopio de placa caliente y luz polarizada que, para pastas de almidón con aproximadamente 50.0% de humedad (b.s.), la birrefringencia se comienza a perder al llegar a un intervalo de temperatura entre 55 a 65°C, mientras que cuando la humedad es menor al 20.0% (b.s.), hay almidones que alcanzan 130°C antes de perderla. Este fenómeno ocurre al mismo tiempo que se pierde el patrón “V” de rayos X, cuando, por calorimetría diferencial de barrido (“DSC”, por sus siglas en inglés, *differential scanning calorimetry*), se obtiene la endoterma característica que muestra cuando comienzan a darse la fusión de las zonas del almidón con mayor grado de cristalinidad y el alineamiento de las zonas amorfas (Charbonniere y col., 1973; Diosady y col., 1985; Escher, 1995, Redes; Linko y col., 1983; Steeneken y col., 1995, Redes).

b) Pérdida de los patrones de difracción (con rayos X)

Como otros polímeros, el almidón en estado nativo tiene zonas cristalinas o semicristalinas, las cuales presentan patrones de difracción a los rayos X, tipo “V”. El cambio en la cristalinidad por fusión de las zonas cristalinas o por alineamiento de las zonas amorfas produce cambios en la intensidad del patrón de difracción de rayos X. Se ha demostrado que éste se pierde en el mismo intervalo de temperatura en que se pierde la birrefringencia. De la misma manera, resulta sensible al contenido de humedad, perdiéndose más rápidamente a

mayores contenidos de humedad (Baduí-Dergal, 1988; Moreira y col., 1999; Steeneken y col., 1995, Redes).

c) Fusión de las zonas cristalinas y transición vítrea, análisis por calorimetría diferencial de barrido (CDB)

Mediante el análisis por calorimetría diferencial de barrido en almidones de avena, trigo y maíz se demostró que, paralelamente a la pérdida de birrefringencia y la pérdida en intensidad del patrón de rayos X, se produce por lo general una endoterma cuya área bajo la curva y la entalpía de fusión que expresa, es característica del tipo de almidón que se trate y del contenido de humedad.

También se demostró que los valores de las entalpías de fusión dependen del contenido de almidón dañado, esto es, que mientras haya más almidón dextrinizado por efectos de la molienda, extrusión o secado tenderán a disminuir. El contenido de humedad influye también en estos resultados, demostrándose que conforme sube el contenido de agua tiende a reducirse el calor de fusión. Se observa también que, conforme sube el contenido de agua, la temperatura de inicio de la gelatinización, T_0 (conocida en inglés como “onset temperature”) no varía, al menos a no muy altas proporciones de humedad. Sin embargo, la temperatura de gelatinización sí varía.

Este comportamiento puede relacionarse con la teoría de Flory para la fusión de polímeros, especialmente para el caso cuando un polímero actúa con un plastificante (siendo, en este caso, el polímero el almidón y el plastificante el agua). Sin embargo, esto se ha cuestionado porque la ecuación de Flory (1971) requiere de un equilibrio de fusión y esto no se da durante la calorimetría diferencial de barrido. Se dan semiequilibrios sólo a razones de calentamiento menores a $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y contenidos de humedad mayores al 50.0% (b.s.).

Otro aspecto es que, aún dentro de una misma especie, el tamaño de los gránulos varía en una población definida. El volumen de agua (el plastificante) dentro del gránulo se desconoce (es fácil saber la relación agua: almidón pero no su contenido dentro del gránulo). Además, el fenómeno de expulsión de la amilosa del gránulo en un intervalo de temperatura dado, hace que se considere a la amilosa como parte del diluyente plastificante, mientras que la amilopectina es la que conserva sus propiedades poliméricas (Escher, 1995, Redes). En estudios hechos en almidones de trigo, avena y papa, se corroboró que se comportan como materiales poliméricos que presentan, previamente a la fusión de los “cristalitos”, el fenómeno de transición vítrea en el material amorfo a una temperatura dada de transición conocida como vítrea (T_g , conocida en inglés como “Glass transition temperature”). Debajo de esta temperatura un polímero puede considerarse como un sólido quebradizo o un líquido subenfriado y superando T_g se acerca a un comportamiento de alta viscosidad que en el argot alimentario se conoce como “gomoso”. La fusión de los “cristalitos” se considera como una transición de primer orden y tiende a generar pequeños picos en los termogramas. La “transición vítrea” es de segundo orden y aunque genera cambios y discontinuidad en la capacidad calorífica del material, se ha demostrado que la endoterma ocurre simultáneamente con la “transición vítrea”. Se han hecho experimentos para medir las variaciones en los comportamientos termográficos de poblaciones seleccionadas de gránulos de almidón de trigo y maíz con tamaños estandarizados (el tamaño de los gránulos va de 24 a 68 μm ,

aproximadamente) sin encontrar variaciones significativas en los parámetros de gelatinización entre los mismos. Sin embargo, estos parámetros de gelatinización medidos por calorimetría diferencial de barrido sí son específicos para variedades de una misma especie de gramínea ej., avena de invierno y avena de verano) y más aún entre almidones de diferentes especies de leguminosas y gramíneas (Robles-de-la-Torre, 1986; Vergnes y Villemare, 1993).

d) Absorción de agua e hinchamiento

Son fenómenos que pueden variar dependiendo de los almidones de las diferentes especies vegetales y, por lo general, se dan durante la gelatinización posterior al ablandamiento de las capas más externas del almidón. Por ejemplo, se da cuando una suspensión de almidón ya sea de trigo, avena o maíz se calientan a una razón, por ejemplo, de 1.5°C/minuto en agua con una cantidad de agua relativamente alta en proporción al sólido (50 a 65%, b.s.). El agua comienza a penetrar en los gránulos hinchándolos. Se da una ruptura de los puentes de hidrógeno de las zonas amorfas y se absorbe una mayor cantidad de agua, con un aumento considerable del tamaño del gránulo. Esto ocurre al mismo tiempo que se da la pérdida de birrefringencia. “A medida que se incrementa la temperatura, algunas de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular afloran fuera del gránulo disolviéndose en el agua, hasta que las cadenas de amilopectina, de mayor peso y tamaño, impiden que continúe el afloramiento por los poros. La temperatura a la que se da el máximo hinchamiento de los gránulos se conoce como temperatura de gelatinización y a esta temperatura hay un alto nivel de absorción de agua, a la vez que la amilosa que se diluye en el medio externo aumenta la viscosidad” (Baduí-Dergal, 1988, Battacharya y Hanna, 1987a, b).

e) Cambios en el comportamiento reológico

Durante el calentamiento de las suspensiones acuosas de almidón el hinchamiento y la deformación de los gránulos con la disminución del espacio entre ellos así como el fenómeno de afloramiento de la amilosa (“leaching out”) al medio acuoso, provoca que las dispersiones de este polímero alcancen valores de viscosidades aparentes altos. Este fenómeno ocurre durante segunda etapa del calentamiento, a temperaturas de 70 a 95°C. según la especie vegetal de la cual provengan. Los almidones de papa, trigo, avena, arroz y maíz tienden a alcanzar una viscosidad aparente máxima de gelatinización que algunos autores reportan en 0.31 a 0.86 N s⁻¹.m⁻² si se aplican velocidades de corte de 20 a 30 s⁻¹. (Brenner y col., 1986; Moreira y col., 1999; Moshenin, 1973).

II.1.3. Las gomas y los almidones modificados

A las gomas tradicionalmente se les define como sustancias viscosas, que generalmente tienen un carácter de heteropolisacárido y que afloran de ciertas especies vegetales en forma accidental o por incisiones practicadas *ex-profeso* y cuya principal función es de protección para la especie; sin embargo, en la actualidad el término se usa para designar a un gran número de polímeros, de origen vegetal, animal, microbiano o incluso sintético. La mayoría de ellos producen suspensiones o dispersiones en agua caliente o fría y algunos forman geles. Por su naturaleza coloidal se les da el nombre de hidrocoloides. Los productos comerciales contienen otras sustancias como dextrinas y oligosacáridos, proteínas y cenizas además de impurezas que influyen en sus propiedades físicas cuando éstas están en soluciones. Se usan como

agentes emulsivos, “gelificantes”, espesantes, para modificar la viscosidad, estabilizadores de espumas y de partículas coloidales y como inhibidores de la sinéresis y de la cristalización de azúcares (Baduí-Dergal, 1988).

Los almidones se hidrolizan en presencia de ácidos o enzimas y su susceptibilidad tiende a variar cuando estos se modifican (Baduí-Dergal, 1988). Cuando los almidones naturales se tratan física o químicamente para modificar sus propiedades funcionales (viscosidad, estabilidad, textura, etc.), de acuerdo con necesidades o requerimientos específicos, se les conoce como almidones modificados. Se pueden degradar en forma controlada o hacer reaccionar sus grupos hidroxilo con algunos compuestos, después se deshidratan y se venden comercialmente como polvo (Baduí-Dergal, 1988, Cremena, 1997, Redes). Algunas modificaciones se dan por los siguientes procesos):

- a) **Pregelatinización**: Se da al tratar el almidón con un álcali, generalmente con NaOH a una concentración máxima de 1% (Baduí-Dergal, 1988).
- b) **Fluidificación ácida**: Los almidones se hidrolizan parcialmente con HCl o H₂SO₄ y las suspensiones obtenidas son hasta 10 veces menos viscosas a la misma concentración que las de un almidón natural con las mismas proporciones de amilosa y amilopectina.
- c) **Eterificación y esterificación**: Los almidones se hacen reaccionar con acroleína, epiclorhidrina, acetato de vinilo y anhídridos acético y succínico (Baduí-Dergal, 1988).
- d) **Oxidación**: Los almidones reaccionan con cloro, hipoclorito de sodio, permanganato de potasio, clorito de sodio o persulfato de amonio (Baduí-Dergal, 1988).
- e) **Entrecruzamiento** Se emplean agentes que forman enlaces entre las cadenas de almidón, como el trimetafosfato de sodio, el anhídrido succínico, el oxiclورو de fósforo (Baduí-Dergal, 1988).

II.2. LA QUÍMICA DEL “NIXTAMAL”

II.2.1. Antecedentes

La “nixtamalización” es un proceso empírico el cual no se había estudiado científicamente sino hasta a la década de los años 40 del siglo XX, a pesar de haber existido desde 3000 años antes de Cristo (Illescas, 1943). La primera teoría química de la formación del “nixtamal” fue presentada por Illescas y colaboradores desde 1943 (Cravioto y Cervantes, 1965; Cravioto y col., 1950), donde habla de la asociación del calcio y el agua a la amilosa y de la hidrólisis alcalina de proteínas. A pesar de que el hidróxido de calcio es insoluble en agua, la suspensión es suficiente para producir un medio básico de pH=12. Bressani y colaboradores definieron en 1958 la nixtamalización como un proceso en el cual interviene reacciones de hidrólisis, **de las cuales pueden generarse azúcares reductores**, la hidratación y formación de complejos coordinados de calcio; pero, sin presentar pruebas de laboratorio de las mismas. Braham y Bressani expusieron en 1966 que el calcio es sólo biodisponible cuando se encuentra formando complejos de coordinación o “quelatos”. Estos estudios se continuaron durante la década de los años setenta del siglo XX en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de la SARH campus Chapingo con la tendencia a sustituir el nixtamal por la extrusión termoalcalina; pero sin profundizar en la química del “nixtamal”

(Durán, 1972, 1977, 1978; Durán-de-Bazúa y col., 1979; Saldaña-Morales, 1987). También se investigaron otras alternativas químicas como el uso de solventes y ácidos orgánicos para sustituir el efecto del agua en la “nixtamalización” y aditivos para el mejoramiento de la calidad de los productos “nixtamalizados” inclusive generando patentes que no tuvieron ningún tipo de impacto en la parte científica de la explicación del fenómeno (Rubio 1972a,b; 1973, 1974a,b, 1975).

A finales de los años setenta y durante la década de los años ochenta del Siglo XX, la investigación tendió a buscar la sustitución del proceso de “nixtamalización” tradicional, por otros procesos alternativos de cocción. Molina y col. (1977) ensayaron un procedimiento de producción de harina instantánea para tortillas mediante secado en tambores en una fábrica experimental. Para esto mezclaron harina de maíz con agua en una proporción de 3:1, añadiendo un 0.3 por ciento de cal sobre la base del peso de maíz. Una vez realizada la mezcla, se pasó la masa por un secador de doble tambor calentado con vapor a tres diferentes presiones y temperaturas: 206 kPa y 93°C, 240 kPa y 99°C y 275 kPa y 104°C y a 2, 3 y 4 rpm de velocidad de giro del tambor. El procedimiento produjo una harina instantánea con características fisicoquímicas y organolépticas idénticas a las de la muestra de referencia elaborada según el método tradicional, pero que diferían de las de un producto comercial. Este tipo de cocción hace que los almidones menos digeribles a la alfa amilasa de la saliva humana, según los autores (FAO, 1993, Redes).

A la fecha, la investigación química en esta temática es relativamente poca. Una tina de cocimiento de “nixtamal” puede considerarse como un reactor intermitente o por lotes (“batch”). Un extrusor puede considerarse como un reactor continuo en el cual se llevan a cabo reacciones como la gelatinización del almidón, de hidrólisis de carbohidratos y matrices proteínicas, que promuevan cambios en la textura y calidad nutritiva del maíz empleado (Gómez y col., 1992).

También se estudió el calor seco como alternativa. Johnson y colaboradores (1980) usaron la “micronización” para producir harinas de sorgo y de maíz. Éste es un procedimiento de calor seco en el que se emplean generadores de rayos infrarrojos alimentados a gas. Se produce un calentamiento interno rápido, que cuece el producto del interior hacia afuera. Los investigadores utilizaron dicho procedimiento para producir harina de maíz y afirman que es más rápido y económico que el método tradicional. Khan y colaboradores (1982) compararon tres métodos: el tradicional, un método comercial y un procedimiento de cocción bajo presión a escala de laboratorio. Aplicando cada uno de los procedimientos, se sometió el maíz a una subcocción, a una cocción óptima y a una sobrecocción, a fin de medir algunos de los cambios físicos y químicos que podían ocurrir. Aunque el método tradicional causó la mayor pérdida de materia seca del grano, fue el que produjo las mejores tortillas, por lo que se refiere a su textura, color y aceptabilidad. El procedimiento de cocción bajo presión dio una masa pegajosa y tortillas de aspecto desagradable. El método comercial resultó ser el que dio tortillas de aspecto menos apetitoso. Gracias a ese estudio, sus autores propusieron un método de evaluación de la cocción que permite verificar hasta qué punto ésta ha sido completada. **Esto puede medirse por medio de los índices de absorción y solubilidad en agua de las harinas.** Bedolla y colaboradores (1983) ensayaron diversos métodos de cocción para el maíz y el sorgo, así como para mezclas de ambos granos. Los métodos ensayados fueron el tradicional, la cocción con vapor de agua conforme al método seguido por Khan y col. (1982)

y un método en el que se empleó un sistema de reflujo (condensación). Hallaron que los métodos de cocción influían en el total de materia seca, **medida como el índice de solubilidad en agua**, el cual aumentaba y que se perdía durante su transformación en tortillas. La variación de las condiciones de cocción puede dar lugar a una disminución del tiempo de elaboración. Norad y colaboradores (1986) hallaron que se podía disminuir en un 40 por ciento el tiempo de cocción si se maceraba el grano antes de la cocción en una suspensión de cal. Según esos estudios, con la cocción aumentan las pérdidas de materia seca, la absorción de agua, el contenido de calcio y el almidón sensible a las enzimas, a la vez que disminuye la viscosidad máxima en amilógrafo, tanto del maíz previamente macerado como del maíz crudo, pero la disminución de la viscosidad y el aumento de los demás parámetros tienen lugar con más rapidez en el maíz macerado. Los resultados pueden medirse mediante cualquier viscosímetro como el viscosímetro Brookfield o el viscoamilógrafo Brabender.

Trejo-González y colaboradores presentaron, en 1982, la hipótesis de que el hidróxido de calcio y el agua compiten por la higroscopicidad de la amilosa, teniendo más afinidad el calcio por los puentes de hidrógeno reduciendo el índice de absorción de agua. Saldaña y Brown, en 1984, presentaron un estudio de la composición química de las tortillas de maíz “nixtamalizado”; mas no explicaron acerca sus propiedades fisicoquímicas (Robles y col., 1988), presentaron una investigación sobre las propiedades fisicoquímicas de masas y tortillas empleando diferentes tipos de álcalis como los hidróxidos de sodio y magnesio para comparar al hidróxido de calcio. Encontraron que los hidróxidos de sodio y magnesio producían residuo tóxicos como la lisina amino-nitrosa,. Demostraron que el hidróxido de calcio es el único álcali capaz de producir “nixtamalización” verdadera y por lo mismo variaron sus concentraciones del 1 al 3% b.s. y midieron sus características por calorimetría diferencial de barrido. Al aumentar la concentración de hidróxido de calcio aumentaba la conductividad térmica y el calor específico (Cp) de masas y tortillas.

Gómez y col. (1989) hicieron pruebas para la variación de la concentración de hidróxido de calcio del 1 al 3% de concentración en base seca encontrando que la dureza de las masas y tortillas se incrementaba de manera directamente proporcional al contenido de cal.

Durante los años noventa, la investigación publicada no aumento, como si el crecimiento de la industrialización la desalentara. La investigación continúa en la Facultad de Química de la UNAM por parte de Sánchez Tovar y colaboradores (1993, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2004, 2005), con la tendencia al desarrollo de la tecnología de extrusión para sustituir a la “nixtamalización”.

Investigaciones interesantes han sido presentadas por la Universidad de Sonora en 2001 con respecto a la variación de los granos de maíz en la fabricación de masas y tortillas (Vázquez y col., 2001; Vidal 2001). Estudiaron la correlación entre el tiempo de cocimiento y el grado de gelatinización del almidón y sus consecuencias sobre la textura encontrando que, a mayor concentración de hidróxido de calcio, se obtenía mayor dureza en las tortillas. El tiempo de cocimiento tiene un óptimo de 3 min, pero alrededor de este valor el producto se seca y se plastifica.

Se ha demostrado que los almidones de maíces pigmentados gelatinizan y retrogradan más rápidamente que los céreos debido a su alto contenido de amilosa (Acevedo, 2004). Se ha

planteado que el proceso de nixtamalización es un proceso de difusión en un sistema multicapa, donde el grado de gelatinización de los almidones está en función del tiempo y la temperatura de cocción. (González-Dávalos y col., 2004).

Trejo-González y colaboradores (2004) indicaron en una presentación de un congreso que la nixtamalización puede ocurrir “en frío”, es decir, a temperatura ambiente. Sin embargo, la duración del proceso es de alrededor de cuatro días. No se hizo mención a posibles problemas de descomposición microbiana, muy comunes con los productos de maíz, que reducen los valores de pH de 14 hasta 5 en pocas horas (Durán-de-Bazúa, 1986).

Otros autores han definido a la nixtamalización como un fenómeno de difusión multicapa en el que el mayor incremento en la retención de calcio está en el endospermo almidonoso. Dicha retención se da conforme el calcio se incorpora al almidón siguiendo una cinética de primer orden aparente con respecto a la concentración de hidróxido de calcio (Rojas y col., 2004).

En estudios recientes, donde se han adicionado diferentes concentraciones de hidróxido de calcio (0.1, 0.5 y 1.0 y 1.5% b.s.) a geles de almidón de maíz, los cuales se han dejado reposar por una semana a 4°C y presión de una atmósfera (101 kPa), se encontró que los que contenían una mayor concentración de hidróxido de calcio tenían viscosidades de gelatinización más elevadas y se reducían sus tiempos de retrogradación (Reguera y col., 2001, 2004). También realizaron investigaciones por cristalografía de Rayos X y microscopía electrónica que les permitieron demostrar que, a valores de pH alcalinos, 12.0, el ión Ca^{++} neutraliza muchos de los ácidos grasos alifáticos saponificándolos y aumentando la concentración de agentes tensoactivos (surfactantes) negativos en el medio, reteniéndose preferentemente en el pericarpio (4 mg/mg de pericarpio).

Estas investigaciones, realizadas en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad de la Habana, Cuba (Reguera y col., 2001, 2004) afirman también que el medio alcalino degrada la hemicelulosa y la lignina aumentando la permeabilidad de las capas más externas del grano, a la vez que se produce la liberación de gomas retenidas en el pericarpio, las cuales tendrán un papel fundamental en la elasticidad, enrollado y textura final de la masa y la tortilla. Ellos indican que se facilita una mayor disponibilidad de la fibra cruda en la dieta final y que una vez que los iones OH^- han penetrado el endospermo y llegan a los gránulos de almidón, estos facilitan la ruptura de los enlaces inter e intramoleculares facilitando el hinchamiento y la gelatinización parcial.

De acuerdo con lo anterior, el enlace del segundo hidroxilo de la hexosa que se une mediante un puente de hidrógeno al tercer enlace de su vecino más cercano y el cual está asociado a la estructura helicoidal del polisacárido, se abre y permite la entrada de agua y del ión Ca^{++} cambiando radicalmente la estructura de la amilosa.

Todas las investigaciones anteriores de alguna manera mencionan la importancia de obtener el óptimo grado de gelatinización del almidón y la importancia de la concentración del hidróxido de calcio para obtener productos de mejor calidad.

II.3. EXTRUSIÓN DE MATERIALES NATURALES (ALIMENTOS)

La extrusión es una operación unitaria originalmente usada para el procesamiento de fundición y moldeado de metales y, posteriormente, se aplicó a los materiales poliméricos, especialmente para la fundición de “pellets” de PVC, HDPE y otros polímeros orgánicos derivados del petróleo para la elaboración de productos termoformados, para el recubrimiento de cables metálicos y de aislamientos. Esta operación unitaria puede ser física, un proceso de mezclado con colorantes o aditivos para mejorar las propiedades físicas del material o materiales procesados, como flexibilidad, dureza, “tacticidad”, etc. (Ureta-Barrón, 1989; Uribe-Velasco, 1985). También puede ser una operación unitaria con reacción química, ya que los materiales pueden reaccionar entre ellos y el equipo funciona como un reactor continuo, como ya se mencionó.

Los extrusores se usan desde el siglo XIX para procesar polímeros naturales, particularmente harinas de trigo y otros cereales así como otros granos, texturizándolos mediante reacciones químicas de gelatinización, dextrinización y retrogradación, tanto para producir alimentos como para producir almidones modificados para la industria papelera, para la industria de los adhesivos, etc. También se emplean para la elaboración de “pellets” de melaza y forraje para el ganado mayor, para elaborar alimentos balanceados para ganado menor y para las granjas piscícolas, para alimentos de mascotas y animales de ornato (peces) y para la elaboración de productos de consumo humano directo como los cereales para desayuno, golosinas, botanas, productos de panificación e infinidad de alimentos texturizados (Anderson y col., 1969; Chiang y Johnson, 1977; Durán 1972, 1977, 1978; Durán y col., 1979; Kokini y col., 1998; Ríaz, 1998).

En general, el control de la humedad y la temperatura es vital en todo tipo de procesos que involucran materiales poliméricos naturales (Barbosa-Cánovas y Welti, 1995; Chiang y Wang, 1998; Harper, 1981; 1988, Kokini y col., 1998; Ríaz, 1998; Seethammraju y Bhattacharya, 1994). Se tiene en la literatura una amplia gama de publicaciones sobre el uso de la extrusión, entre las que destacan sus efectos para alcanzar condiciones de esterilización (Matz, 1962, Heldman y Singh, 1981; Mackey y Ofoli, 1990), sus efectos en la minimización de pérdidas de nutrimentos (Harma y col., 1998; Harper, 1988; Labuza, 1972) y su influencia en la calidad final de los productos (Bourne, 1980).

La extrusión de alimentos que desde luego están compuestos por polímeros naturales puede presentar características diferentes a la extrusión de polímeros sintéticos como los plásticos; ya que al ser de origen biológico los primeros son biodegradables, se desnaturalizan y son susceptibles de ataques y modificación enzimática. Un polímero natural rara vez presenta la homogeneidad estructural que presenta uno artificial (las proteínas, el ADN y los almidones varían en sus estructuras química aún entre individuos de la misma especie). En ciencias de alimentos puede decirse que una proteína o almidón calentados o sometidos a ligeros cambios de presión nunca volverán a ser los mismos. Y aunque muchos polímeros sintéticos puedan acomplejarse y reaccionar de manera irreversible, otros muchos pueden ser fundidos y reciclados por extrusión.

La extrusión de polímeros naturales puede definirse de manera muy general como una operación unitaria con reacción química; donde entra un flujo granular, hay fusión polimérica, reacción con el agua, las sales y los azúcares, evaporación “flash” a la salida y expansión del producto, lo que dificulta su análisis. Se han desarrollado diversos modelos matemáticos para definir lo que ocurre durante la extrusión de alimentos buscando que representen las condiciones reales, especialmente para correlacionar la energía consumida durante el proceso con el grado de transformación del material. A esto se le llama análisis térmico-mecánico-dinámico e identifica las relaciones térmicas de las masas extrudidas (Charbonniere y col., 1973, FAO, 1993, redes; Frame, 1998).

Se han hecho estudios reológicos de comparación entre un reómetro capilar a condiciones isotérmicas y un reómetro extrusor determinándose diferentes tipos de flujo dentro de los extrusores (Harper, 1981; Kokini y col., 1998).

Un extrusor puede analizarse dividiéndolo en diferentes secciones: La de alimentación donde se encuentran las tolvas y se da el primer mezclado, una segunda sección en la que la masa hidratada se comprime y se precalienta y una tercera sección, de cocimiento, donde se alcanza la máxima presión y se fuerza la masa a través del “dado” o boquilla del extrusor. Esta sección es crítica y permite considerar a la extrusión como un tipo de operación unitaria con o sin reacción química (Cárdenas y col., 1993; Durán, 1978; Elwood y col. 1989; Fito y col., 1998; Fryer y col., 1998; Harper, 1981; Kokini y col., 1998; Miller, 1985).

Dowschrak (1981) describe la descomposición oxidativa de lípidos y proteínas, así como su asociación a carbohidratos por medio de reacciones de Maillard. Su aplicación combinada con la temperatura y el pH modifica los pigmentos naturales del maíz, alterando el color de los productos.

Cuando se extrude a baja humedad, esto incrementa el esfuerzo cortante y favorece el daño mecánico en los gránulos de almidón, lo que libera carbohidratos de bajo peso molecular que a las condiciones de extrusión de alta temperatura y presión reaccionan rápidamente con las proteínas formando complejos que oscurecen y alteran el sabor de los productos extrudidos. La actividad del agua es aún más importante que el contenido de ésta, puesto que las sales y azúcares compiten por ella reduciendo la concentración efectiva para la gelatinización, lo que aumenta los requerimientos de temperatura y tiempos de residencia. La extrusión a baja humedad y corto tiempo de residencia produce materiales inflados y secos típicos de la extrusión adiabática (Elwood y col., 1989).

Hsieh y col. (1990) estudiaron los efectos sobre la calidad de productos extrudidos de harina de maíz de la concentración de sales y azúcares usando sacarosa (0-8%, b.s.) y cloruro de sodio (0-3%) y variando la velocidad de giro del tornillo del extrusor (200-250 rpm). Observaron que, al subir las concentraciones de sal y azúcar (de 0-3 y 3-8%) y la velocidad rotacional de 200 a 250 rpm, se incrementaba la energía específica y disminuía la caída de presión y el torque. Esto indica que, al reducir el tiempo de residencia (aumento de la velocidad de movimiento del material y, por ende, de la energía específica), aunque se disminuya la cantidad real de agua disponible para la cocción por el aumento en las concentraciones de sal y azúcar, la presión y el torque se reducen.

Chen y col. (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 de textura uniforme ya que las bajas humedades favorecen la distribución homogénea del agua dando masas elásticas de textura fina. Las altas temperaturas con humedades altas y bajas producen extrudidos rugosos y quebradizos con algunos puntos más gelatinizados que otros.

El uso de diseños canónicos tipo Box-Wilson y el análisis de superficie de respuesta para estudiar las modificaciones de almidón de yuca por adición de proteínas de trigo en la extrusión, usando como parámetros de medición los índices de absorción y solubilidad en agua es reportado por Matthey y Milfor, en 1997. Los investigadores reportaron que a mayor contenido de humedad y mayor cantidad de proteína, aumentaba la capacidad de retención de agua de los almidones.

Barron y colaboradores encontraron en 2000 (Redes), mediante un análisis por calorimetría diferencial de barrido y microscopía de alta resolución, que la extrusión de almidón de chícharos (arvejas, guisantes) a baja humedad modificaba de manera sensible la estructura nativa, debido a la fusión parcial de los gránulos, disminuyendo la capacidad calorífica conforme aumentaba el fenómeno de fusión.

La modificación de almidones por extrusión en alimentos es una realidad en los tiempos actuales. Mali y Grossman, en 2001, reportaron el uso del extrusor de una sola flecha para modificar almidones de yuca (*Manihot esculenta*) formando “adipatos diacetilados”. El uso de un diseño de experimento tipo Box-Wilson canónico, permitió variar tres niveles de humedad en las materias primas (180, 220 y 260 g kg⁻¹), tres niveles de reactivo (4, 11 y 18g kg⁻¹) y tres velocidades del tornillo (100, 130 y 160rpm). Estos investigadores usaron como parámetro de medición de la gelatinización del almidón los índices de absorción y solubilidad en agua, los cuales se compararon por modelos de superficie de respuesta. Encontraron que al aumentar la concentración de reactivo aumentaba la capacidad de retener agua; esto debido a la mayor acetilación y que al disminuir la humedad al mínimo y aumentar las rpm, disminuía la retención del agua.

Nabeshima y Grossman reportaron, también en 2001 (Redes), el uso del extrusor de una sola flecha para sustituir con trimetafosfato sódico el almidón de yuca. Utilizaron también un diseño tipo Box-Wilson tipo canónico mediante el análisis de superficie de respuesta y regresión polinomial, el cual permitió variar en tres niveles la concentración de NaOH (0.0025, 0.0050 y 0.0075g kg⁻¹), en tres niveles la concentración de metafosfato (0.006, 0.009 y 0.012g kg⁻¹) y las temperaturas (60, 80 y 100°C). Estos investigadores usaron como parámetro de medición de la gelatinización del almidón los índices de absorción y solubilidad en agua. Reportaron que al aumentar el grado de sustitución aumentaba el índice de absorción de agua y disminuían el índice de solubilidad de la misma. Para los autores, la temperatura es una variable decisiva que influye disminuyendo la solubilidad en agua al aumentar el entrecruzamiento de la molécula de almidón.

Zurima y Pérez, en 2002, estudiaron la modificación del almidón de lenteja por microondas y por extrusión observando que ambos tratamientos reducen la disposición de fibra cruda,

humedad, azúcares reductores y proteína hasta en un 10% con respecto a las muestras crudas. Usaron como parámetro de medición de la gelatinización del almidón, los índices de absorción y solubilidad en agua.

II.4. LA EXTRUSIÓN TÉRMICOALCALINA DEL MAÍZ

La extrusión alcalina es una alternativa a la nixtamalización y consiste principalmente en moler el grano crudo y alimentar la harina producida en el extrusor por medio de un tornillo sinfín. El agua y la cal se añaden a las harinas crudas en forma de “lechada” (suspensión alcalina) y se mezcla mecánicamente hasta obtenerse un tamaño de partícula húmeda homogéneo. Posteriormente, se suministra al extrusor por medio de un alimentador mecánico. La presión generada, el calor de la fricción y el calor aplicado por medio de resistencias o camisas de vapor causan un aumento de la temperatura que modifica la estructura química de los gránulos y los gelatiniza parcialmente obteniéndose masas o harinas precocidas, dependiendo de la cantidad de agua que contenga el producto. Las variaciones de la humedad y la temperatura determinan el grado de gelatinización del almidón y, en consecuencia, la textura y consistencia de los productos extrudidos o los elaborados con harinas extrudidas rehidratadas (Crowley, 1975; Durán-de-Bazúa, 1988; Durán y Guerra, 1980; Gómez y Aguilera, 1984; Sánchez-Tovar y col., 2004; Sánchez-Tovar y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2005).

Gómez y Aguilera (1983, 1984) encontraron que al disminuir la humedad durante la extrusión aumentaba el porcentaje de solubilidad de los almidones en agua, su capacidad de absorción de agua, además de su grado de gelatinización. En estas investigaciones se determinó la viscosidad en unidades “Brabender” y se representó el comportamiento fisicoquímico para la extrusión de almidón por medio de un modelo de superficie de respuesta.

Se han publicado modelos reológicos para masas de maíz a humedad baja e intermedia (Mackey y Ofoli, 1990). Se obtuvieron utilizando un reómetro capilar modelo Rosand RH7-2. El modelo reológico, extraordinariamente complejo, incluye parámetros como la energía de activación, el peso molecular promedio y más de 20 variables a determinar lo que lo convierte en poco práctico para su uso industrial; ya que estas variables, deben determinarse cada vez que se desee aplicar.

Los extrusores son reactores continuos en los que el tiempo de residencia depende de la geometría de la flecha y de la rapidez con la que empuje el material hacia fuera del extrusor. Al igual que en otros reactores continuos, el roce o esfuerzo cortante entre los materiales del extrusor en contacto con los polímeros proporciona calor y produce cambios en su viscosidad. En un reactor de tipo 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 la siguiente ecuación (Levenspiel, 1982; 1998; Pravisani y col., 1985; Ríaz, 1998):

$$C_i = C_{oi} e^{(-t/\tau)} \quad (2.1.1)$$

donde

C_i = Concentración de cada componente reaccionante al tiempo t

C_{i0} = Concentración en la alimentación

t = Tiempo en que se mide la reacción

t_r = Tiempo de residencia

$t < t_r$

$$t_r = \frac{V_r}{FV}$$

(2.1.3)

donde

V_r = volumen del reactor

FV = flujo volumétrico

Con base en esta revisión bibliográfica, a continuación se presenta la metodología seguida en esta investigación para alcanzar las metas planteadas en el primer capítulo.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para determinar la metodología de investigación, así como la experimental, se tomaron las tres metas de esta investigación mencionadas en la sección 1.4 del capítulo 1 y se detallan a continuación. En la Figura 3.1 de la página siguiente se muestra un diagrama de bloques de los experimentos realizados.

III.1. METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA PRIMERA META, ESTUDIOS VISCOAMILOGRÁFICOS

III.1.1. Materiales

Se utilizó almidón comercial de maíz blanco tipo “tuxpeño”, conocido comercialmente como “Maizena” (96.2% de almidón, 0.8 % de proteína, 0.35% de ceniza, 0.0% grasa y el resto como humedad no higroscópica). La cantidad con la que se realizaron todos los experimentos fue seleccionada por muestreo simple (100 muestras aleatorias en 3 lotes) de las tolvas de producción continua de la empresa más grande existente en México, ubicada en la Ciudad de México.

Se utilizó agua desmineralizada obtenida en las instalaciones de los laboratorios de investigación del Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (Desarrollo de Tecnologías más Limpias) de la Facultad de Química de la UNAM. Se usó este tipo de agua con el fin de evitar la presencia de otros minerales que pudieran interferir con el estudio del efecto del hidróxido de calcio. Se utilizó hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con 98.5% de pureza (Spectrum C1116 Powder FCC, grado reactivo).

III.1.2. Equipo

Como reactor para estudiar los cambios provocados en los almidones por diferentes concentraciones de hidróxido de calcio se utilizó un viscoamilográfico marca Brabender, el cual es un instrumento que se utiliza para estudiar la viscosidad de fluidos biológicos en estado líquido o pastoso en relación con la temperatura. Este aparato es esencialmente un viscosímetro de torsión en el cual una solución o una suspensión se calientan uniformemente y a velocidad constante en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable. El calentamiento se realiza por medio de resistencias eléctricas sumergidas en un baño de aire y el enfriamiento se da por medio de un serpentín de agua fría. El equilibrio de temperaturas se logra por medio un termómetro regulador y un pirómetro que entran en el líquido lográndose así un calentamiento uniforme en todos los puntos del contenedor del fluido. Conforme aumenta la viscosidad del fluido, se ejerce torsión sobre un eje que contiene ocho agujas fijas. La torsión se transmite a un mecanismo electrónico y de éste a un graficador de donde se obtiene una curva de viscosidad contra tiempo y temperatura de proceso.

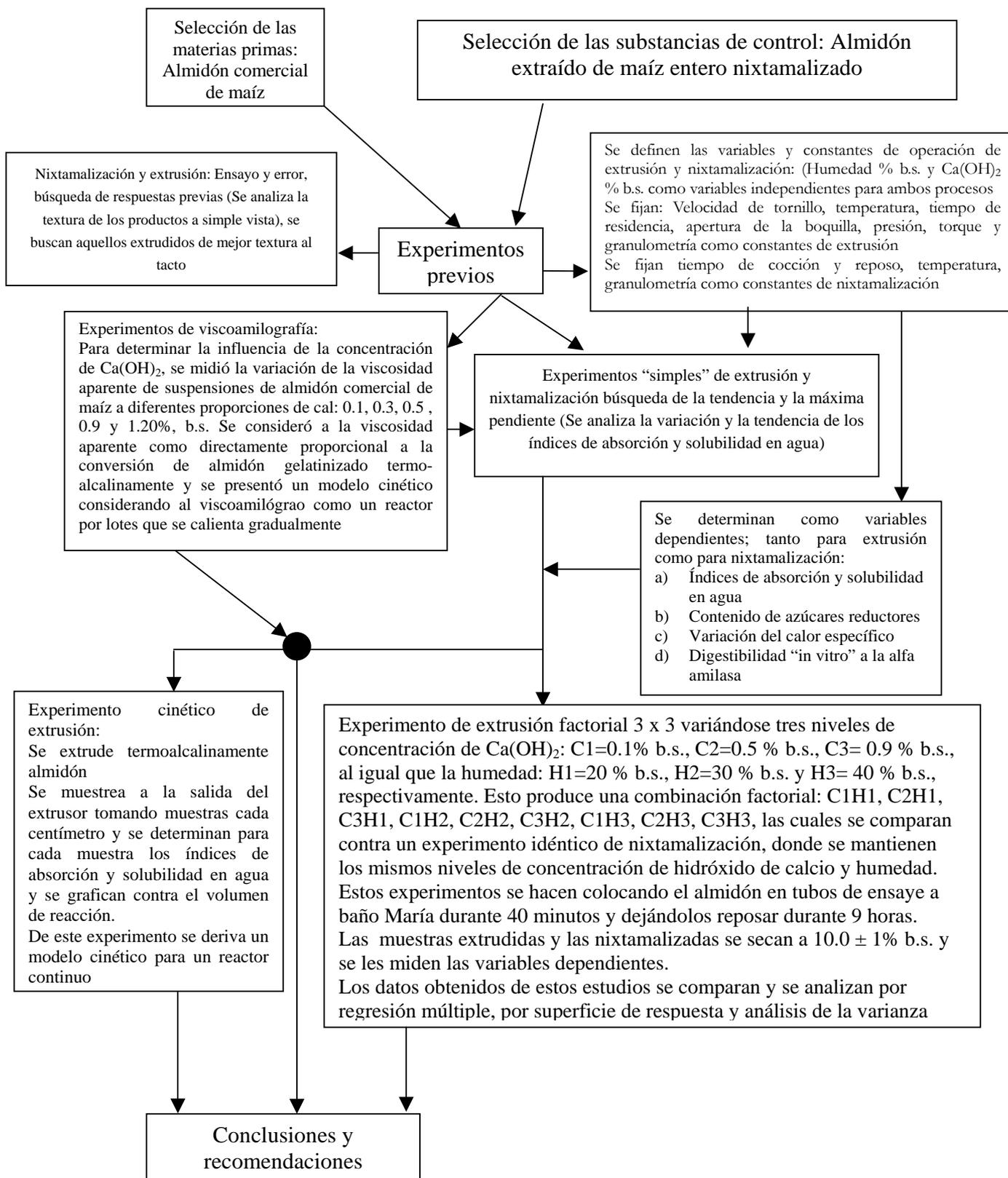
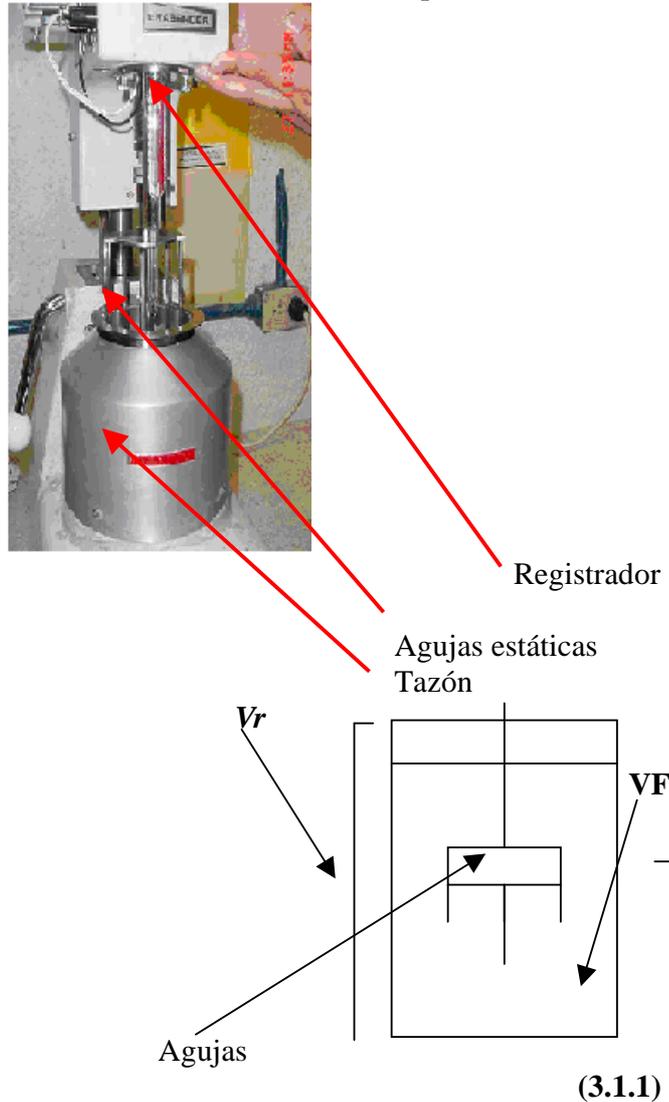


Figura 3.1. Diagrama de bloques de la metodología seguida

El principio de operación más detallado del viscoamilógrafo PT-100 ICC “Standard” No. 126/ISO7973 AACC No. 22-10, se muestra en el Capítulo IV y la Figura 4.1 del mismo capítulo. Se usó de acuerdo con el manual del fabricante (Muller, 1979). La Figura 3.2 muestra el viscoamilógrafo “Brabender” usado, puede verse que es un tazón de acero inoxidable el cual gira a velocidad fija de 45 rpm, en donde unas agujas fijas reciben la torsión, que se registra por medio de un mecanismo de relojería, la cual es interpretada y dibujada por un graficador en unidades “Brabender” de viscosidad aparente.



$$VF = j Vr$$

donde

VF = Volumen del fluido

Vr = Volumen del reactor

j = Factor de proporcionalidad. $0 < j < 1$

Figura 3.2. Fotografía y esquema del viscoamilógrafo “Brabender”

III.1.3. Proceso

Para este estudio, se tomó únicamente como variable independiente la concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , la cual se varió linealmente (0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.20% b.s). Las demás condiciones de operación se mantuvieron constantes. Se pesaron muestras de 45gramos, por duplicado, de almidón comercial de maíz y se les añadió la cantidad de cal respectiva. Se hidrataron con 500 mL de agua desmineralizada dentro del recipiente del viscoamilógrafo. La velocidad de agitación se mantuvo en 45 rpm. El aumento de temperatura se hizo a razón de $1.5^\circ\text{C min}^{-1}$. Estas muestras fueron marcadas como M1, M2, M3, M4, M5, M1-1, M2-1, M3-1, M4-1, M5-1, respectivamente, siendo la segunda serie de muestras, el duplicado. Las muestras de concentración cero (controles sin calcio), fueron marcadas como Testigo T-1 y Testigo T-2.

III.1.4. Métodos analíticos

Las variables dependientes medidas directamente de las gráficas de las curvas resultantes impresas por el aparato fueron: La viscosidad máxima aparente en unidades Brabender (unidades arbitrarias que no tiene conversión a centipoises), el tiempo de cocción y la temperatura máxima durante el tiempo de cocción. Se analizaron según la metodología del fabricante.

III.1.5. Modelación cinética

Se desarrolló un modelo cinético tipo Arrhenius, que describe el efecto de la concentración inicial de hidróxido de calcio sobre la gelatinización de los almidones de maíz con respecto de la temperatura para calcular las constantes cinéticas y la energía de activación.

Para la segunda meta, que se refiere a la determinación de la cinética de gelatinización de las fracciones almidonosas de *Zea mays*, para las condiciones más adecuadas de humedad y concentración de hidróxido de calcio, en un sistema de extrusión específico, que dé almidones gelatinizados similares a sus contrapartes nixtamalizadas, se montaron las metodologías que se detallan abajo, usando los mismos materiales descritos en el inciso anterior.

III.2. METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA SEGUNDA META, CINÉTICA DE GELATINIZACIÓN POR EXTRUSIÓN

III.2.1. Materiales

Se emplearon los mismos materiales que para el punto III.1.1.

III.2.2. Equipo

El extrusor empleado fue un equipo diseñado y construido por el personal técnico del CIATECH, un Centro SEP-Conacyt, ubicado en Chihuahua, Chih., México, basado en una

investigación a escala de laboratorio (Durán, 1978). Era originalmente de tipo autógeno (generaba su propio calor por la fricción ejercida por el flujo de las masas en el interior del extrusor y al pasar a través de la boquilla, pero no ofrecía un régimen permanente. Es un sistema a escala de banco y tiene una sola flecha con una boquilla cónica a la salida que regula la presión al interior (ver Figuras 3.2, 3.3 y 3.4). Fueron construidos dos equipos, uno a escala de banco y uno a escala semi-industrial. Los planos detallados de construcción fueron elaborados en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI, dependiente de la Secretaría de Educación Pública (SEP). El CIATECH desapareció al final del sexenio correspondiente a 1982-1988. El segundo centro CIDESI, se mudó a la ciudad de Querétaro. El extrusor a escala de banco se modificó para esta investigación por medio de los siguientes aditamentos. Le fueron adaptadas dos resistencias de banda, controladas por “termopares”, termostatos y pirómetros electrónicos, construidos por “Electrónica México”, Modelo VII-301 CD. Se contaba con un tablero de control con botonera de arranque y paro para los sistemas, con objeto de mantener un control más uniforme de la temperatura, la velocidad rotacional y la alimentación. Este equipo, del tipo “Square-D”, cuenta con tres elementos, tres polos, 200 A, 250 V, catálogo-900-200 y motor abierto VAC trifásico, de 1500 rpm y una eficiencia promedio de 65%, de 10 HP.

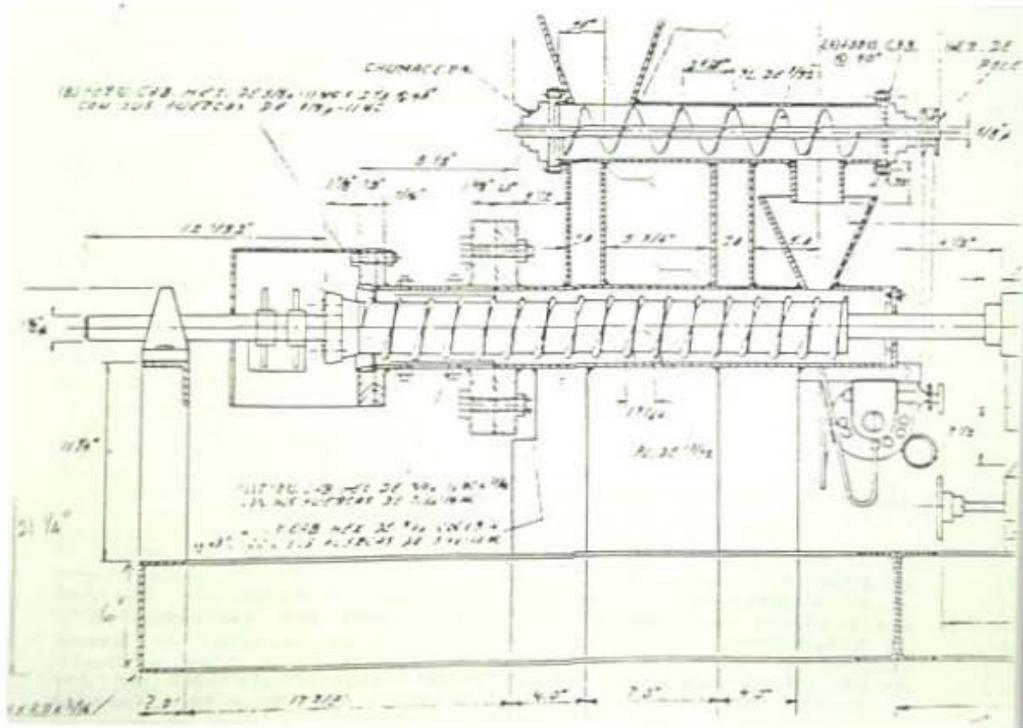


Figura 3.3. Interior del extrusor de bajo costo tipo CIATECH (Durán-de-Bazúa, 1988)

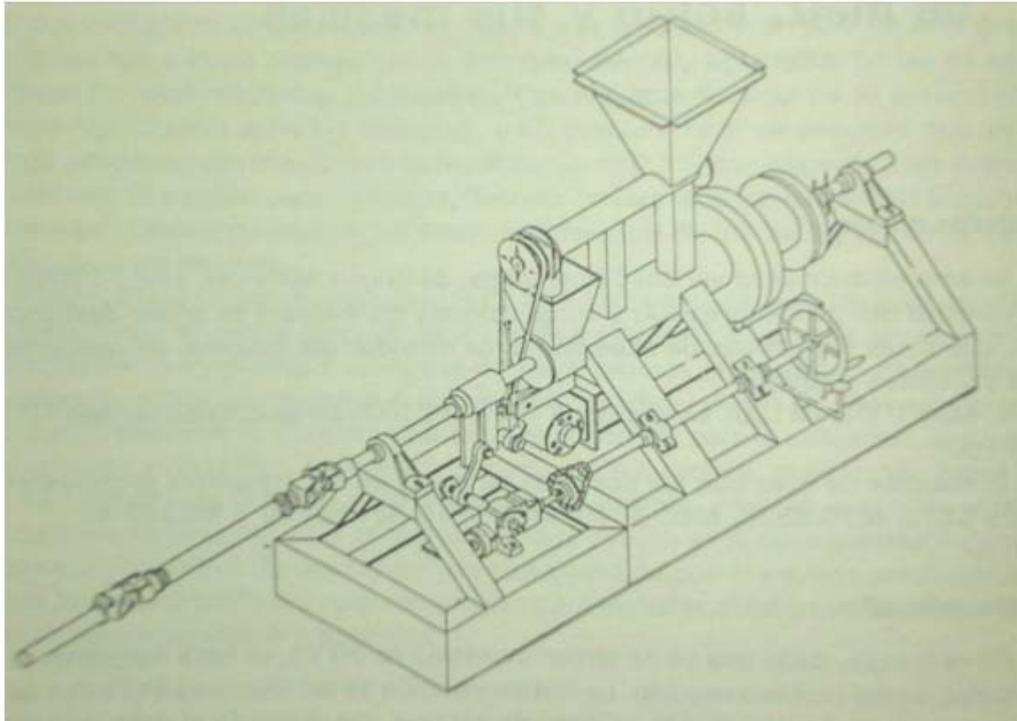


Figura 3.4. Exterior del extrusor de bajo costo tipo CIATECH (Durán-de-Bazúa, 1988)



Figura 3.5. Fotografía del extrusor CIATECH de bajo costo (Sánchez-Tovar, 2003)

III.2.3. Proceso

Se seleccionaron como variables para la extrusión termoalcalina de almidón de maíz las concentraciones de hidróxido de calcio y la humedad inicial de la materia prima. Si se define al extrusor como un reactor continuo, las condiciones de operación se mantienen constantes. La Tabla 3.1 presenta las variables empleadas.

Tabla 3.1. Condiciones de operación en el extrusor CIATECH

Velocidad rotacional del tornillo	750 rpm
Tiempo de residencia	7-10 segundos medidos con cronómetro y proporcional a la apertura de la boquilla
Apertura del dado	0 a 15 mm
Flujo másico	70±0.5 kg h ⁻¹
Temperatura de extrusión	T ambiente a 110±0.5°C
Temperatura de precalentamiento	T ambiente a 60±0.5°C
Tamaño de partícula de almidón o fécula alimentada	Malla 40
Aditivos	Ninguno

Se realizaron estudios previos por ensayo y error y, posteriormente, experimentos bajo el diseño “Simplex”, midiéndose como variable dependiente a los índices de absorción y de solubilidad en agua para observar si los valores de los controles se incluían en el área experimental definida. Una vez que esto último fue comprobado, el diseño simplex se expandió a un diseño factorial 3 x 3 (Hartel y col., 1998; Legret y Divet, 1988; Routh y col., 1977). Los experimentos de ensayo y error se detallan en el Apéndice B.1. Se procedió a realizar las series de experimentos de extrusión de las muestras en estudio. Se pesaron muestras de 5.0 kilogramos por duplicado. Para alcalinizar las muestras se pesó el hidróxido de calcio y se suspendió en agua para obtener una “lechada”. Se esparció la lechada para formar una mezcla almidón de maíz-cal, la cual se homogeneizó en una mezcladora helicoidal marca “Komax” para tener un contenido uniforme de humedad (20, 30 y 40% b.s.) y las concentraciones finales de Ca(OH)₂ antes de extrudir (0.1, 0.5, 0.9% b.s.), respectivamente. Las muestras se extrudieron a una temperatura de 110±0.5°C y a un flujo de alimentación de 70 ± 0.5 kg h⁻¹, que es el punto óptimo de operación al cual se produce harina para hacer “tortillas” por extrusión termoalcalina (Sánchez-Tovar, 1993). Las muestras extrudidas fueron secadas a 10.0±0.5% de humedad, b.s., y se molieron a malla 40 como lo indica la Norma Oficial Mexicana para harinas de maíz nixtamalizado (NOM, 2003). Para conservarse, se almacenaron las harinas en bolsas de polietileno negro a 4°C de temperatura. Las variables independientes se codificaron de la siguiente manera:

Cn= % Ca(OH) ₂ b.s.	C1= 0.1% Ca(OH) ₂ b.s.	H1= 20% HUMEDAD b.s.
	C2= 0.5% Ca(OH) ₂ b.s.	H2= 30% HUMEDAD b.s.
H= % HUMEDAD b.s.	C3= 0.9% Ca(OH) ₂ b.s.	H3= 40% HUMEDAD b.s.

El diseño experimental se codificó de la siguiente manera:

C1H1	C2H1	C3H1
C1H2	C2H2	C3H2
C1H3	C2H3	C3H3

Cada uno de los diseños experimentales se corrió por duplicado y cada muestra se analizó por quintuplicado. Los resultados se ajustaron a un modelo cuadrático del tipo:

$$Y = b_0 + b_1 C + b_2 H + b_3 C^2 + b_4 H^2 + b_5 C H + e \quad (3.1)$$

Por medio de regresión múltiple, donde Y es la variable dependiente o respuesta medida.

Al sustituirse valores en la ecuación 3.1 se obtiene una gráfica en un plano del tipo superficie de respuesta, como el que se muestra en la Figura 3.5. Los resultados fueron analizados por medio del análisis de la varianza y del coeficiente de regresión R^2 .

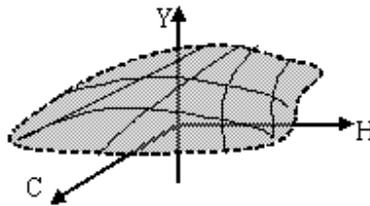


Figura 3.6. Gráfica de una superficie de respuesta para una ecuación cuadrática del tipo: $Y = b_0 + b_1 C + b_2 H + b_3 C^2 + b_4 H^2 + b_5 C H + e$ (donde H es la humedad, C es la concentración y Y es la variable dependiente)

Al modelo anterior se le aplicó además el análisis de la varianza como prueba de diferenciación entre los datos siguiendo la metodología de Pedrero y Pangborn (1989).

III.2.4. Experimento cinético

Una vez determinadas las condiciones de operación en el extrusor (humedad, 40.0% b.s y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0.3% b.s., interpoladas entre C1H3 y C2H3), se corrió un experimento de extrusión de almidón de maíz el cual consistió en detener súbitamente el extrusor y retirar la flecha con el dado cónico conteniendo el producto extrudido. El producto fue muestreado cada centímetro a lo largo de la geometría y se le determinó el índice de absorción de agua, como una medida indirecta de la conversión química, interpretada como gelatinización parcial del almidón.

El experimento fue repetido por quintuplicado y sus resultados se muestran en el Apéndice B. Con los resultados de estos experimentos se buscó un modelo matemático que pudiera representarlos.

III.2.5. Controles de comparación

III.2.5.1. Almidón comercial nixtamalizado

Se utilizó la misma materia prima ya descrita arriba. Se simuló su nixtamalización tomando como base los resultados de los estudios simplex mostrados en el Apéndice B.1 para las muestras extrudidas (Hartel y col., 1998; Legret y Divet, 1988). Se seleccionaron como las variables en la “nixtamalización” comercial de almidón de maíz las mismas que para la extrusión (concentración de hidróxido de calcio y contenido inicial de humedad). Se utilizó un sistema de cocimiento intermitente o por lote (“batch”, en inglés), que no presenta tantas variables como un extrusor, que es un sistema más complejo (Sánchez-Tovar y col., 2001). Se pesaron muestras de 70 gramos, por duplicado, las cuales fueron colocadas en probetas de 250 mL y tapadas con una esfera de vidrio del diámetro del tubo. Para alcalinizar las muestras se pesó el hidróxido de calcio y se disolvió en agua para obtener una “lechada”. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con respecto al almidón de maíz antes de nixtamalizar fueron de 0.1, 0.5 y 0.9% b.s., respectivamente. La humedad final de las mezclas de maíz y cal fueron de 30, 40 y 50% b.s., respectivamente. Las variables independientes se codificaron de la misma manera que para la extrusión y se tuvo el mismo diseño de experimentos, analizándose estadísticamente de la misma manera.

Cada muestra fue mezclada vigorosamente durante diez minutos con un agitador de vidrio. Los tubos de ensaye con las muestras fueron sometidos a “baño maría” ($92 \pm 0.5^\circ\text{C}$), durante 45 minutos y, posteriormente, se dejaron reposar durante 12 horas para simular las condiciones en que se hace la “nixtamalización tradicional” del maíz en los molinos mexicanos. Una vez transcurrido este tiempo, las muestras se secaron a $10.0 \pm 0.5\%$ de humedad b.s. y se molieron a un tamaño de partícula de malla 40 como lo indica la Norma Oficial Mexicana para harinas de maíz nixtamalizado (NOM, 2003).

Para conservarse, se almacenaron las harinas en bolsas pequeñas de polietileno negro y a 4°C de temperatura para su posterior análisis. Si hubiera variación dentro de los intervalos de variables propuestas se hace una ampliación del análisis “simplex” a un diseño de tipo factorial 3×3 , es decir, de 9 combinaciones, como se hizo con los experimentos de extrusión. Las féculas de maíz cruda y cocida sin hidróxido de calcio, también se tomaron como controles. Las muestras control fueron marcadas como ANC1H1, ANC2H1, ANC3H1, ANC1H2, ANC2H2, ANC3H2, ANC1H3, ANC2H3, ANC3H3 y ANCr, ANCo, respectivamente, siendo las dos últimas los controles de almidón crudo y cocido con agua sin hidróxido de calcio, respectivamente.

El diseño experimental se codificó de la siguiente manera:

ANC1H1	ANC2H1	ANC3H1
ANC1H2	ANC2H2	ANC3H2
ANC1H3	ANC2H3	ANC3H3

III.2.5.2. Almidón de granos enteros de maíz nixtamalizado

Se elaboró un control de almidón obtenido a partir de maíz entero “nixtamalizado” de endospermo duro dentado blanco tipo “tuxpeño”, seleccionado por muestreo simple con reposición de una bodega de los Almacenes Nacionales de Depósito de la Ciudad de Morelia, Michoacán, México, donde puede considerarse como una población finita, pero enorme.

Se tomaron muestras de 1 litro cada una en bolsas de polietileno de diferentes partes de las “pilas” de maíz y se cuidaba que no tuvieran granos con defectos (rotos picados, cortos o de otras variedades en más del 1.0%), en peso.

De ser así, las muestras eran regresadas hasta coleccionar 100 muestras en un costal. Del costal de maíz, se tomaron 20 muestras de 50.0g cada una, bajo el mismo criterio de defectos y se conjuntaron en muestras de 1.0kg. Los granos enteros fueron analizados para que cumplieran con la NOM-187-SSA1/SCFI-2001 (NOM, 2003). Las metodologías de análisis se describen en el Apéndice B.2 y en el Apéndice C.

Estas muestras de granos enteros de maíz se nixtamalizaron por el método tradicional (cocimiento durante 45 min, rebosando de agua y con una concentración de hidróxido de calcio del 1.0% b.s., reposando durante 14 horas y lavando para eliminar el agua residual o “nejayote”). A los granos limpios libres de “nejayote” se les extrajo el endospermo harinoso con un “bisturí”.

El endospermo se molió y secó en estufa a baja temperatura, 60°C, hasta alcanzar una humedad de 10.00±1.0% b.s., y obtener una harina fina de malla 40 y se dejó secar. Se elaboraron tres corridas de este testigo, las cuales fueron etiquetadas como MN1, MN2 y MN3, respectivamente.

Se determinaron los índices de absorción y solubilidad en agua del almidón extraído de granos de maíz enteros “nixtamalizados”, los cuales se incluyen en la Tabla B.1.3, así como las Tablas B.2.1 y B.4.1 a 4 del Apéndice B.1. En el análisis estadístico de estos datos se observa que no hay diferencia significativa entre los valores obtenidos para las muestras analizadas al 5% de significancia. Por esta razón se consideró a esta sustancia como el control adecuado de comparación para definir las características del almidón de maíz “nixtamalizado”.

III.2.6. Métodos analíticos

III.2.6.1. Índices de absorción y solubilidad en agua

Los índices de absorción y solubilidad en agua se realizaron según el método de Anderson y col. (1969), modificado por Pérez y Rodríguez (1988), el cual se detalla en el Apéndice C.17, con el fin de medir de manera indirecta la producción de almidón de maíz gelatinizado termoalcalinamente.

III.2.6.2. Calorimetría diferencial de barrido

Se midió la variación del calor específico por medio de la metodología ASTM E1269, 99 (ASTM, 1999), que se detalla en el Apéndice C.20 (ASTM, 2005, Redes).

III.3. METODOLOGÍA PARA ALCANZAR LA TERCERA META, VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES EN LOS PRODUCTOS “NIXTAMALIZADOS” Y EXTRUDIDOS, COMO UNA MEDICIÓN DIRECTA DE LOS EFECTOS DE HIDRÓLISIS ALCALINA Y TERMOMECAÑICOS

III.3.1. Proceso

El análisis se llevó a cabo con las muestras obtenidas de los experimentos de extrusión termoalcalina descritos en el punto III.2.

III.3.2. Controles de comparación

Se tomaron como controles de comparación: Almidón comercial de maíz y almidón de granos de maíz nixtamalizados, tal como se describen en el punto III.2. La fécula de maíz cruda y sin tratar se tomó como un segundo control. La fécula “nixtamalizada” o bien extrudida al 40% de humedad b.s.; pero sin cal se consideró como un tercer testigo.

III.3.3. Métodos analíticos

Se utilizó el método para determinación de azúcares reductores. Se realizó según la metodología 80-60 de la AACC (1983), por reducción del ácido dinitrosalicílico, ADS, y que se detalla en el Apéndice C.18.

CAPÍTULO IV

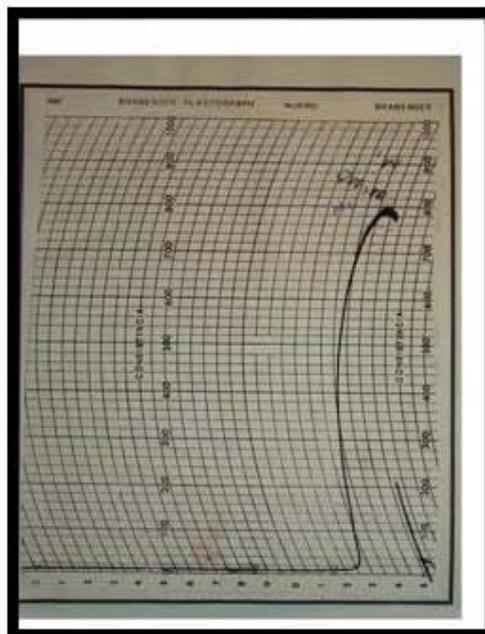
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. RESULTADOS DE LA PRIMERA META

IV.1.1. Resultados de los experimentos viscoamilográficos

Todos los resultados de este apartado se derivan del análisis de las gráficas de los viscoamilogramas originales que se muestran en el Apéndice A (Figuras A.1.1 a A.1.12). La Figura A.1.2 es un ejemplo de estos viscoamilogramas y aparece abajo como Figura 4.1. De ella, como de todas las de los apéndices se observa a simple vista que el fenómeno puede dividirse en dos etapas: Una primera, que es una línea recta horizontal pegada al eje x (tiempo en minutos), la cual probablemente corresponda a fenómenos de difusión de agua, aniones hidróxilo y cationes de calcio hacia el interior de los gránulos. Después, se llega a un instante en el que se inicia un aumento “brusco” de la viscosidad aparente, la cual se asemeja a una recta ascendente, hasta alcanzar un valor de viscosidad aparente máxima, la viscosidad máxima de gelatinización (en unidades “Brabender”). Durante esta última etapa se da la reacción de gelatinización de tipo termoalcalina. Inmediatamente, los valores de viscosidad comienzan a caer, hasta estabilizarse en una nueva línea horizontal. Durante esta etapa se da el fenómeno de retrogradación de los almidones. Este último fenómeno es totalmente indeseable en la industria de la masa, la tortilla y sus derivados.

Viscosidad aparente (U. Brabender)



Temperatura (Kelvin)

Figura 4.1. Viscoamilograma para 0.1% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para la muestra M1

Para esta investigación se consideraron únicamente las dos primeras etapas, que son las más importantes, considerando el valor máximo de la viscosidad.

IV.1.2. Primera etapa de la viscoamilografía

La primera etapa de la viscoamilografía toma un tiempo de 30.0 ± 5.0 minutos, a la cual se le considera como la etapa de transferencia de masa por difusión y de precalentamiento. La Figura 4.1a muestra los gránulos de almidón de maíz nixtamalizados termoalcalinamente. Pueden apreciarse unos gránulos más grandes que otros; pero todos conservan su forma, de tendencia a la forma esférica.



Figura 4.1a. Gránulos de almidón de maíz gelatinizados termoalcalinamente (microscopio óptico Omega-1350, 200x)

La Figura 4.2 muestra una posible relación del radio granular promedio. Es posible que en la capa formada entre R1 y R2, tienda a formarse cada vez más resistencia a la difusión y por lo mismo nunca se dé el 100% de gelatinización. Puede afirmarse que el hinchamiento de los gránulos reduce el espacio entre los mismos; de ahí que se dé el aumento de la viscosidad aparente.

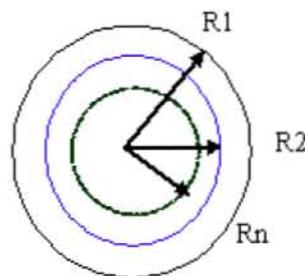


Figura 4.2. Relación de los radios en un gránulo de almidón completamente esférico

Podría decirse que en los primeros minutos existen los fenómenos de difusión de los iones hidroxilo OH⁻ y de los del catión calcio Ca⁺⁺, así como moléculas de agua que se difunden en el gránulo a través de los microporos y los microcapilares.

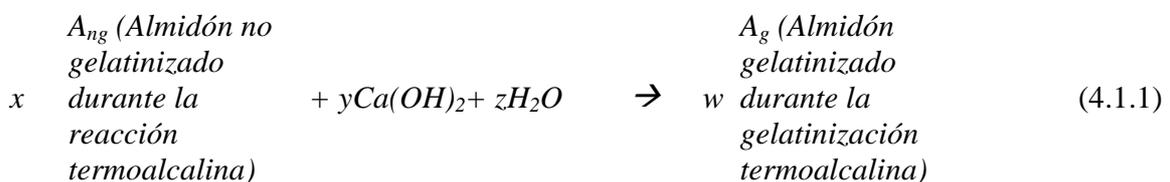
En la primera etapa de la gelatinización antes de sufrir hinchamiento, en el gránulo del almidón se forma una primera capa pregelatinizada de un espesor mínimo E = (R1-R2) y que, conforme se transforma por gelatinización termoalcalina, ofrece cada vez una mayor resistencia específica a la difusión.

IV.1.3. Segunda etapa de la viscoamilografía

Durante esta etapa puede afirmarse que el hinchamiento de los gránulos reduce el espacio entre los mismos; de ahí que se da el aumento de la viscosidad aparente. Una vez saturado y gelatinizado el radio más externo del gránulo, éste comienza a sufrir hinchamiento al continuar la absorción de agua e hidróxido de calcio. Este último puede ejercer dos efectos antagónicos que podrían entrar en equilibrio ya que es un ligando químico que tiende a frenar el hinchamiento o bien, por su tamaño atómico, tiende a espaciar las moléculas de almidón. Esto no puede afirmarse categóricamente y su demostración requeriría de otro proyecto de investigación.

Lo que puede observarse conforme la temperatura de los gránulos aumenta, es que los polímeros que conforman el gránulo de almidón sufren en sus zonas amorfas la llamada transición “vítrea”, que precede a la fusión de los “cristalitos”. Al mismo tiempo, durante la gelatinización, parte de la matriz almidonosa se contradifunde fuera del gránulo (especialmente la amilosa, ya que la amilopectina tiende a frenar este tipo de difusión conocida como lixiviación o “*leaching out*”, en inglés), a través de los microporos de la pared gelatinizada, deformada y semifundida, reaccionando con el agua, el Ca⁺⁺ y el OH⁻ que están en el medio acuoso. Estos fenómenos tienden a aumentar la viscosidad de la suspensión almidonosa, a la vez que comienza el aumento de la viscosidad aparente.

Para hacer un análisis cinético de la gelatinización termoalcalina se podría considerar al viscoamilógrafo como un reactor intermitente (“*batch*”, en inglés) en el que la desaparición de almidón es una función de la formación de almidón gelatinizado termoalcalinamente. Esto puede escribirse como:



Donde x, y, z, w son los respectivos coeficientes molares y pueden calcularse por la Ecuación

$$\text{Entrada de masa} = \text{Salida de masa} + \begin{array}{l} \text{Desaparición} \\ \text{de almidón no} \\ \text{gelatinizado} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Formación almidón} \\ \text{sí gelatinizado} \\ \text{termoalcalinamente} \end{array} \quad (4.1.2)$$

De las Figuras A.1.1 a A.1.6, Apéndice A.1, se recolectó la primera serie de datos y de las Figuras A.1.7 a A.1.12, se recolectó la segunda serie de datos (de cada una de las series y por cada gráfica. Se consideró únicamente la parte de los viscoamilogramas donde hay aumento de la viscosidad; es decir, la zona de la curva aparente; ya que las coordenadas “Brabender” son curvilíneas y fueron transformadas a coordenadas cartesianas). Se graficó la viscosidad máxima aparente en unidades “Brabender” *versus* la evolución de la temperatura en escala “Kelvin”. Se midió, además, el tiempo en minutos en el que se alcanzó la viscosidad máxima aparente en unidades “Brabender”. Los datos de ambas series se promediaron y se muestran en la Figura 4.3 que presenta una primera fase plana y una segunda fase compuesta por multi-etapas o transiciones.

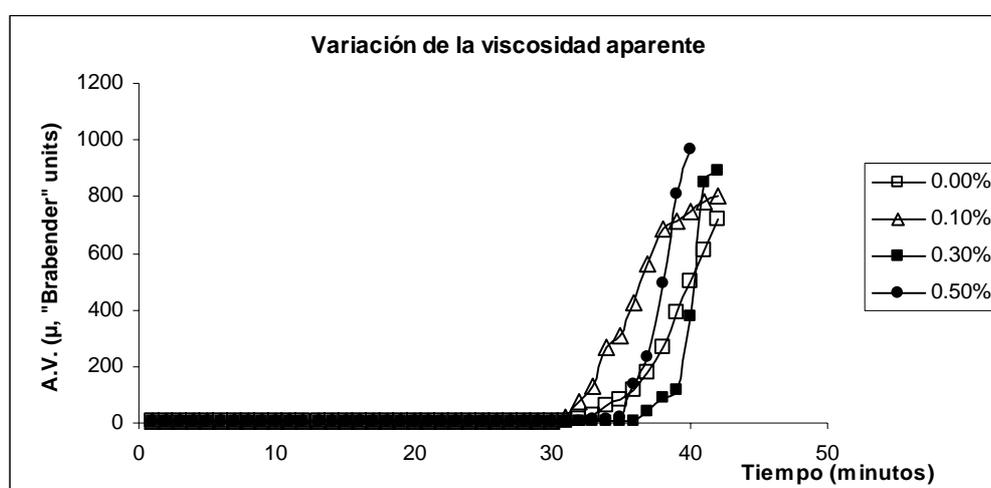


Figura 4.3 Viscoamilograma típico (Gráfica cartesiana: se observan dos etapas una primera que es una línea recta horizontal y una segunda ascendente que muestra diferentes transiciones)

La Figura 4.4 muestra la gráfica que incluye únicamente la etapa de la viscoamilografía en que se produce un aumento de la viscosidad. Salvo en el testigo que presenta 2 etapas, las otras cinco muestras muestran tres transiciones. Una primera de poca pendiente, una segunda con tendencia a una línea recta y por último una cima donde se presenta el valor máximo de viscosidad aparente.

Para cada una de las series de datos, se graficó el logaritmo natural de la viscosidad aparente (U. “Brabender”) *versus* el inverso de la temperatura (K) para obtener una relación tipo Arrhenius, las que se muestran en la Figuras 4.5 a 4.10.

La ecuación que representa estas relaciones sería:

$$\ln \mu = -E_a/Rg (1/T) + \ln \mu_0. \quad (4.1.3)$$

donde

$\ln \mu$ = Logaritmo natural de μ (viscosidad aparente U. “Brabender”)

$\ln \mu_0$ = Logaritmo natural de la viscosidad inicial, es la ordenada al origen (U. "Brabender")
 E_a = Energía de activación ($J \text{ gmol}^{-1}$)
 R_g = Constante Universal de los gases ($J \text{ gmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
 T = Temperatura, K

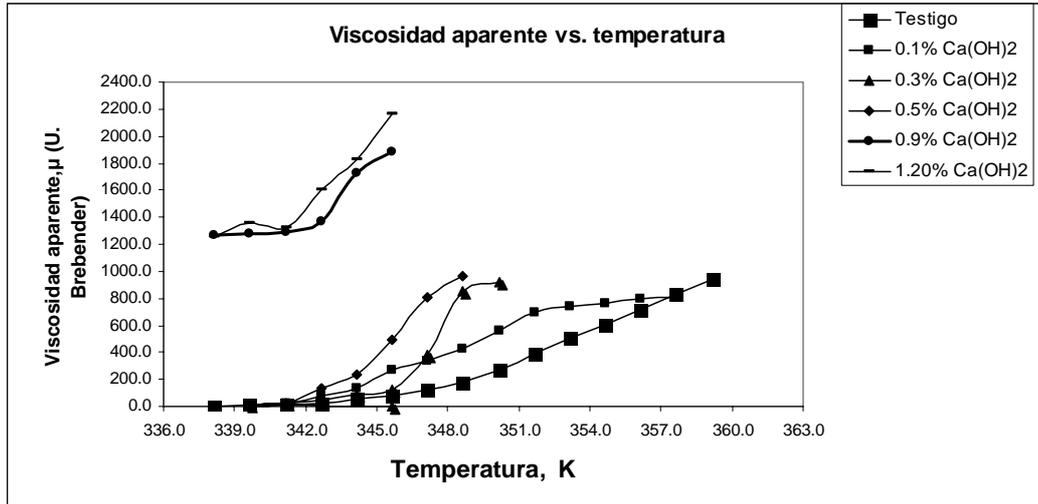


Figura 4.4. Viscoamilogramas para almidón de maíz "Blanco -Tuxpeño", *Zea mays* (Gráfica cartesiana de la segunda etapa de la viscoamilografía que muestra diferentes transiciones)

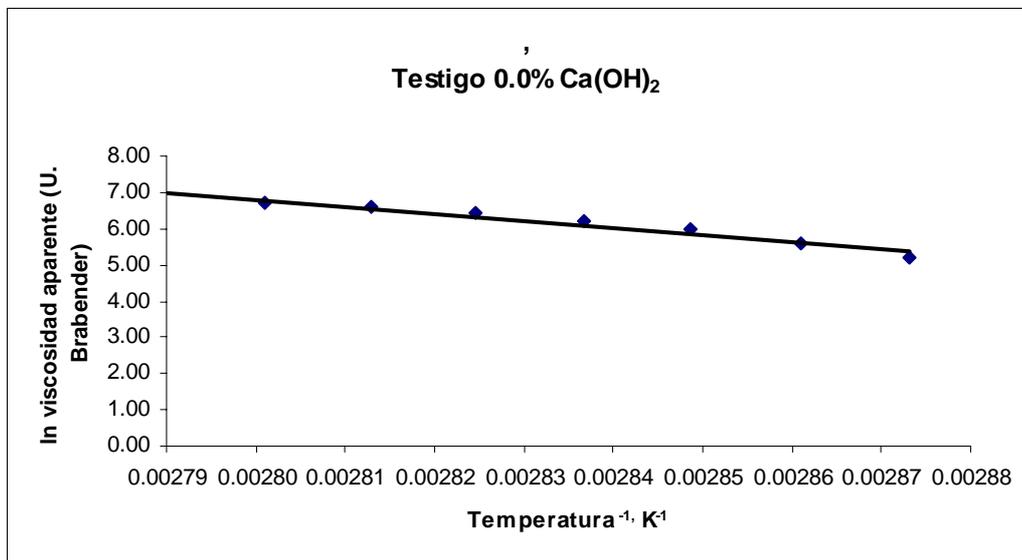


Figura 4.5. Relación tipo Arrhenius (\ln viscosidad aparente en unidades "Brabender" versus temperatura, K), 0.0% $\text{Ca}(\text{OH})_2$

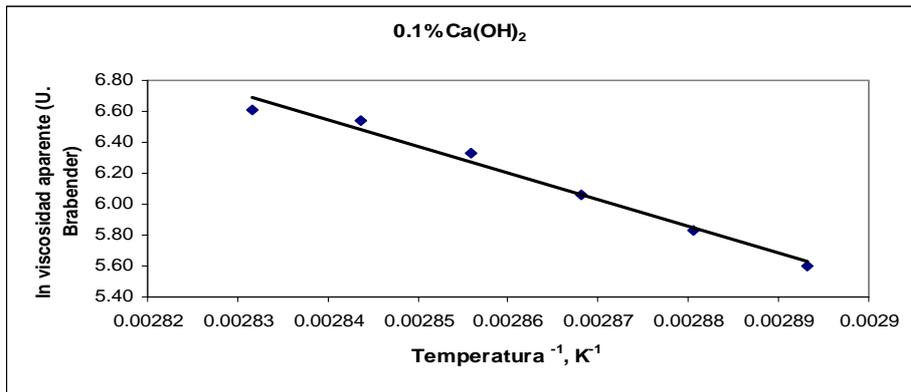


Figura 4.6. Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” versus temperatura, K), 0.1% Ca(OH)₂

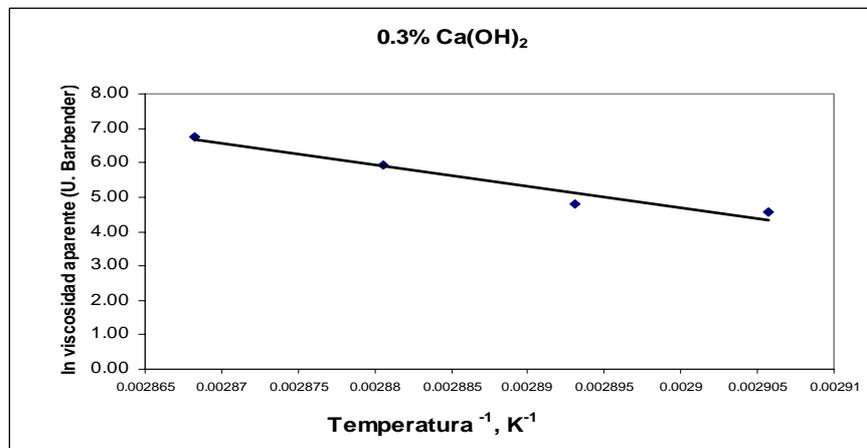


Figura 4.7. Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” versus temperatura, K), 0.3% Ca(OH)₂

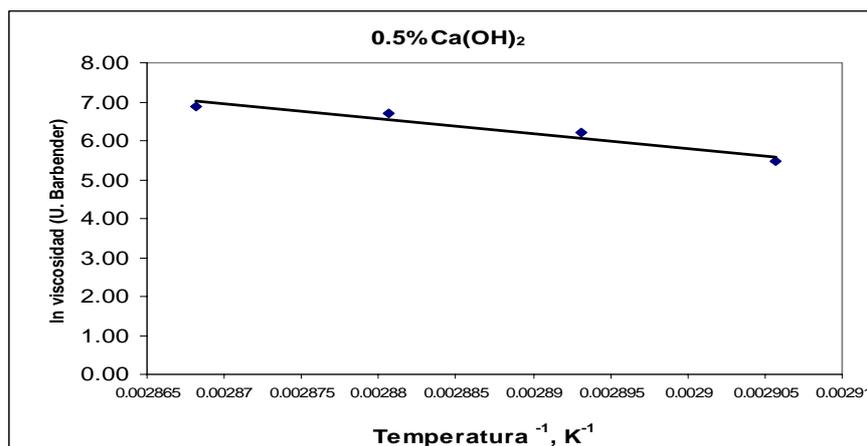


Figura 4.8. Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” versus temperatura, K), 0.5% Ca(OH)₂

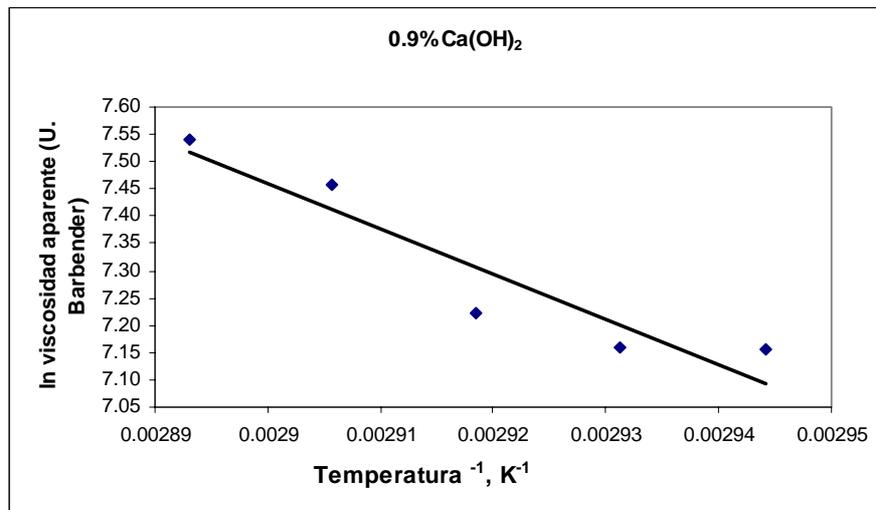


Figura 4.9. Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” *versus* temperatura, K), 0.9% Ca(OH)₂

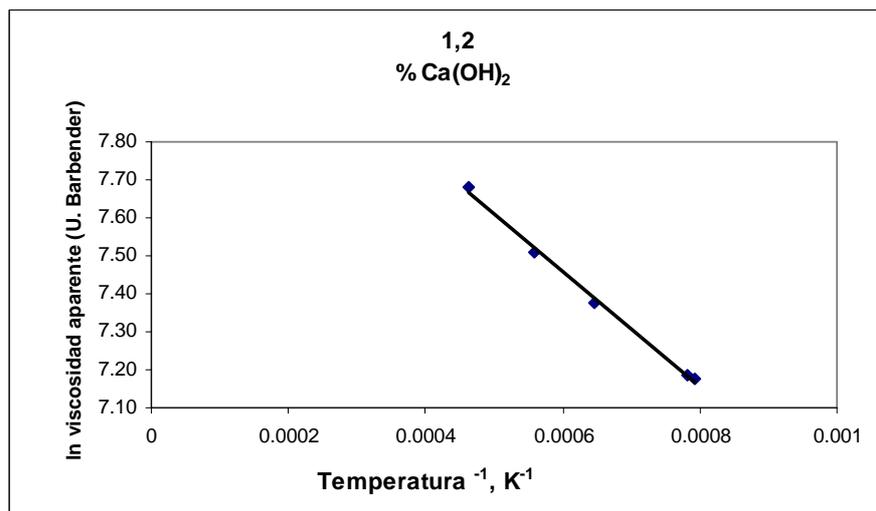


Figura 4.10. Relación tipo Arrhenius (ln viscosidad aparente en unidades “Brabender” *versus* temperatura, K), 1.20% Ca(OH)₂

La relación de las energías de activación y las ecuaciones obtenidas de las Figuras 4.5 a 4.10 se muestra en la Tabla 4.1.

Para poder observar mejor este comportamiento, en la Figura 4.11 se graficaron la energía de activación (J gmol⁻¹) *versus* la concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ %b.s. Esta gráfica muestra una forma parecida a una “V”. A muy baja concentración de hidróxido de calcio, 0.1%, de la energía de activación se mantiene (sube ligeramente con respecto al testigo o control) y después desciende bruscamente, para continuar ascendiendo en forma de curva asintótica.

Tabla 4.1 Ecuaciones de regresión para las Figura 4.5 a 4.10

Concentración Ca(OH) ₂ % b.s.	Ecuación $\ln\mu = -Ea/Rg(1/T) + \ln\mu_0$	Energía de activación Ea (J gmol ⁻¹)	Constante Universal e los gases R (Jgmol ⁻¹ K ⁻¹)	R ² Coeficiente de correlación	Ecuación
0.0	$\ln\mu = -19139(1/T) + 60.278$	-159129.30	8.3144	0.9562	4.1.3a
0.1	$\ln\mu = -17361(1/T) + 55.853$	-144346.29	8.3144	0.9679	4.1.3b
0.3	$\ln\mu = -57812(1/T) + 172.43$	-480672.09	8.3144	0.7565	4.1.3c
0.5	$\ln\mu = -37876(1/T) + 115.65$	-314916.21	8.3144	0.8961	4.1.3d
0.9	$\ln\mu = -8333.3(1/T) + 31627$	-69286.389	8.3144	0.8829	4.1.3e
1.20	$\ln\mu = -1519.11(1/T) + 8.370$	- 12630.490	8.3144	0.9964	4.1.3f

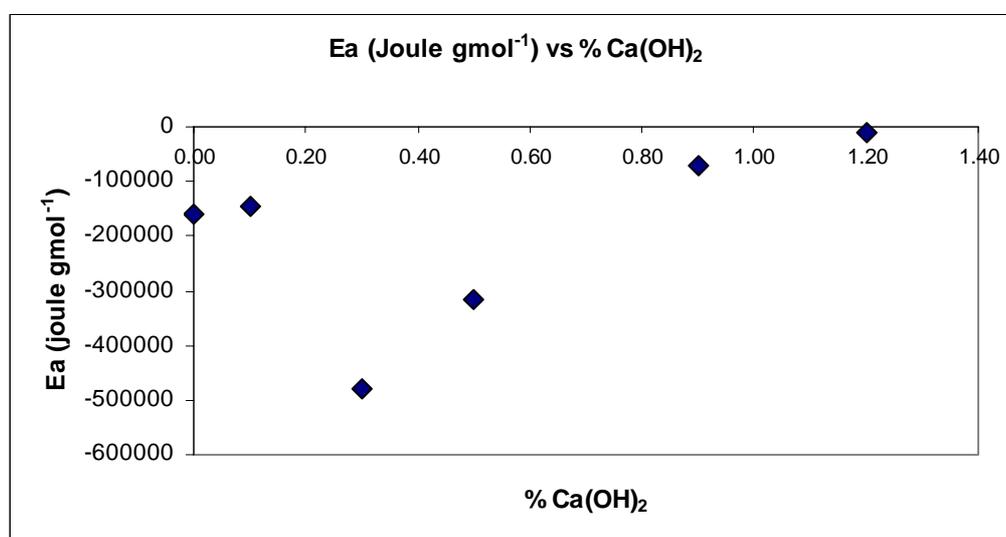


Figura 4.11. Energía de activación (J gmol⁻¹) versus concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ b.s.

Puede observarse que a una concentración de hidróxido de calcio baja, 0.1% Ca(OH)₂ b.s., la energía de activación cae abruptamente. A partir de 0.3% de concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ b.s. comienza a subir con tendencia a una curva asintótica. Es posible que a muy bajas concentraciones el Ca⁺⁺ y el agua apenas modifiquen la estructura de los gránulos de almidón sin influir demasiado en la disrupción de los mismos, lo que hace que el comportamiento reológico y químico de estos productos, como se verá después, sean similares a los de sus contrapartes nixtamalizadas. A partir de 0.3% de concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ b.s., pareciera que se hubiera vencido una resistencia para comenzar otra dando un comportamiento reológico completamente diferente.

Los datos promedio de la Tabla A.2.3 del Apéndice A.2 se muestran en forma gráfica en las Figuras 4.12 a 4.14 y representan el efecto de la concentración de hidróxido de calcio para alcanzar la máxima viscosidad aparente, el tiempo en que se alcanza la máxima viscosidad aparente y la temperatura en que se alcanza la máxima viscosidad aparente respectivamente.

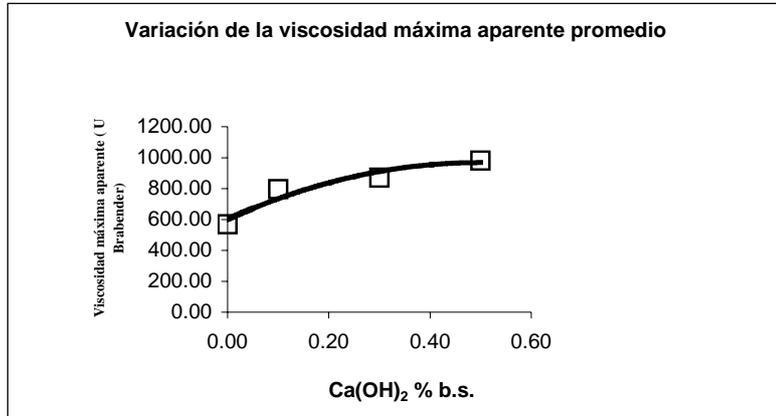


Figura 4.12. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para alcanzar la máxima viscosidad aparente

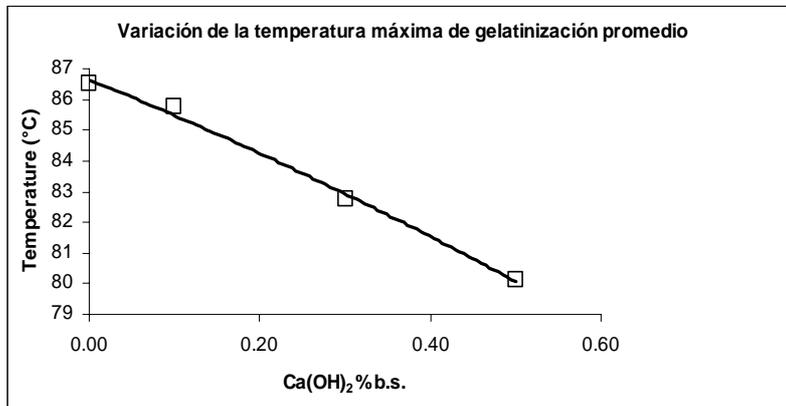


Figura 4.13. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para la variación de la temperatura medida al alcanzar la máxima viscosidad aparente

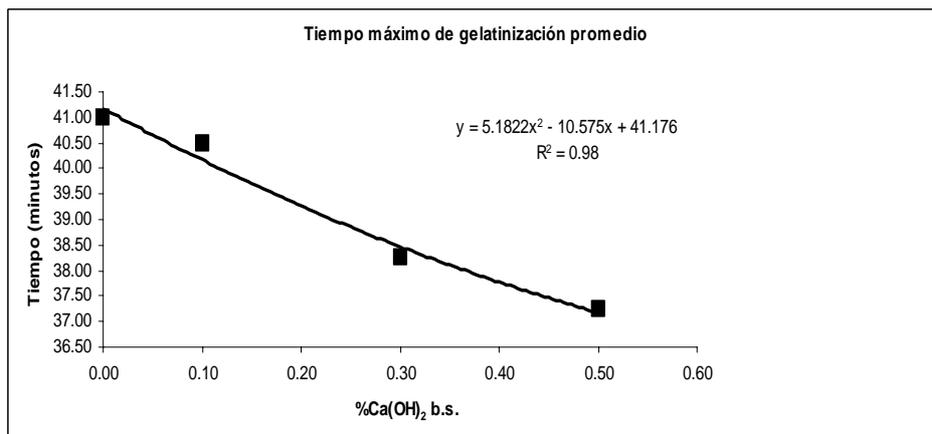


Figura 4.14. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio para el tiempo medido para alcanzar la máxima viscosidad aparente

En ellas puede observarse directamente que, al aumentar la concentración de hidróxido de calcio, se tiene curva ascendente de la forma $\mu = 1487.6 [\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 + 1476.6 [\text{Ca}(\text{OH})_2] + 601.42$, con un ajuste $R^2 = 0.9729$, lo cual muestra una tendencia asintótica. También se observa que al aumentar la concentración de cal, la temperatura para alcanzar la máxima viscosidad disminuye siguiendo una curva de la forma $T(\text{K}) = -3.8165 [\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 - 11.236 [\text{Ca}(\text{OH})_2] + 86.643$ y con un ajuste $R^2 = 0.99950$, la cual también muestra una tendencia asintótica. Por último el tiempo para alcanzar la viscosidad máxima de gelatinización disminuye al aumentar la concentración inicial de cal, siguiendo una curva de la forma: $t = 5.1822 [\text{Ca}(\text{OH})_2]^2 - 10.575 [\text{Ca}(\text{OH})_2] + 41.76$, con un ajuste $R^2 = 0.9800$, con una tendencia asintótica también.

IV.1.4. Modelo con respecto al tiempo

Las zonas rectilíneas de transición de la Figura 4.4 pueden graficarse también con respecto al tiempo. La Figura 4.15 presenta esta información. De estas líneas podría presuponerse una cinética de primer orden aparente, la cual daría lugar a un modelo matemático. A continuación se presenta el desarrollo de este modelo matemático para un reactor intermitente o por lotes.

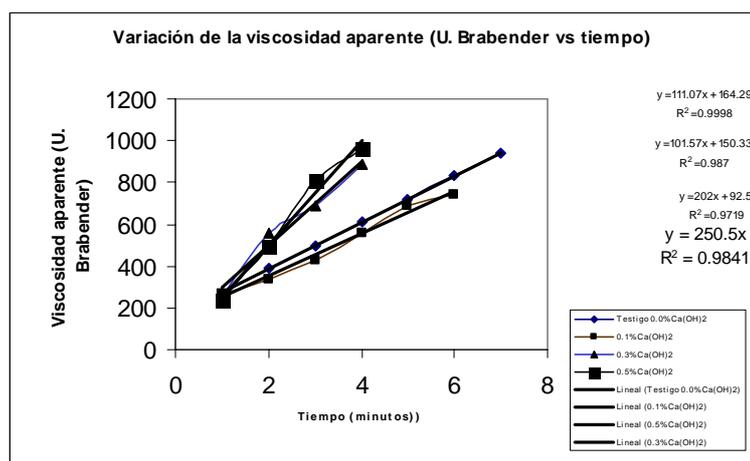


Figura 4.15. Viscosidad aparente (Unidades Brabender versus tiempo en minutos)

Si se consideran los términos de entrada y salida al viscoamilógrafo como cero, la ecuación 4.1.2 se reduce a la forma de la ecuación 4.1.3:

$$\begin{array}{l} \text{Desaparición del almidón no gelatinizado, gmol/tiempo} \\ \text{Aparición de almidón si gelatinizado termoalcalina-mente, gmol/(tiempo * Volumen de fluido)} \\ \text{Volumen de fluido} \end{array} = -rA * VF = * \text{Volumen de fluido} \quad (4.1.4)$$

$$Ag(\text{gmol} / \text{tiempo}) = \frac{dNa}{dt} = \frac{d[Nao \cdot (1 - Xa)]}{dt} = -Nao \frac{dXa}{dt} \quad (4.1.5)$$

donde

A_g = Masa de almidón gelatinizado
 N_{ao} = Moles de almidón iniciales
 N_a = Moles de almidón a cierto tiempo
 X_a = Conversión molar al tiempo t y

$$N_{ao} = \frac{(Masa.de.almidón.inicial, g)}{(Peso.molecular.del.almidón, g / gmol)} \quad (4.1.6)$$

$$X_a = \frac{N_{ao} - N_a}{N_{ao}} \quad (4.1.7)$$

Sustituyendo y definiendo

$$-r_A * VF = N_{ao} * \frac{dX_a}{dt} \quad (4.1.8)$$

Se obtiene despejando:

$$dt = \frac{N_{ao} * dX_a}{-r_A * VF} \quad (4.1.9)$$

y aplicando la integral definida:

$$r_A * VF \int_{t=0}^t dt = N_{ao} \int_{X_{ao}}^{X_a} dX_a$$

Se obtiene:

$$-r_A * VF * (t - t_0) = N_{ao}(X_a - X_{ao}) \quad (4.1.10)$$

Para resolver las ecuaciones anteriores se puede medir directamente el VF en el reactor, por geometría, y la concentración inicial de almidón sin gelatinizar N_{ao} (gmol/volumen de fluido) se puede calcular dividiendo la masa inicial del almidón sin gelatinizar entre su peso molecular y dividirlo entre el volumen medido.

Para resolver el modelo es necesario hacer la siguiente suposición:

- a) La variación de la conversión ($X_a - X_{ao}$) es directamente proporcional al aumento de la viscosidad aparente μ (en unidades "Brabender") durante el período de gelatinización.

$$(X_a - X_{ao}) = g * (\mu - \mu_0) \quad (4.1.11)$$

donde g es un factor de proporcionalidad (1/unidades Brabender).

Substituyendo la ecuación 4.1.11 en la ecuación 4.1.10, se obtiene:

$$-rA * VF * (t - t_0) = N_{ao} * g * (\mu - \mu_0) \quad (4.1.12)$$

Y, despejando:

$$\frac{-rA * VF * (t - t_0)}{N_{ao} * g} = (\mu - \mu_0) \quad (4.1.13)$$

Si, $t_0 = 0$

y si se considera que:

$$-\frac{rA * VF}{N_{ao} * g} = a \quad (4.1.14)$$

$$\frac{-rA * VF * t}{N_{ao} * g} = at = (\mu - \mu_0) \quad (4.1.15)$$

Entonces, si la velocidad de gelatinización termoalcalina del almidón fuese una reacción elemental, podría expresarse como:

$$-rA = kC_a^a * C_b^b * C_c^c \quad (4.1.16)$$

donde a, b y c son las respectivas molecularidades de los componentes que podrían difundirse a través del gránulo de almidón y sus coeficientes y k es la constante cinética, que depende de la temperatura.

Rescribiendo la ecuación 4.1.22 y sustituyendo la ecuación (4.1.16):

$$-rA = k(X_a - X_{a0}) = k(\mu - \mu_0) \quad (4.1.17)$$

Despejando

$$-rA/g = k(X_a - X_{a0}) = k(\mu - \mu_0) \quad (4.1.18)$$

IV.1.5. Discusión de la primera meta

La energía de activación tiene un valor dado a cero de cal. Puede observarse que a baja concentración de hidróxido de calcio, 0.1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ b.s., se mantiene pero, al llegar a 0.3% de cal, cae abruptamente. Nuevamente, a partir de 0.3% de concentración de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ b.s. comienza a subir con tendencia a una curva asintótica. Esto da la pauta de hacer nuevos experimentos entre 0.1 y 0.5% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ b.s., para corroborar lo que está ocurriendo

realmente a nivel molecular con la presencia de la cal, lo cual podría permitir inferir el verdadero rol de la cal en la formación de compuestos de coordinación.

Es posible que a muy bajas concentraciones el Ca^{++} y el agua apenas modifiquen la estructura de los gránulos de almidón sin influir demasiado en la disrupción de los mismos, como ocurre en la nixtamalización tradicional. A partir de 0.3% de concentración de hidróxido de calcio pareciera que se hubiera vencido una resistencia para comenzar otra que, obviamente modifica su comportamiento reológico.

En las décadas pasadas se ha estudiado muy poco el efecto de la cal. Se han reportado los efectos de los iones de sales y los azúcares, que ejercen un efecto coligativo ya que compiten por el agua, produciendo un incremento de la temperatura de gelatinización. El NaCl a concentraciones de 1.3 a 1.5 micromolar aumenta la temperatura de gelatinización. Los iones del ácido acético y del acetato de sodio producen el mismo incremento. En general, los iones alcalinos tienden a formar alcoholatos que cierran las uniones intermoleculares aumentando con ello la temperatura de gelatinización al disminuir la posibilidad de entrada del agua a los grupos hidroxilo de la molécula. Por el contrario, los iones Cl^- , ClO^- y $\text{ClO}^{=}$, disminuyen la temperatura de gelatinización al producir rupturas de los puentes de hidrógeno (Anadha-Raho, 1998; Diosady y col., 1985; Padmanabhan y Bhattacharya, 1993; Sánchez-Tovar y col., 2004; Schweizer y col., 1986; Senouci y Smith, 1988).

Esto indica que el comportamiento de la cal sobre la reacción de gelatinización y el aumento de temperatura son fenómenos similares a los del NaCl y del ácido acético y acetatos.

La medición de la viscosidad en suspensiones de almidones de maíz “nativos” y “extrudidos” es directamente proporcional a la cantidad de la amilosa libre presente. Se ha demostrado que, aunque la extrusión no daña la estructura básica de los almidones, las ramificaciones se fracturan produciendo una reducción de la viscosidad cuando se mide por viscoamilograffa, debido a la disminución del peso molecular.

Colonna y col. (1984), utilizando métodos de dispersión de luz (“*light scattering*”, en inglés), al estudiar las fracciones separadas encontraron que sí existe un intervalo de escisión corroborando lo mencionado en el párrafo de arriba. Anteriormente, Mercier y Feuillet (1975) no encontraron la formación de maltodextrinas en almidón de maíz extrudido a 25% de humedad b.s. y a temperaturas entre 170 y 220°C pero esto pudiera haber sido causado por los métodos analíticos disponibles en aquella época.

En experimentos previos realizados por López-Munguía y Segurajáuregui (1986) y por Robles-de-la-Torre (1986) se demostró que la concentración de hidróxido de calcio es directamente proporcional a la viscosidad final de las masas y al calor específico a presión constante. Ambas variables se incrementan conforme se incrementa la variable independiente (concentración de hidróxido de calcio).

Se ha demostrado la influencia total de otras variables en la gelatinización del almidón de maíz (no se especifica variedad ni uso del grano), como son la temperatura y la humedad. Se observa que, a valores de humedad menores al 20.0% b.s. no se produce prácticamente gelatinización y que a humedades medias (mayores al 30.0% b.s.), la gelatinización se inicia y

las temperaturas óptimas de gelatinización se determinan entre 95 y 135°C. Arriba de esta temperatura y hasta los 180.0°C comienzan a darse fenómenos de plastificación (Battacharya y Hanna, 1987b; Burros y col., 1987; Cabrera y col., 1986; Lund y Wirakartaksumah, 1984; Pravisani y col., 1985).

Será interesante continuar esta línea de investigación para corroborar si las energías de activación que se obtengan para maíz integral (y no solamente para su almidón) son del mismo orden de magnitud.

La influencia de la base Ca(OH)_2 es definitiva y requiere de más investigación, ya que el efecto del hidróxido de calcio es muy particular y podría no sólo aplicarse a productos alimenticios, sino también como un agente “viscosante” de productos cosméticos y farmacéuticos.

IV.2. RESULTADOS DE LA SEGUNDA META

IV.2.1. Resultados de estudios preliminares

Con el fin de seleccionar la fracción más adecuada para experimentar con el hidróxido de calcio, se realizaron experimentos por ensayo y error con almidón comercial de maíz para representar el material almidonoso del maíz, así como para representar la fracción lípido-proteínica, de gluten y de salvado, como representante del pericarpio celulósico. Las tres fracciones pesadas en lotes de 5 kg cada una, alcalinizadas al 0.5% de hidróxido de calcio b.s., y humedecidas al 21.5% b.s., fueron extrudidas a 120°C en el extrusor. Se midió su variación de la capacidad calorífica y los índices de absorción y solubilidad en agua. Los resultados de esta fase preliminar se muestran en el Apéndice B.1. De ellos quedó claro que el efecto más significativo de la extrusión es sobre la fracción almidonosa. El efecto sobre la fracción lípido-proteínica será motivo de otro estudio, en el que se considerará la interacción de ambas fracciones durante la extrusión, lo que resultaría interesante de investigar en el futuro cercano.

IV.2.1.1. Resultados del análisis “simplex”

Dado que el producto estudiado es prácticamente nuevo, se procedió a analizar sus características desde un punto inicial (0,0), esto es, empleando sustancias testigo de materia prima que no han sufrido algún proceso. Para ello se siguieron los métodos de pendiente ascendente en busca de la tendencia a un máximo y un mínimo; como lo proponen diferentes autores desde inicios del siglo XX (Barros-Neto y col., 1995; Beveridge y Schechter, 1970; Burton y Nickles, 1987; Fabila, 1991; Fisher, 1935; Nelder y Mead, 1965).

Los resultados de estos análisis se presentan en el Apéndice B.2. Se muestra que los índices de absorción y solubilidad en agua tienen a aumentar conforme aumenta la humedad y la concentración de hidróxido de calcio (Tabla B.2.1). La producción de azúcares reductores tiene un efecto semejante (Tabla B.2.2). Los valores de respuesta de las sustancias de control se encuentran dentro del polígono obtenido, por lo que se consideró adecuado para extenderlo a una “sábana” de superficie de respuesta.

IV.2.2. Resultados de los experimentos de extrusión y nixtamalización termoalcalina considerando la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua

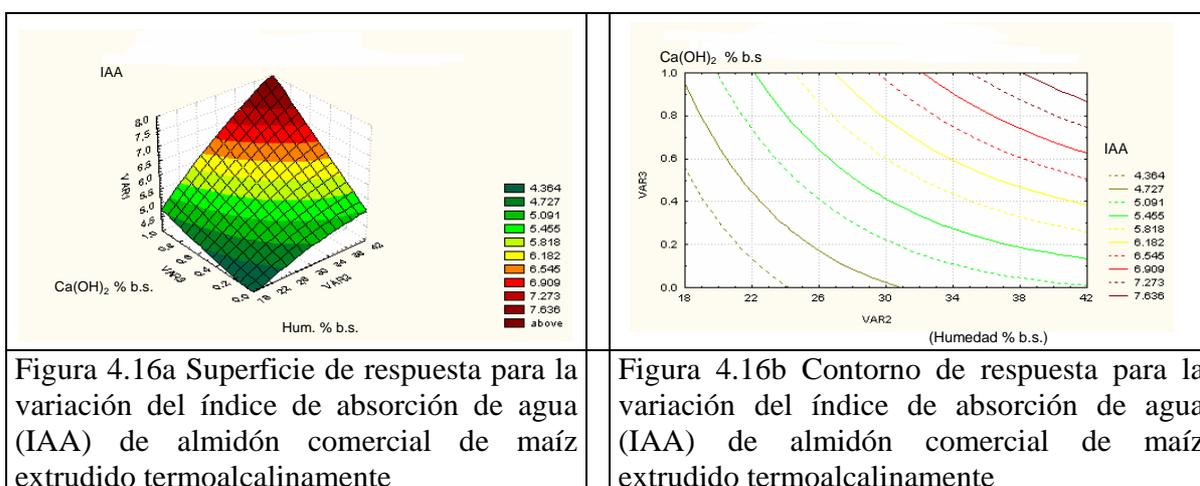
IV.2.2.1. Variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) para los experimentos de extrusión termoalcalina de almidón comercial

Los resultados mostrados en este apartado son producto del análisis de las gráficas y tablas incluidas en el Apéndice B.3. Las Tablas B.3.1a hasta e muestran los resultados de 5 repeticiones experimentales por duplicado cada una. En la Tabla B.3.2 del mismo apéndice, se dan los promedios de las anteriores. Los análisis de la varianza (“ANOVA” en inglés o ANDEVA o en español) para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua, al interior del experimento, se encuentran en las Tablas B.3.3a y B.3.3b del apéndice referido.

Para el IAA, tanto la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como la humedad, presentan diferencia significativa al 1.0% de significancia; pero, no al 5.0%. De igual manera para el caso del ISA, la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presenta diferencia significativa al 1.0% de significancia; pero, no al 5.0%. Por otra parte para el ISA, la humedad presenta diferencia significativa al 1.0% y al 5.0% de significancia.

Las Tablas B.3.4a y B.3.4b muestran los análisis de regresión múltiple para los resultados de la Tabla B.3.2, para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua respectivamente. Los resultados pueden considerarse adecuados y coherentes para ambas variables dependientes, ya que los coeficientes de regresión tienen valores muy altos debido al elevado número de elementos para promediar ($R^2 = 0.9374$ para IAA y $R^2 = 0.9489$ para el ISA). Para ambas variables los intervalos de confianza son amplios, el sesgo es bajo y la curtosis también es baja; por lo tanto, los resultados no se dispersan demasiado.

Las Figuras 4.16a y b muestran la superficie y contorno de respuesta, respectivamente, para la variación de los índices de absorción de agua o IAA. En ellas se observa claramente que el IAA, tiende a aumentar en forma similar a un plano inclinado con escasa curvatura, conforme se incrementa la concentración de hidróxido de calcio y la humedad de proceso.



El mismo comportamiento se observa para la variación de los índices de solubilidad en agua, ISA, los cuales tienden a incrementarse también conforme aumentan la concentración de hidróxido de calcio y la humedad. Los resultados del análisis de superficie y contorno de respuesta, respectivamente, se grafican en las Figuras B.3.3 y B.3.4, también del Apéndice B.3. Ambas variables influyen en el proceso de acuerdo con los cocientes de determinación de los análisis de la varianza.

IV.2.2.2. Variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)

De manera similar, todas las tablas y gráficas para este punto se presentan en el Apéndice B.4. Las Tablas B.4.1a hasta e muestran los resultados de 5 repeticiones por duplicado. En la Tabla B.4.2 del mismo apéndice, se dan los promedios de las anteriores. En ella puede verse que, tanto el índice de absorción como el de solubilidad en agua, tienden a aumentar siguiendo un plano inclinado ascendente de ligera curvatura, conforme aumenta la concentración de hidróxido de calcio y la de humedad de proceso.

Las Tablas B.4.3a y b muestran los análisis de la varianza para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua ***al interior del experimento***, respectivamente. Para el IAA, el efecto de la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presenta diferencias significativas, tanto al 1.0 como al 5.0% de significancia. Para el IAA, la variación en la humedad presenta diferencias significativas al 1.0% y al 5.0% de nivel de significancia. De la misma manera, para el ISA, la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presenta diferencias significativas al 1.0% y al 5.0% de significancia. En relación con la humedad, el ISA presenta diferencias significativas tanto al 1.0% como al 5.0% de significancia. Las Tablas B.4.4a y b muestran los análisis de regresión múltiple para los resultados de la Tabla B.4.2, que tiene los promedios de los valores obtenidos de IAA e ISA, respectivamente. Los resultados pueden considerarse adecuados para esta variable dependiente, ya que sus coeficientes de regresión tienen un valor muy alto debido al elevado número de elementos para promediar ($R^2 = 0.9686$).

Para el ISA, los resultados pueden considerarse adecuados para esta variable dependiente; ya que sus coeficientes de regresión tienen valores elevados igual que los anteriores ($R^2 = 0.9713$). Para ambas variables los intervalos de confianza son amplios, el sesgo es bajo y la curtosis también es baja, es decir, los datos tienen baja dispersión.

Las Figuras B.4.1 y B.4.2 muestran la superficie y contorno de respuesta para la variación de los índices de absorción de agua IAA. En ellas se observa claramente que la respuesta tiende a aumentar conforme aumentan las concentraciones de hidróxido de calcio y de la humedad, como ocurrió con las contrapartes extrudidas.

Las Figuras B.4.3 y B.4.4 presentan también la superficie y contorno de respuesta para la variación de los índices de solubilidad en agua ISA, los cuales al igual que los resultados para IAA tienden a aumentar conforme aumentan la concentración de hidróxido de calcio y la humedad, tanto para los nixtamalizados como los extrudidos.

Ambas variables influyen en el proceso de acuerdo con los cocientes de determinación de los análisis de la varianza ambas variable independientes influyen de manera similar en la respuesta.

IV.2.2.3. Estudio comparativo entre experimentos de extrusión y “nixtamalización” para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua

La Tabla 4.2 muestra la comparación para los índices de absorción de agua entre las pruebas de extrusión y “nixtamalización”. Puede observarse que no hay diferencias significativas, por lo tanto, para esta variable dependiente se acepta la hipótesis nula. I rechazarse la hipótesis alternativa de dos colas, se rechazan las hipótesis alternativas de una sola cola. Para esta variable dependiente no hay diferencia entre el proceso de extrusión termoalcalina y el proceso y de “nixtamalización”. La Tabla 4.3 muestra la comparación para los índices de solubilidad en agua entre las pruebas de extrusión y de “nixtamalización”.

Puede observarse que tampoco hay diferencias significativas y, por lo tanto para esta variable dependiente también se acepta la hipótesis nula, de que los procesos de nixtamalización y extrusión alcalina son similares. Consecuentemente, se rechazan las hipótesis alternativas.

Para esta variable dependiente tampoco hay diferencia entre el proceso de extrusión termoalcalina y el proceso de “nixtamalización”. Esto puede constatarse en las Tablas 4.2. y 3 que son un resumen de las que se encuentran en el Apéndice B.4.

Tabla 4.2. Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el índice de absorción de agua IAA

MUESTRA	IAA extrudidos	IAA nixtamalizados	Diferencia D	(Diferencia) ² D ²
C1H1*	4.290	3.957	-0.333	0.111
C2H1*	4.488	4.348	-0.140	0.020
C3H1*	4.936	4.728	-0.208	0.043
C1H2*	4.762	4.993	0.231	0.053
C2H2*	5.466	5.382	-0.084	0.007
C3H2*	6.673	6.229	-0.444	0.197
C1H3*	5.277	6.224	0.947	0.896
C2H3*	6.629	6.837	0.208	0.043
C3H3*	7.344	7.674	0.330	0.109
Total	49.864	50.371	0.507	1.480
n=	9	9		
g.l = 9-1=	8	8		
Media	5.540	5.597		
t=	0.397	Calculada		
t=	2.306	Tabla	5%	Dos colas
t=	1.861	Tabla	5%	Una cola
t . calculada < t tabla		No hay diferencia significativa		

Tabla 4.3. Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el índice de solubilidad en agua ISA

MUESTRA	ISA extrudidos	ISA nixtamalizados	Diferencia D	(Diferencia) ² D ²
C1H1*	0.00537	0.00548	-0.0001002	1.00336E-08
C2H1*	0.00611	0.00560	0.0005123	2.62455E-07
C3H1*	0.00716	0.00680	0.0003639	1.32425E-07
C1H2*	0.01166	0.01625	-0.0045934	2.10996E-05
C2H2*	0.01538	0.01667	-0.0012887	1.6608E-06
C3H2*	0.03479	0.01853	0.0162620	0.000264453
C1H3*	0.01911	0.02110	-0.0019888	3.95542E-06
C2H3*	0.02200	0.02266	-0.0006508	4.23594E-07
C3H3*	0.02569	0.02646	-0.0007706	5.93767E-07
Total	0.14729	0.13954	0.0077457	0.000292591
n=	9	9		
g.l = 9-1=	8	8		
Media	0.01637	0.01550		
t=	0.432	Calculada		
t=	2.306	Tabla	5%	Dos colas
t=	1.861	Tabla	5%	Una cola
-t calculada < t tabla		No hay diferencia significativa		

IV.2.2.4. *Discusión de los resultados para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua*

Se encontraron diferencias significativas al interior de los resultados de cada experimento pero no se encontraron entre ambos tratamientos; **por lo que se puede aceptar la hipótesis nula** que indica que no existen diferencias significativas al 5% entre los resultados de los experimentos de extrusión termoalcalina y los de “nixtamalización”.

Los valores de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimentos; por lo tanto podrían ser considerados como los óptimos parciales en los que las condiciones de extrusión termoalcalina y de “nixtamalización” se asemejan o se igualan.

El índice de absorción de agua o IAA es una medición directa del grado de gelatinización del almidón, que se incrementa cuando aumenta la concentración de hidróxido de calcio y la humedad de proceso, tanto para la nixtamalización como para la extrusión. El índice de solubilidad en agua o ISA indica la proporción de fracciones de almidón que han sufrido algún tipo de ruptura, ya sea química o de tipo termomecánica. Esta respuesta se incrementa cuando aumenta la concentración de hidróxido de calcio y la humedad de proceso, tanto para la “nixtamalización” como para la extrusión.

Estas dos variables se comportan de manera muy semejante o casi igual en los productos “nixtamalizados” y lo mismo ocurre con los extrudidos, como si los efectos de fricción y la

cizalla típicos de la extrusión no ejercieran una influencia definitiva y se debiera más a la hidrólisis alcalina, acelerada por la temperatura y la presión. Además, la humedad de proceso y el contenido de hidróxido de calcio influyen en su comportamiento como si se tratara de un proceso de extrusión más “suave” debido a los tiempos de residencia tan cortos en el extrusor (del orden de segundos).

En un proceso de gelatinización del almidón “normal” promedio, la fracción soluble proviene de la expulsión de la amilosa de los gránulos en las primeras etapas de la gelatinización del almidón y continúa durante todo el fenómeno. La amilopeptina (menos soluble) puede fluir fuera del gránulo, sobre todo cuando se dan procesos mecánicos severos durante el calentamiento. Se ha demostrado que los procesos mecánico-térmicos sobre los almidones producen cambios en su solubilidad en agua y en soluciones etanol-agua (Cabrera y col., 1986; Camire y col., 1990; Hsieh y col., 1990).

El almidón de maíz es completamente insoluble en agua en estado “nativo” a condiciones “estándar” (25°C, 1 atm de presión) y sólo forma una intensa turbidez antes de sedimentar. Únicamente el almidón de papa se solubiliza en agua a condiciones “estándar”, alcanzando un 20% máximo de solubilidad y en etanol en agua al 30% a condiciones “estándar”, la cromatografía de permeación en gel demuestra que la amilosa es la responsable de este comportamiento del almidón de papa, probablemente debido a los enlaces éster-fosfórico característicos de este tipo de almidón (Camire y col., 1990; Mercier y Feuillet, 1975; Mercier y col. 1979). Esto alentaría posibles futuras líneas de investigación empleando esta metodología para almidones nixtamalizados y extrudidos alcalinamente para encontrar las causas de este comportamiento desde un punto de vista más fundamental.

El aumento de la fracción soluble en cualquier tipo de almidón indica ruptura molecular. Esto puede medirse mediante los índices de solubilidad en agua y solubilidad en soluciones alcohol-agua. La ausencia de la formación de carbohidratos solubles, indica la no formación de oligosacáridos y glucosa. La formación de fracciones de carbohidratos ocurre más a menudo en el extrusor de una sola flecha que en los de flechas gemelas debido a la gran reducción de la fricción de los últimos (Colonna y col., 1984; Diosady y col., 1985; Camire y col., 1990). Los resultados de esta investigación, tanto de almidones extrudidos como nixtamalizados, indican que se tienen índices de solubilidad en agua muy semejantes y que se incrementan al aumentar las concentraciones de cal y agua demostrando que ambos procesos tienen los mismos efectos sobre los almidones y que éstos son fisicoquímicos más que mecánicos. Esto se refuerza con los resultados citados desde mediados del siglo XX al respecto de que, a pesar de que el hidróxido de calcio es una base débil logra que el pH del “nixtamal” sea de 11 a 12, lo que produce la hidrólisis de la celulosa del pericarpio y de algunas proteínas como las globulinas (Durán y col., 1979).

No se han encontrado muchos estudios acerca del efecto hidrolítico alcalino del hidróxido de calcio en los almidones de maíz. Robles-de-la-Torre (1986) y Robles y col. (1988) se enfocaron más a la absorción de calcio por el almidón y a la variación de sus propiedades térmicas, mencionando que la hidrólisis alcalina daba origen a dextrinas pero no profundizaron en esta línea de investigación.

Owusu-Anasah y col. (1983) trabajaron en el extrusor Wenger X-5 a nivel de laboratorio para estudiar los efectos de un tiempo corto y una alta temperatura de proceso (HTST, por sus siglas en inglés) y obtuvieron los índices de absorción de agua y la viscosidad aparente de geles de almidón de papa y maíz extrudidos encontrando que la mayor gelatinización ocurría a temperaturas ligeramente menores a 100°C, a humedades menores a 23% b.s. y la mínima gelatinización a humedad menor al 11% b.s. Naturalmente, ellos no emplearon hidróxido de calcio como aditivo. Si se toman en consideración los resultados de estos autores y se extrapolan para estos experimentos que sí contuvieron $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se encuentra que hay un efecto decisivo del hidróxido de calcio que permite una mayor salida de material soluble y una mejor textura y, probablemente, un mayor valor nutritivo al volver biodisponible al calcio. Esto podría ser también una línea de investigación interesante. (Camacho-Parra, 1999; Camacho y col., 2002; Saldaña-Morales, 1987)

IV.2.3. Resultados de los experimentos de extrusión y nixtamalización termoalcalina considerando el calor específico a la temperatura de gelatinización

IV.2.3.1. Calor específico (C_p , $\text{J g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón para los experimentos de extrusión termoalcalina de almidón comercial

Los resultados del presente análisis se encuentran en las tablas y figuras del Apéndice B.5. En la Tabla B.5.1 se muestran el calor específico a presión constante (C_p , $\text{J g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), a la temperatura de gelatinización de los almidones que, según Illescas (1943) y Bonfil (1987), es de $75.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$. Asimismo, se incluye la temperatura de cristalización ($^\circ\text{C}$), tanto de los testigos o sustancias de control, como de las muestras extrudidas según el diseño experimental propuesto y que fueron obtenidos por calorimetría diferencial de barrido. Los datos fueron extraídos de los termogramas que se muestran en las Figuras B.5.1 a B.5.15 del Apéndice B.5. Estos siguieron la forma típica ejemplificada abajo con las Figuras 4.17a y b.

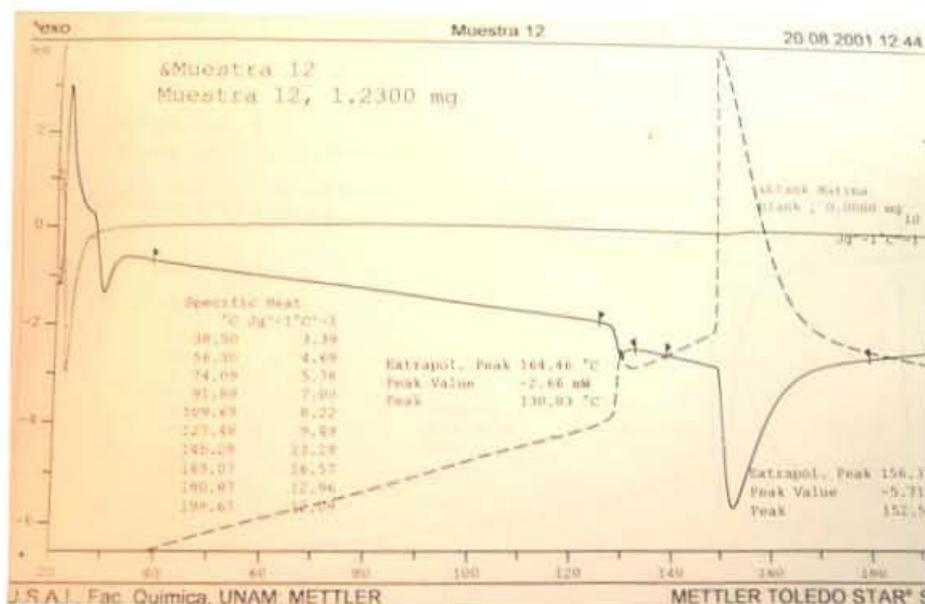


Figura 4.17a. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (C3H2) extrudido termoalcalinamente

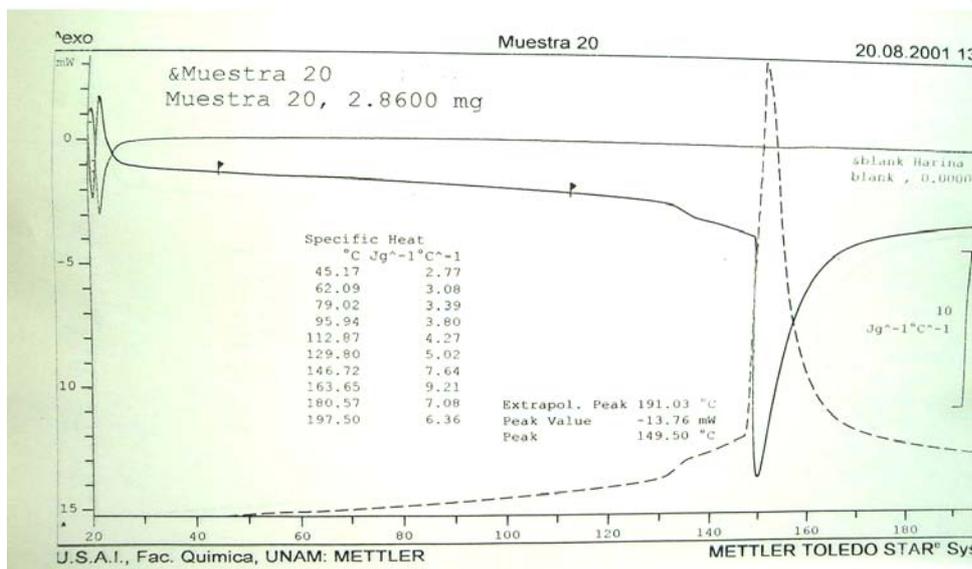


Figura 4.17b. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2HI NIXT) "nixtamalizado"

El calor específico se obtuvo por interpolación de los valores tabulados en los termogramas y la temperatura de cristalización corresponde a la del pico de la exoterma mostrada en los mismos. Se realizó el análisis de varianza del calor específico con respecto a la concentración de hidróxido de calcio y a la humedad, para evaluar si había diferencia significativa al interior del experimento, registrado en la Tabla B.5.3. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las dos variables independientes, ni al 1 ni al 5% de significancia. De acuerdo con la regresión polinomial de la Tabla B.5.2, el valor $R^2 = 0.8198$ indica que son buenos más no excelentes resultados. La superficie y contorno de respuestas se muestran en las Figuras B.5.16 y 17, respectivamente. Puede observarse un comportamiento de tipo "silla de montar" que indica una disminución de la variable dependiente al centro.

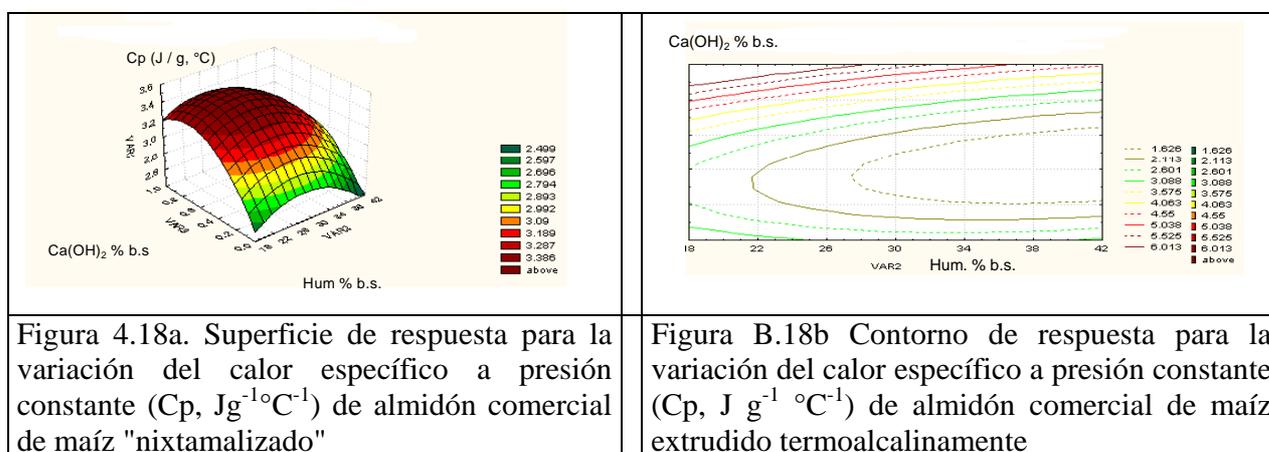
Los datos de la temperatura de cristalización y sus análisis estadísticos no fueron incluidos porque la correlación R^2 no fue mayor al 71.64 por ciento de explicación.

IV.2.3.2. Resultados de la variación del calor específico (C_p , J g⁻¹ °C⁻¹) a la temperatura de gelatinización del almidón para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alcalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)

Los resultados del presente estudio se concentran en las tablas y figuras del Apéndice B.6. La Tabla B.6.1 muestra los valores de calor específico a la temperatura de gelatinización así como las temperaturas de gelatinización de las muestras nixtamalizadas, los cuales fueron obtenidos de igual manera que en el punto IV.2.3.1 y sus termogramas se muestran en las Figuras B.6.1 a B.6.12 de la misma sección.

Se realizó también el análisis de la varianza para los datos de calores específicos, para evaluar si había diferencias significativas al interior del experimento, registrado en la Tabla B.6.2, no encontrándose diferencia significativa, tanto para la concentración de hidróxido de calcio como para la humedad de proceso, ni al 1.0 ni al 5.0% de significancia. Después de aplicar con la regresión polinomial mostrada en la Tabla B.6.3, el valor $R^2=0.9003$ habla de muy buenos más no excelentes resultados.

La superficie y contorno de respuestas se presentan en las Figuras 4.18a y b. Puede observarse un comportamiento de pendiente ascendente en dirección positiva de las concentraciones y de la humedad. Los datos de la temperatura de cristalización y sus análisis estadísticos no fueron incluidos porque la correlación R^2 no fue mayor al 40.0 por ciento de explicación.



IV.2.3.3. Estudio comparativo entre experimentos de extrusión y de “nixtamalización” para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón

La Tabla 4.4 muestra la comparación para la variación del calor específico a presión constante (C_p ($J g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)) entre las pruebas de extrusión y nixtamalización. Puede observarse que no hay diferencias significativas y, por lo tanto, para esta variable dependiente **se acepta la hipótesis nula**. Para esta variable dependiente no hay diferencia entre el proceso de extrusión termoalcalina y el de “nixtamalización”

IV.2.3.4. Discusión de los resultados para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón

No se encontraron diferencias significativas ni al interior de los resultados de cada experimento ni entre ambos tratamientos; **por lo que se puede aceptar la hipótesis nula** que indica que no existe diferencia significativa al 5% entre los resultados de los experimentos de extrusión termoalcalina y los de “nixtamalización”.

Tabla 4.4. Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para el calor específico a presión constante (Cp, J g⁻¹ °C⁻¹)

Muestra	Cp (J g ⁻¹ °C ⁻¹) extrudidos	Cp (J g ⁻¹ °C ⁻¹) nixtamalizados	Diferencia D	(Diferencia) ² D ²
C1H1*	3.70450	2.73980	0.9647000	0.93064609
C2H1*	2.21785	3.28640	1.0685500	1.141799103
C3H1*	5.46840	3.41755	2.0508500	4.205985723
C1H2*	0.95100	3.07870	2.1277000	4.52710729
C2H2*	1.44650	3.40980	1.9633000	3.85454689
C3H2*	6.02075	3.16185	2.8589000	8.17330921
C1H3*	2.67200	2.54795	0.1240500	0.015388403
C2H3*	-1.28320	3.11290	4.3961000	19.32569521
C3H3*	2.61550	3.10715	0.4916500	0.241719723
Total	23.813	27.86210	4.049	42.416
n=	9	9		
g.l = 9-1=	8	8		
Media	2.64592	3.09579		
t=	0.599	Calculada		
t=	2.306	Tabla	5%	Dos colas
t=	1.861	Tabla	5%	Una cola
t-calculada < t tabla			No hay diferencia	significativa

Los valores de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimentos; por lo tanto podrían ser considerados como los óptimos parciales en que las condiciones de extrusión termoalcalina y de “nixtamalización”, cuando se asemejan o se igualan.

Si se observa un termograma típico como el del almidón de trigo o avena, se puede ver que la gráfica muestra un primer pico de transición vítrea apenas y comienza a recibir estimulación del flujo de energía calorífica y, posteriormente, manifiesta una exoterma con liberación de calor, a la vez que adquiere cristalinidad. Para los almidones de maíz el comportamiento es diferente y más en presencia de sales, azúcares o un álcali como el hidróxido de calcio. Por lo general, adquieren elevadas temperaturas de fusión y una gran cristalinidad. De ahí la flexibilidad de los productos elaborados con los mismos. Las tortillas son más flexibles a altas temperaturas y cuando se enfrían se vuelven quebradizas. La temperatura promedio de gelatinización de los almidones durante la nixtamalización oscila entre 75.0±2.0°C. Durante esta etapa se da primero la absorción de agua con el hinchamiento de los cristalitos. Para realizar la gelatinización, el almidón no requiere absorber cantidades importantes de calor, de ahí que sus termogramas presenten más bien una endoterma apenas perceptible y no se note la parte de la transición vítrea; más bien, liberan calor al cristalizarse por arriba de los 100°C, mostrando una gran exoterma. Cabe mencionar que muchos polímeros, antes de la transición

vítrea, son quebradizos y en el punto de cristalinidad son gomosos (Robles-de-la-Torre, 1986; Robles y col., 1988).

En el presente estudio es posible que el hidróxido de calcio, especialmente el ión calcio, actúe como un “ordenador” de las cadenas lineales de amilosa y dé también un cierto orden a la amilopectina ramificada favoreciendo la cristalinidad. Es probable también que el almidón actúe como el polímero, el agua como un plastificante y el hidróxido de calcio es el aditivo que modifica la estructura básica de la molécula. Todos los termogramas, tanto “nixtamalizados” como extrudidos, mostraron el mismo tipo de gráfica y datos similares. De aquí puede concluirse que los productos de ambos procesos tienen propiedades termofísicas semejantes.

IV.2.4. Modelo cinético propuesto para la extrusión termoalcalina de almidón comercial de maíz

Por medio de los experimentos viscoamilográficos se ha demostrado que la gelatinización termoalcalina del almidón comercial de maíz sigue una cinética de primer orden aparente con respecto a la concentración de hidróxido de calcio. Reforzando esto, las superficies de respuesta para los índices de absorción y solubilidad en agua (que son las variables dependientes que miden más directamente la gelatinización del almidón), tienen pendientes constantes (líneas rectas).

La diferencia entre la extrusión y la nixtamalización es que la extrusión se realiza en un reactor continuo a presión y que opera con agua sobrecalentada que se evapora de manera instantánea (tipo “flash”); donde los fenómenos de difusión pueden acelerarse y, en consecuencia, aumentar la velocidad de reacción.

Como un experimento de confirmación, se hizo una serie experimental (un experimento y sus réplicas por triplicado) en el extrusor piloto CIATECH considerando las condiciones de operación en las cuales las características de los productos “nixtamalizados” se igualan a los extrudidos (0.3% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 25.0% humedad de proceso b.s., 117°C). Como ya se menciona en el capítulo 3, el extrusor se detuvo súbitamente, se extrajo el dado o boquilla, muestreando el producto en cada centímetro de distancia. A las muestras se les determinaron los índices de absorción de agua, IAA, obteniéndose las Figuras 4.19a y b, las cuales mostraron líneas rectas en la variación de la respuesta. Por lo anterior, se procedió a elaborar un modelo cinético basado en las ecuaciones de primer orden para un reactor continuo de flujo tipo “pistón” (Sánchez-Tovar y col., 1993, 1997, 1998).

IV.2.4.1 Modelo matemático para la cinética de gelatinización termoalcalina del almidón comercial de maíz si se considera a un extrusor de una sola flecha como un reactor de flujo continuo (“pistón”)

Se consideró teóricamente la cinética básica de un reactor tipo pistón (Levenspiel, 1998). La Figura 4.20 muestra el esquema de este tipo de reactor. Como puede observarse, la reducción del diámetro por el cono truncado que forma la expansión de la flecha es lo que genera el

aumento de la presión, la cual medida por medio de un sensor infrarrojo alcanza hasta 20 bares a la salida en relación con los 5 bares de de presión a la entrada.

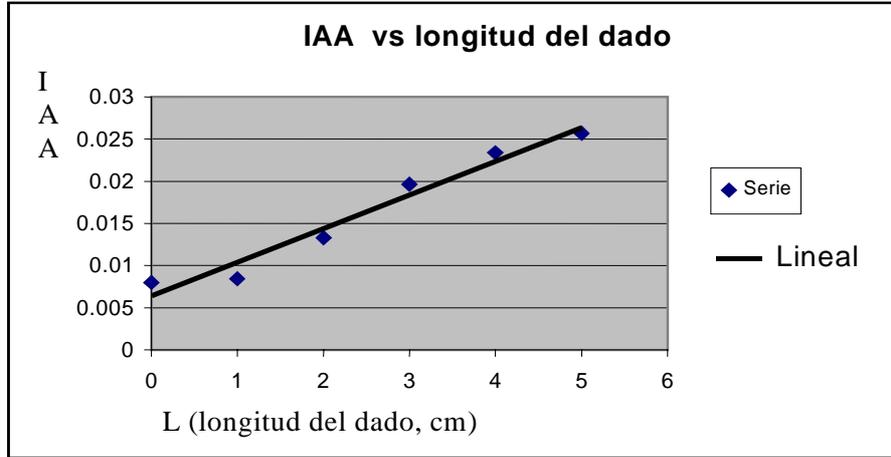


Figura 4.19a. Variación del índice de absorción de agua IAA, a lo largo del dado o boquilla del extrusor a bajo costo tipo CIATECH
 $IAA = 0.004 L + 0.0064$ ($R^2 = 0.9632$)

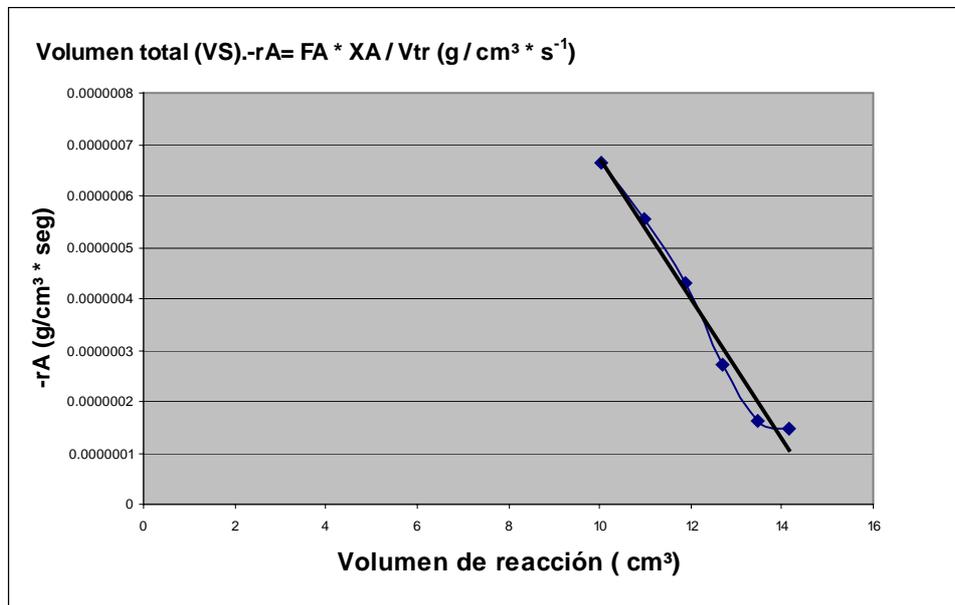


Figura 4.19b. Cinética para la variación de la velocidad de reacción de la gelatinización termoalcalina de almidón comercial de maíz a lo largo del extrusor
 $-rA = 1 \times 10^{-7} V + 2 \times 10^{-6}$, ($R^2 = 0.9399$)

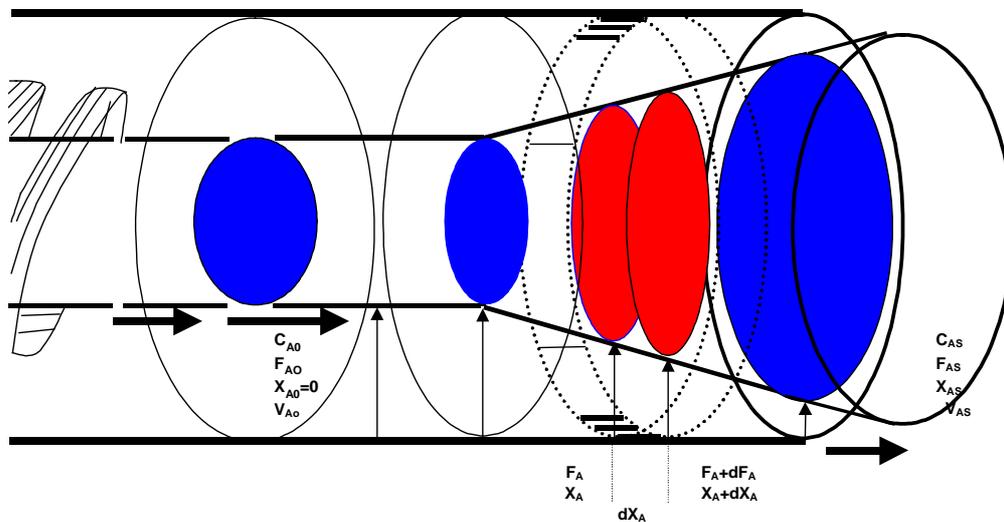


Figura 4.20a Elemento diferencial de reacción para un extrusor a bajo costo que se estudia como un reactor continuo de flujo tipo pistón (Sánchez-Tovar y col., 2000)

La definición de las variables es como sigue:

Variables a la entrada del reactor

- C_{A0} = Almidón no gelatinizado a la entrada del reactor (mol l^{-1}) continuo (extrusor)
- F_{A0} = Flujo de entrada de A_0 (mol s^{-1})
- X_{A0} = Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la entrada del reactor continuo (extrusor)
- v_{A0} = Velocidad a la entrada del reactor continuo (extrusor) , (m s^{-1})

Variables a la entrada del volumen diferencial de reacción

- C_A = Almidón no gelatinizado a la entrada del volumen diferencial de reacción (mol l^{-1})
- F_A = Entrada de A (mol s^{-1})
- X_A = Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la entrada del volumen diferencial de reacción
- v_A = Velocidad a la entrada del volumen diferencial de reacción (m s^{-1})

Variables a la salida del volumen diferencial de reacción

- $C_A + dC_A =$ Almidón no gelatinizado a la salida del volumen diferencial de reacción (mol l⁻¹)
- $F_A + dF_A =$ salida de A = (mol s⁻¹) = F_A
- $X_A + dX_A =$ Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la salida del volumen de reacción
- $v_A + dv_A =$ Velocidad a la salida del volumen diferencial de reacción (m s⁻¹)

Variables a la salida del reactor

- $C_{AS} =$ Almidón no gelatinizado a la salida del reactor (mol L⁻¹)
- $F_{AS} =$ salida de A = moles/tiempo = F_A (mol s⁻¹)
- $X_{AS} =$ Conversión de almidón no gelatinizado en almidón gelatinizado a la salida del reactor
- $v_{AS} =$ Velocidad a la salida del reactor (m s⁻¹)

Para poder definir las variables anteriores hay que realizar la definición geométrica del extrusor, la Figura 4.21 muestra las dimensiones que las definen, como sigue.

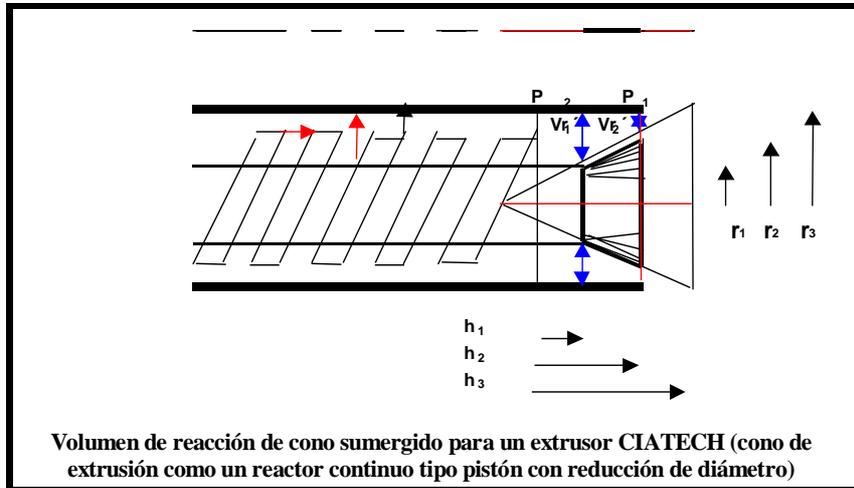


Figura 4.20b. Dimensiones que definen la geometría de un extrusor de bajo costo, de una sola flecha, tipo “CIATECH” que se estudia como un reactor continuo de flujo pistón (Sánchez-Tovar y col., 2000)

La definición de las ecuaciones de la geometría es como sigue:

Definición de la áreas transversales

Área total de cañón del extrusor

$$A_t = \pi * r_3^2 \quad (4.2.1)$$

Área de la base del cono truncado a la salida

$$A_{ctrs} = \pi r_2^2 \quad (4.2.2)$$

Área de la base del cono truncado a la entrada

$$A_{ctre} = \pi r_1^2 \quad (4.2.3)$$

Definición de flujos y velocidades

$$v = \text{Velocidad (m s}^{-1}\text{)} \quad (4.2.4)$$

$$M = \text{Flujo másico} = (\text{kg s}^{-1}) \quad (4.2.5)$$

$$FV = \text{Flujo volumétrico (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \quad (4.2.6)$$

$$FV = \text{Flujo volumétrico} = v (\text{m s}^{-1}) * \text{área (m}^2\text{)} \quad (4.2.7)$$

$$FV = \text{Flujo volumétrico} = M (\text{kg s}^{-1}) * d (\text{kg m}^{-3}) \quad (4.2.8)$$

d = densidad del fluido en kg m^{-3}

Definición de los volúmenes de reacción

V_1 = Volumen de entrada (cilindro con calentamiento):

$$V_1 = \text{Volumen del cilindro formado por el cañón} - (\text{volumen de la flecha}) \quad (4.2.9)$$

$$V_{c1} = \text{Volumen del cilindro formado por el cañón} = (\pi * r_3^2 h_1) \quad (4.2.10)$$

$$V_{f1} = \text{Volumen de la flecha} = (\pi r_1^2 h_1) \quad (4.2.11)$$

Sustituyendo 4.2.11 y 4.2.10 en 4.2.9

$$V_1 = [(\pi * r_3^2 h_1) - (\pi r_1^2 h_1)]$$

$$V_1 = \pi h_1 (r_3^2 - r_1^2) \quad (4.2.12)$$

En este volumen se da la mezcla de entrada a la cámara de reacción

Se mantiene una composición C_{A0} F_{A0} que sufre calentamiento y compresión ligera

V_2 = Volumen de reacción en el dado, (Región con compresión forzada)

$$V_2 = \text{Volumen del cilindro formado por el cañón} - \text{Volumen del cono truncado} \quad (4.2.13)$$

El volumen del cilindro formado por el cañón en la zona de compresión se define por

$$V_{c2} = \pi * r_3^2 (h_2 - h_1) \quad (4.2.14)$$

El volumen del cono truncado se da por

$$V_{tru} = (\pi / 12) * (h_2 - h_1) * (4r_2^2 + 4r_2 r_1 + 4r_1^2) \quad (4.2.15)$$

Sustituyendo 4.2.15 y 4.2.14 en 4.2.13 se obtiene

$$V_2 = [\pi r_3^2(h_2-h_1)] - [(\pi/12)(h_2-h_1)(4r_2^2+4r_2r_1+4r_1^2)] \quad (4.2.16)$$

$$V_3 = \text{Volumen total de reacción} = V_1 + V_2$$

$$V_3 = [\pi h_1(r_3^2-r_1^2) + (\pi r_3^2(h_2-h_1)) - [(\pi/12)(h_2-h_1)(4r_2^2+4r_2r_1+4r_1^2)]] \quad (4.2.17)$$

Rearreglando 4.2.17 se obtiene:

$$V_3 = [(\pi h_1)(r_3^2-r_1^2)] + [(\pi h_1 r_3^2)] - [(\pi/3)(h_2-h_1)(r_2^2+r_2r_1+r_1^2)] \quad (4.2.17a)$$

Flujo volumétrico a la entrada de volumen de reacción:

$$F_{ve} = \text{Velocidad (m/s)} \times \text{área de la corona de entrada (m}^2\text{)} \quad (4.2.18)$$

$$F_{ve} = V_e \times \pi (r_3^2 - r_1^2) \quad (\text{m s}^{-1}) \times (\text{m}^2)$$

$$F_{ve} = \text{Flujo de masa (kg s}^{-1}\text{)} / \text{densidad a la entrada (kg m}^{-3}\text{)}$$

$$F_{ve} = m \quad (\text{kg s}^{-1}) / d \quad (\text{kg m}^{-3})$$

Flujo volumétrico a la salida de volumen de reacción:

$$F_{vs} = \text{Velocidad (m s}^{-1}\text{)} \times \text{área de la corona de salida (m}^2\text{)} \quad (4.2.19)$$

$$F_{vs} = V_s \times \pi (r_3^2 - r_2^2)$$

$$F_{vs} = \text{Flujo de masa (kg s}^{-1}\text{)} / \text{densidad a la entrada (kg m}^{-3}\text{)}$$

$$F_{vs} = m \quad (\text{kg s}^{-1}) / d \quad (\text{kg m}^{-3})$$

Una vez definidas las variables y la geometría se pueden desarrollar las siguientes Ecuaciones

La ecuación cinética para la desaparición del almidón no gelatinizado dice:

$$(-r_A) = \text{Velocidad de desaparición del almidón no gelatinizado} \quad (4.2.20)$$

$$-r_A = \frac{(\text{moles de almidón que se gelatinizan alcalinamente}) \times (\text{elemento diferencial de volumen})}{(\text{tiempo}) \times (\text{volumen de fluido reaccionante})} \quad (4.2.21)$$

Un balance de materia alrededor del elemento diferencial indica

$$F_A = (F_A + dF_A) + (-r)dV \quad (4.2.22)$$

Aplicando para la conversión X_A

$$-X_A = \frac{(\text{Moles.de.almidon.no.gelatinizado} - \text{moles.de.almidón.si.gelatinizado})}{(\text{moles.de.almidón.no.gelatinizadas.iniciales})} \quad (4.2.23)$$

$$dF_A = d(F_{A0}(1 - X_A)) = -F_{A0}dX_A \quad (4.2.24)$$

$$F_{A0}dX_A = -rAdVr \quad (4.2.25)$$

Integrando en los límites

$$\int_{X_{A0}}^{X_A} \frac{-dX_A}{rA} = \int_0^V \frac{-dVr}{F_{A0}}$$

$$\frac{Vr}{F_{A0}} = \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-rA}$$

se obtiene:

$$\frac{Vr}{F_{A0}} = \frac{X_A}{-rA} \quad (4.2.26)$$

Reordenando (4.2.26) se obtiene:

Si se considera a Vr como el volumen total de reacción (4.2.26) se transforma en:

$$-rA = \frac{X_A * F_{A0}}{Vr}$$

Sustituyendo Vr por V_3 en 4.2.26 se obtiene:

$$-rA = \frac{X_A * F_{A0}}{\left[\pi h_1 * (r_3^2 - r_1^2) \right] + \left[\pi * r_3^2 * (h_2 - h_1) \right] - \left[\frac{\pi}{3} * (h_2 - h_1) * (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) \right]} \quad (4.2.27)$$

Si no se considera el volumen de entrada V_1 de obtiene.

$$-r_A = \frac{X_A * F_{A0}}{\left[\pi * r_3^2 * (h_2 - h_1) \right] - \left[\frac{\pi}{3} * (h_2 - h_1) * (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) \right]} \quad (4.2.28)$$

Si se consideran secciones de reacción de una altura fija hm

(h₂-h₁)= hm y donde sólo hay variación del segundo radio

$$-r_A = \frac{X_A * F_{A0}}{\left[\pi * r_3^2 * (hm) \right] - \left[\frac{\pi}{3} * (hm) * (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) \right]} \quad (4.2.29)$$

La ecuación anterior fue aplicada para obtener la cinética dentro del extrusor la cual se presenta en la Tabla 4.2.1. Los resultados muestran un modelo cinético de primer orden aparente, una línea recta con respecto a la concentración de hidróxido de calcio y de igual forma con respecto a la humedad de extrusión, muy típico de los extrusores de una sola flecha. El aumento del índice de absorción de agua dentro del extrusor indica que el almidón adquiere, conforme aumenta la longitud de la boquilla o “dado”, mayor capacidad para retener el agua ya que se incrementa su grado de gelatinización.

Para conseguir el grado óptimo de gelatinización del almidón es necesario equilibrar de manera correcta las condiciones de operación como la temperatura, tiempo de residencia, velocidad del tornillo en función de la longitud de la flecha y el dado para que; tanto desde el punto de vista de la transferencia de calor como desde el punto de vista de la reología y lo sensorial, se obtenga el producto deseado (Harper, 1988; Mackey y Ofoli, 1990; Vergnes y Villemare, 1993).

IV.3. RESULTADOS DE LA TERCERA META

IV.3.1. Variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

Los resultados de este estudio se muestran en el Apéndice B.7 en de las Tablas B.7.1 y B.7.2. Sus promedios se concentran en la Tabla B.7.3 del mismo apartado. A estos últimos datos se les practicó el análisis de varianza, **para evaluar si había diferencia significativa al interior del experimento**, el cual se muestra en la Tabla B.7.4.

Del análisis aplicado se observó que, con respecto a la concentración de hidróxido de calcio, hay diferencias significativas entre las respuestas al 1.0% y al 5.0% de significancia. En lo que se refiere a la humedad de proceso, también se encuentran diferencias significativas, tanto al 1.0 como al 5.0% de significancia.

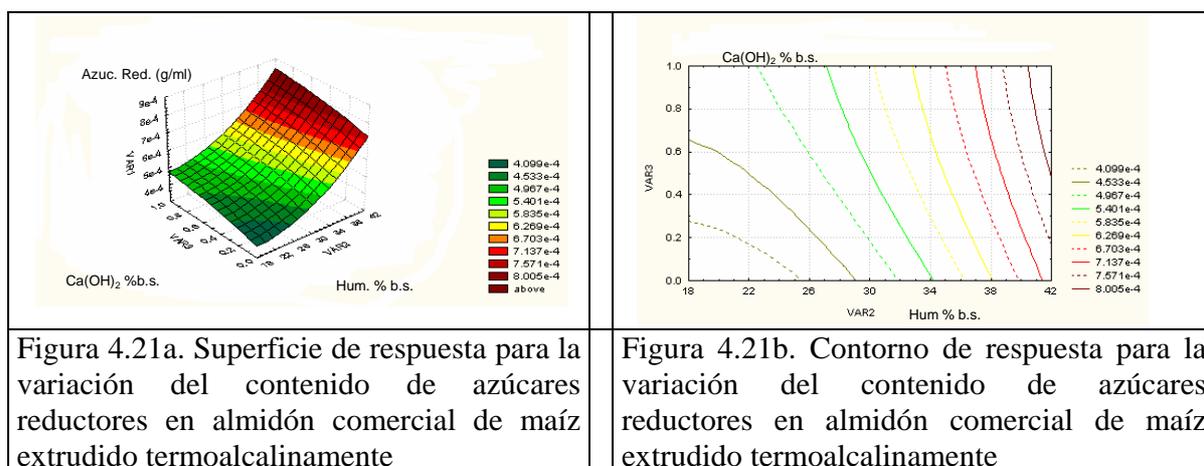
Tabla 4.5 Aplicación del modelo cinético para la variación de la velocidad de reacción de la gelatinización termoalcalina de almidón comercial de maíz (Sánchez-Tovar y col., 2000)

$$-r_A = \frac{X_A * F_{A0}}{\left[\pi * r_3^2 * (h_2 - h_1) \right] - \left[\frac{\pi}{3} * (h_2 - h_1) * (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) \right]}$$

F_{A0} g / seg	r1 cm	r2 cm	r3 cm	hm cm	Volumen formado por el cañón cm ³	Volumen del cono truncado cm ³	$F_A * X_A$	
0.00026	1.5	2	3.5	0.5	19.242	5.10510	0.000002080	
0.00026	1.5	2.25	3.5	0.5	19.242	5.79233	0.000002191	
0.00026	1.5	2.5	3.5	0.5	19.242	6.54500	0.000003451	
0.00026	1.5	2.75	3.5	0.5	19.242	7.36313	0.000005100	
0.00026	1.5	3	3.5	0.5	19.242	8.24670	0.000006085	
0.00026	1.5	3.25	3.5	0.5	19.242	9.19573	0.000006685	
IAA	IAA	IAA	IAA	IAA	Promedio IAA	incertidumbre ±	Volumen total de reacción cm ³	$-r_A = F_A X_A$ Vtr ⁻¹ (g cm ⁻³ s ⁻¹)
0.007459	0.008098	0.007345	0.00754	0.00956	0.0080004	0.0010505	14.137200	0.0000001471
0.00755	0.00798	0.00879	0.00987	0.00794	0.008426	0.0011600	13.449975	0.0000001629
0.01287	0.01345	0.01278	0.01370	0.01357	0.013274	0.0004150	12.697300	0.0000002718
0.01989	0.01978	0.01898	0.01954	0.01989	0.019616	0.0001750	11.879175	0.0000004293
0.02345	0.02271	0.023456	0.02364	0.02377	0.0234052	0.0005300	10.995600	0.0000005534
0.02646	0.02689	0.02495	0.02512	0.02514	0.025712	0.0007550	10.046575	0.0000006654

A los datos de la Tabla B.7.3 se les sometió también al análisis de regresión múltiple, el cual se registra en la Tabla B.7.4, donde se muestra que los resultados pueden considerarse adecuados, ya que el coeficiente de regresión tiene un valor muy alto, $R^2= 0.9982$. Los intervalos de confianza son amplios, el sesgo es bajo y la curtosis baja con respecto a la media, lo que indica que no hay tampoco gran dispersión de los datos.

Las Figuras 4.21a y b muestran la superficie y contorno de respuesta, respectivamente, para los datos de la Tabla B.7.3. Indican que el contenido de azúcares reductores tiende a aumentar siguiendo un plano inclinado ascendente de ligera curvatura, conforme aumentan la concentración de hidróxido de calcio y la humedad.



IV.3.2. Variación del contenido de azúcares reductores para los experimentos de nixtamalización (tratamiento térmico-alkalino de almidón de granos de maíz y de almidón comercial)

Las Tablas B.8.1 y B.8.2 muestran los datos experimentales y sus promedios están en la Tabla B.8.3. La Tabla B.8.4 contiene el análisis de la varianza para evaluar si había diferencia significativa al interior del experimento. Con estos datos se observa que, para la concentración de hidróxido de calcio, se tienen diferencias significativas al 1.0 y al 5.0% de significancia. Para la humedad de proceso, se tienen diferencias significativas también, tanto al 1.0 como al 5.0% de significancia. La Tabla B.8.5, muestra el análisis de regresión múltiple también para los datos de la Tabla B.8.3. Los resultados obtenidos pueden considerarse adecuados, ya que el coeficiente de regresión tiene un valor muy alto $R^2 = 0.9953$. Los intervalos de confianza son amplios, el sesgo es bajo y la curtosis baja con respecto a la media, lo que indica que tampoco hay una gran dispersión de los mismos.

Las Figuras B.8.1 y B.8.2 muestran la superficie y contorno de respuesta, respectivamente, para los datos de la Tabla B.8.3. Se observa que el contenido de azúcares reductores tiende a aumentar siguiendo un plano inclinado ascendente de ligera curvatura, conforme se incrementan la concentración de hidróxido de calcio y la humedad de proceso.

El efecto de la humedad de proceso y la concentración de hidróxido de calcio sobre el contenido de azúcares reductores, tanto en los productos nixtamalizados como en los extrudidos, es muy similar. Se observa también que los contenidos de azúcares reductores son muy semejantes para ambos procesos, siendo ligeramente más altos en la “nixtamalización”. De acuerdo con las gráficas de superficie de respuesta, la variable independiente se apoya un poco más sobre la concentración de hidróxido de calcio que en la humedad, sin que esto reduzca considerablemente su importancia. En ambos experimentos el contenido de azúcares reductores pareciera ser proporcional al contenido de fracciones solubles.

IV.3.3. Estudio comparativo entre experimentos de extrusión y “nixtamalización” para la variación del contenido de azúcares reductores

La Tabla 4.6 muestra la comparación para la del contenido de azúcares reductores (g/kg de almidón) entre las pruebas de extrusión y “nixtamalización”. Puede observarse que no hay diferencia significativa y, por lo tanto, para esta variable dependiente se acepta la hipótesis nula que es justamente la de que ambos procesos dan productos con características químicas muy similares.

Tabla 4.6. Comparación de “t-student” entre las muestras relacionadas (extrudidas-nixtamalizadas) para la variación del contenido de azúcares reductores

Muestra	Azúcares reductores	Azúcares reductores	Diferencia D	(Diferencia) ² D ²
	(g ml ⁻¹) extrudidos	(g ml ⁻¹) nixtamalizados		
C1H1*	0.00044	0.00044	0.0000002	2.45379E-14
C2H1*	0.00034	0.00050	0.0001571	2.46667E-08
C3H1*	0.00038	0.00053	0.0001507	2.2697E-08
C1H2*	0.00052	0.00055	0.0000327	1.06957E-09
C2H2*	0.00056	0.00059	0.0000330	1.08932E-09
C3H2*	0.00065	0.00061	0.0000361	1.30236E-09
C1H3*	0.00084	0.00074	0.0001019	1.03822E-08
C2H3*	0.00092	0.00077	0.0001515	2.2949E-08
C3H3*	0.00102	0.00083	0.0001982	3.9299E-08
			-	
Total	0.006	0.00557	0.0001141	0.0000001
n=	9	9		
g.l = 9-1=	8	8		
Media	0.00063	0.00062		
t=	0.308	Calculada		
t=	2.306	Tabla	5%	Dos colas
t=	1.861	Tabla	5%	Una cola
tcalculada >				
t tabla				No hay diferencia significativa

IV.3.4. Discusión de los resultados para la variación del contenido de azúcares reductores

Se encontraron diferencias significativas al interior de los resultados de cada experimento; pero no se encontraron entre ambos tratamientos; **por lo que se puede aceptar la hipótesis nula** que indica que no existe diferencia significativa al 5% entre los resultados de los experimentos de extrusión termoalcalina y los de "nixtamalización".

Los valores de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimentos; por lo tanto podrían ser considerados como los óptimos parciales en que las condiciones de extrusión termoalcalina y de "nixtamalización" se asemejan o se igualan.

El poder reductor de los carbohidratos se debe al contenido de grupos aldehído libre terminal. Algunos autores sugieren que a mayor ruptura mecánica o química debería aumentar el contenido de azúcares reductores. Colonna y colaboradores, en 1984, observaron que la descomposición térmica del almidón producía anhidro-glucosa. Ésta formaba enlaces resistentes a la alfa amilasa y, a su vez, eran detectables por cromatografía de líquidos de alta resolución, CLAR (HPLC, por sus siglas en inglés, *high performance liquid chromatography*) y por resonancia magnética nuclear. Sin embargo, Wankhede y Umadevi (1987) propusieron que los complejos gluco-anhidro no se daban en la extrusión debido a los tiempos de residencia tan cortos y que si había incremento en la glucosa y fructosa presente, era por que la extrusión no inactivaba las enzimas amilolíticas, que seguían actuando posteriormente a la extrusión.

Para demostrar que los gránulos de almidón se degradan en pequeñas moléculas, se utiliza la permeación en gel. En algunos experimentos realizados con biogel ("Biorad-Richmond-Ca" y "Sepharosa CL4B y CL-2B") se encontró una distribución no lineal de los pesos moleculares después de la extrusión (Schweizer y col., 1986).

Por otra parte la producción de azúcares reductores aumenta la actividad microbiana y disminuye la vida de anaquel, ya que estos son más biodisponibles para los microorganismos.

Se ha observado que la extrusión termoalcalina produce prácticamente las mismas cantidades de azúcares reductores que la "nixtamalización"; por lo que se supone que no hay un efecto de tipo mecánico debido al esfuerzo cortante o de cizalla. Aún cuando el extrusor CIATECH es de tipo autógeno (de mediana a alta fricción) y debiera producir un incremento en la producción de azúcares reductores, esto parece no suceder en los experimentos realizados, sino que más bien puede atribuirse a un efecto de hidrólisis, lo que puede hablar de un proceso "no severo". Desde el punto de vista de la calidad de los productos esto es bueno, ya que la baja dextrinización ayuda a evitar reacciones de conjugación, de mal sabor y tipo "Maillard" o de oscurecimiento no enzimático (Baduñ-Dergal, 1981; Gómez y Aguilera, 1983, 1984).

Como se mencionó anteriormente, las fracciones solubles parecen provenir más de la hidrólisis alcalina que de los efectos mecánicos del extrusor, ya que se mantienen en los mismos niveles, tanto para los productos "nixtamalizados" como para los extrudidos

termoalcalinamente. De esas fracciones solubles, podría ser que solamente los extremos libres sean reductores por sus grupos aldehído. De ahí su menor contenido que la fracción soluble.

Si bien las fracciones solubles dan viscosidad y consistencia al medio líquido, los azúcares reductores no son deseables ya que reaccionan muy fácilmente con otros compuestos para producir oscurecimiento no enzimático, sabores y olores desagradables, además de ser biodisponibles para hongos y bacterias reduciendo su vida de anaquel.

Ninguno de estos fenómenos ocurrió, lo que significa que la extrusión térmica alcalina no representa ninguna amenaza por medio de azúcares reductores a los productos finales.

IV.4. CONSIDERACIONES FINALES

El presente trabajo permitió comparar dos procesos térmicos para gelatinizar el almidón de maíz. Cabe mencionar que en la harina integral de maíz el almidón interactúa también con grasas, proteínas, celulosa y agua, por lo que produce reacciones paralelas, algunas de ellas muy complejas y que no forman parte del presente estudio. De manera general podría afirmarse que el almidón de maíz tratado termoalcalinamente con hidróxido de calcio gelatiniza de igual manera en granos enteros “nixtamalizados”, en cocimiento a ebullición por baño maría o por extrusión. Esto habría que confirmarlo por medio de cristalografías o análisis con rayos X. Algunos autores, proponen estudios de foto acústica.

De forma general, la reacción de gelatinización termoalcalina del almidón de maíz es de primer orden aparente, al menos en una etapa del proceso posterior al arranque. Esto lo demostraron los análisis viscoamilográficos, así como los experimentos realizados a lo largo de la longitud del dado del extrusor.

El hidróxido de calcio cambia la energía de activación de la gelatinización termoalcalina del almidón de maíz. A bajas concentraciones cercanas al 0.1% b.s. la disminuye y posteriormente la aumenta de forma asintótica, tomando como sustancias de control almidón de granos enteros “nixtamalizados”.

Por ahora no se tiene respuestas contundentes al fenómeno anterior. Es posible que el átomo de calcio se incorpore al interior de las espirales de amilosa tal y como lo hace un átomo de yodo. Para confirmar lo anterior serán necesarios estudios de espectroscopia y cristalografía.

Puede verse que a mayor contenido de cal el almidón de maíz retiene más agua a la vez que se incrementa la fracción soluble y de forma similar los azúcares reductores. Es posible que algún tipo de hidrólisis alcalina se estuviese dando y como ocurre para todos los experimentos, se descarta el efecto de la fricción durante la extrusión.

No puede tampoco afirmarse que haya una variación real del calor específico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con la investigación realizada, a continuación se presentan las conclusiones derivadas.

V.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA PRIMERA META, PRUEBAS VISCOAMILOGRÁFICAS

- a) El hidróxido de calcio tiene una influencia definitiva en la gelatinización termoalcalina de suspensiones de almidón comercial de maíz.
- b) Durante los experimentos de viscoamilografía de las suspensiones de almidón comercial de maíz, se tiene una primera etapa en la cual no se observan cambios en la viscosidad aparente con el tiempo y la temperatura de gelatinización. Esta etapa debe ser objeto de mayor estudio para lograr optimizar estas variables para variedades ampliamente utilizadas en la industria del maíz para tortillas..
- c) Durante el proceso viscoamilográfico de suspensiones de almidón comercial de maíz, se tiene una segunda etapa con tendencia a una línea recta inclinada.
- d) La etapa del punto anterior puede ajustarse a un modelo de Arrhenius de la siguiente forma: $\ln \mu = -E_a R g^{-1} (T^{-1}) + \ln \mu_0$.
- e) La energía de activación aumenta a bajas concentraciones de Ca(OH)_2 (0.1% b.s.). Al incrementar la concentración inicial de cal a 0.3% b.s., disminuye abruptamente y empieza a subir gradualmente hasta 1.20% b.s., siguiendo una curva asintótica, tal como si se venciera una resistencia para comenzar otra.
- f) Se recomienda realizar experimentos intermedios entre 0.05 y 0.5% de Ca(OH)_2 a manera de aclarar lo que sucede durante esta transición.
- g) Se recomienda llevar a cabo experimentos de reología con un viscosímetro tipo “Brookfield” para comparar resultados.
- h) Se recomienda investigar acerca de la posible aplicación del almidón gelatinizado en presencia hidróxido de calcio como agente viscosante en desarrollo de alimentos, cosméticos y fármacos nuevos.

V.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA SEGUNDA META

V.2.1. Índices de absorción y solubilidad en agua

- a) Los resultados obtenidos presentan muy alta correlación, lo que permite validarlos.
- b) Se encontraron diferencias significativas al 1% al interior de los experimentos de extrusión termoalcalina

- c) Se encontraron diferencias significativas al 1% al interior de los experimentos de nixtamalización
- d) No se encontraron diferencias significativas al 5% al comparar ambos experimentos por el método de “t-student”. Esto indica que se acepta la hipótesis nula para esta variable dependiente (no hay diferencias entre los dos procesos, la nixtamalización tradicional y la extrusión alcalina)
- e) Tanto los productos nixtamalizados como los extrudidos presentan un incremento de esta variable dependiente conforme aumenta la concentración de hidróxido de calcio, así como la humedad de proceso
- f) Las superficies y contornos de respuesta muestran que el incremento que siguen tiene una tendencia cuadrática de un plano inclinado regular y ascendente
- g) Los resultados de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimento y se pueden considerar como los óptimos parciales donde el proceso de extrusión termo alcalina se iguala o se asemeja más al de “nixtamalización”

V.2.2. Variación del calor específico

- a) Aunque a simple vista pareciera haber variación, no se observaron diferencias significativas del calor específico a la temperatura promedio de gelatinización (75.0°C)
- b) Los resultados obtenidos no presentan una correlación lo suficientemente alta como para validarlos al 1% ni al 5%.
- c) No se encontraron diferencias significativas al 5% al interior de los experimentos de extrusión termoalcalina
- d) Se encontraron diferencias significativas al 5% al interior de los experimentos de “nixtamalización”
- e) No se encontraron diferencias significativas al 5% al comparar ambos experimentos por el método de “t-student”, por lo que se acepta la hipótesis nula para esta variable dependiente indicando que los dos procesos, la nixtamalización tradicional y la extrusión alcalina, son similares para las variaciones de calor específico
- f) Tanto los productos nixtamalizados como los extrudidos presentan un incremento de esta variable dependiente conforme aumenta la concentración de hidróxido de calcio, así como la humedad de proceso
- g) Para los experimentos de extrusión, las superficies y contornos de respuesta no muestran regularidad
- h) Para los experimentos de “nixtamalización”, las superficies y contornos de respuesta muestran un incremento de un plano inclinado regular y ascendente
- i) Este incremento sigue una tendencia cuadrática de un plano inclinado ascendente
- j) Los resultados de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimento y se pueden considerar como los óptimos parciales donde el proceso de extrusión termo alcalina se iguala o se asemeja más al de “nixtamalización”

V.2.3. Cinética en el interior del extrusor

- a) Se encontró que el índice de absorción de agua se incrementa a lo largo del dato del extrusor siguiendo una recta con ordenada al origen. Lo que permite presuponer una cinética de primer orden aparente

- b) Se encontró que la velocidad de gelatinización del almidón calculada por la ecuación

$$-r_A = \frac{X_A * F_{A0}}{\left[\pi * r_3^2 * (h_2 - h_1) \right] - \left[\frac{\pi}{3} * (h_2 - h_1) * (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) \right]}$$

a lo largo del dado del extrusor sigue una recta con ordenada al origen. Esto permite presuponer una cinética de primer orden aparente

V.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TERCERA META, CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES

- Los resultados obtenidos presentan una correlación muy alta que permite validarlos
- Se encontraron diferencias significativas al 5% al interior de los experimentos de extrusión termoalcalina lo que significa que los azúcares reductores aumentan conforme se incrementa la concentración de hidróxido de calcio y la humedad
- Se encontraron diferencias significativas al 5% al interior de los experimentos de nixtamalización con el mismo comportamiento que para los experimentos de extrusión alcalina
- No se encontraron diferencias significativas al 5% al comparar ambos experimentos por el método de “t-student”. Esto significa que ambos procesos son similares, cumpliéndose también la hipótesis nula para esta variable dependiente
- Las superficies y contornos de respuesta muestran incrementos que siguen una tendencia cuadrática de un plano inclinado regular y ascendente
- Los resultados de los testigos o sustancias de control quedan dentro del diseño de experimento y se pueden considerarse como los óptimos parciales donde el proceso de extrusión termo alcalina se iguala o se asemeja más al de “nixtamalización

Respecto de las recomendaciones de esta investigación, resaltan las siguientes:

- Realizar experimentos de cristalografía o rayos X para corroborar la penetración del ión calcio en la red almidonosa
- Realizar estudios reológicos con otros equipos, como el viscosímetro Brookfield para corroborar el comportamiento de estas masas
- Desde, el punto de vista de ciencia básica, podrían realizarse estudios con microscopía electrónica de iones para estudiar la estructura real de la red almidonosa modificada por el tratamiento térmico-alcalino

- Estudiar el efecto conjunto de las redes almidonosas con las proteínas del maíz y después con las grasas del germen que podrían estar actuando como agentes plastificantes también.

Existen todavía muchas incógnitas en torno al proceso de nixtamalización que deben ser estudiadas, ya que gracias a este proceso el calcio se vuelve bioasimilable y esta propiedad se mantiene a bajas concentraciones de hidróxido de calcio en los productos extrudidos.

Asimismo, se tienen muchas aplicaciones potenciales para estos productos modificados alcalinamente con hidróxido de calcio.

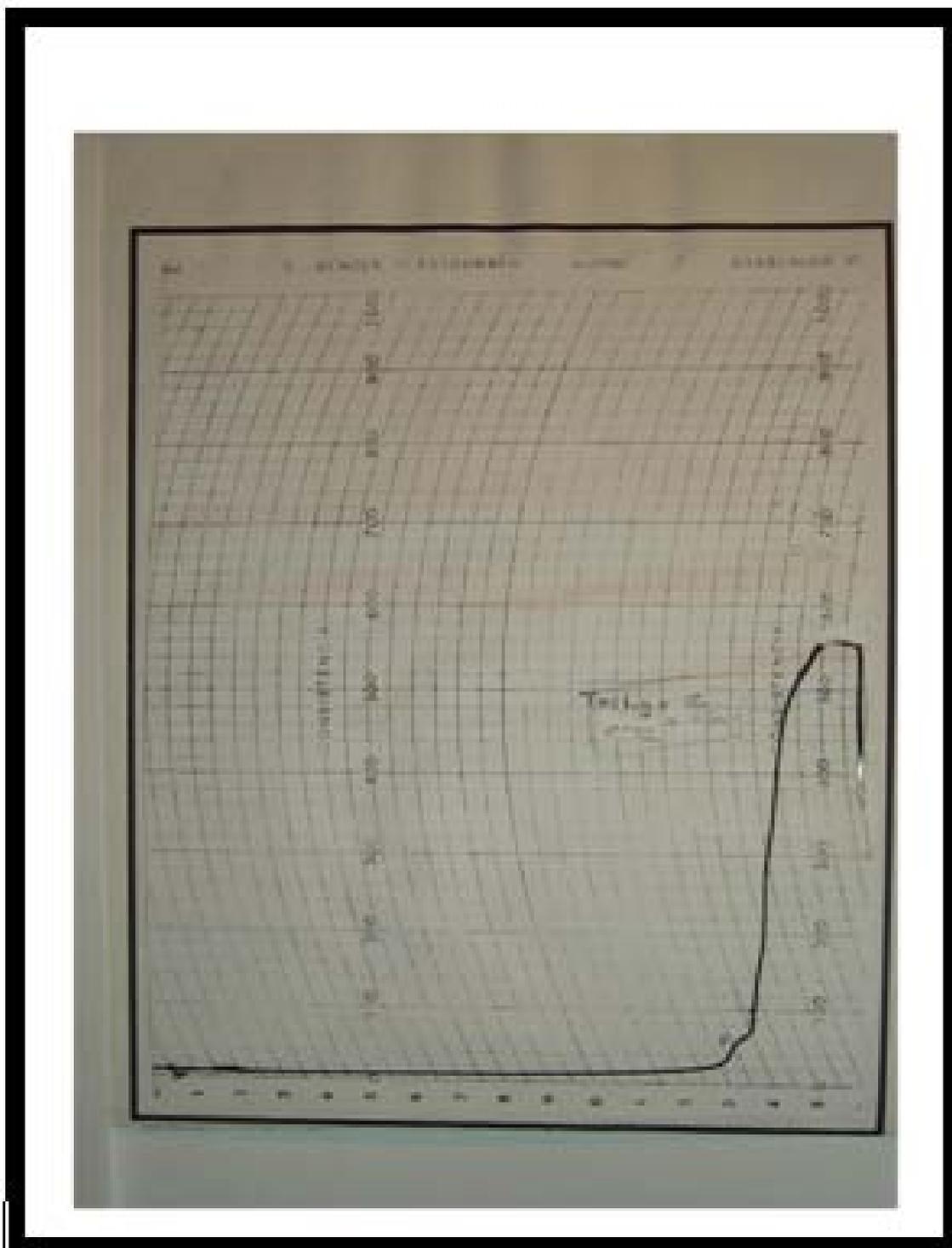
APÉNDICE A

ESTUDIOS VISCOAMILOGRÁFICOS

APÉNDICE A.1

**FIGURAS VISCOAMILOGRÁFICAS
ORIGINALES**

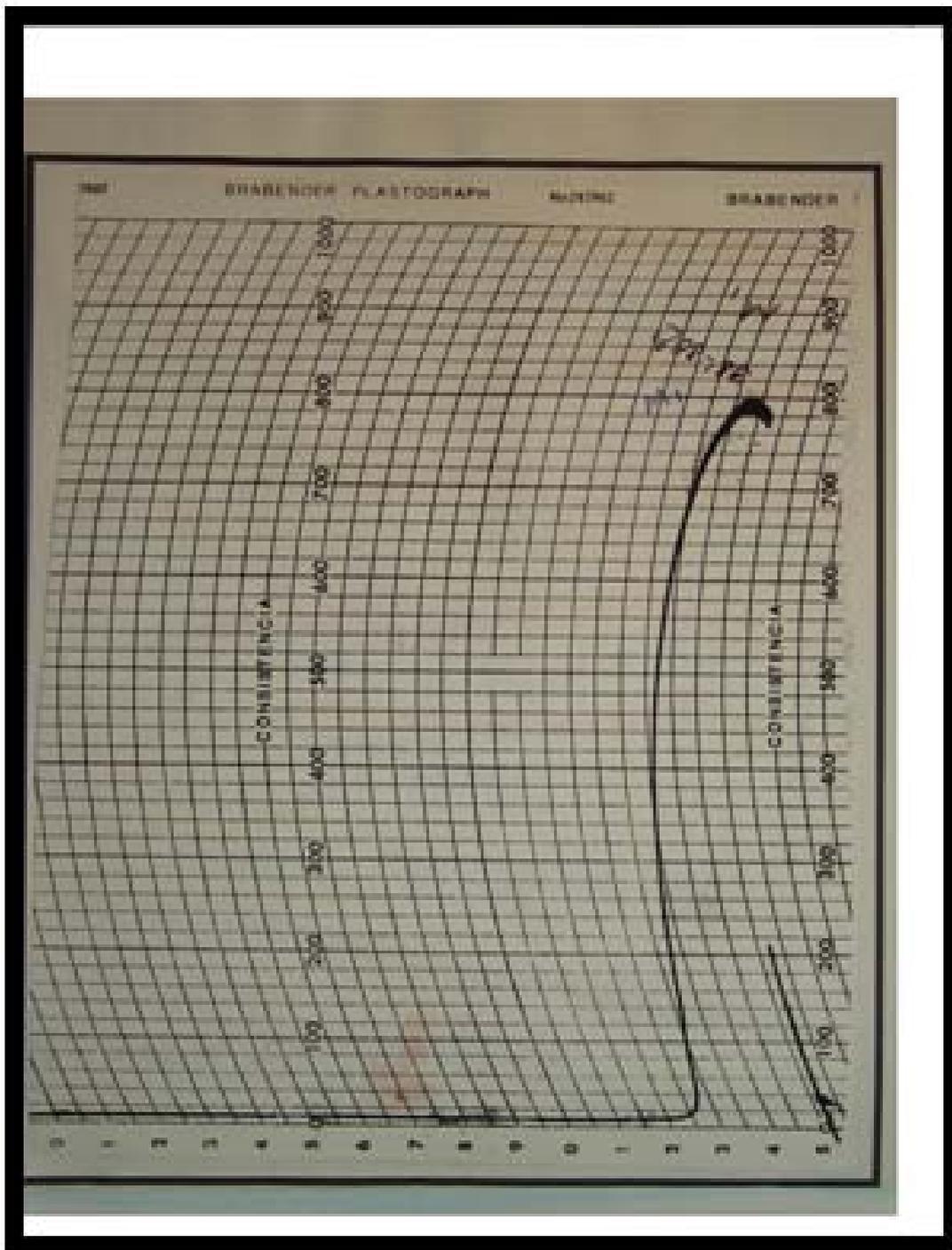
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.1 Viscoamiliograma para 0.0% de Ca(OH)_2 (T-1)

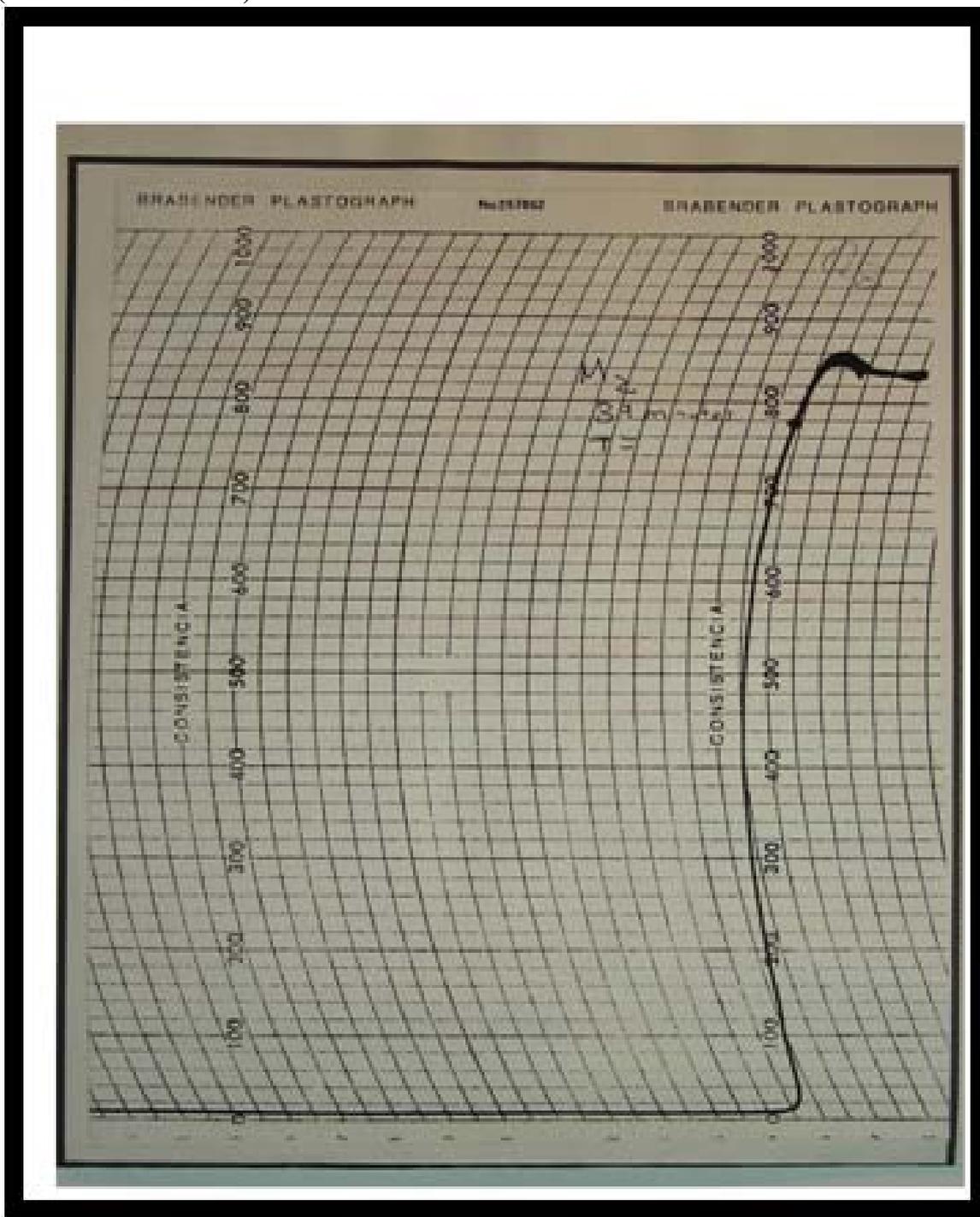
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.2. Viscoamilograma para 0.1 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (M1)

**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.3. Viscoamilograma para 0.3 % de Ca(OH)_2 (M2)

**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**

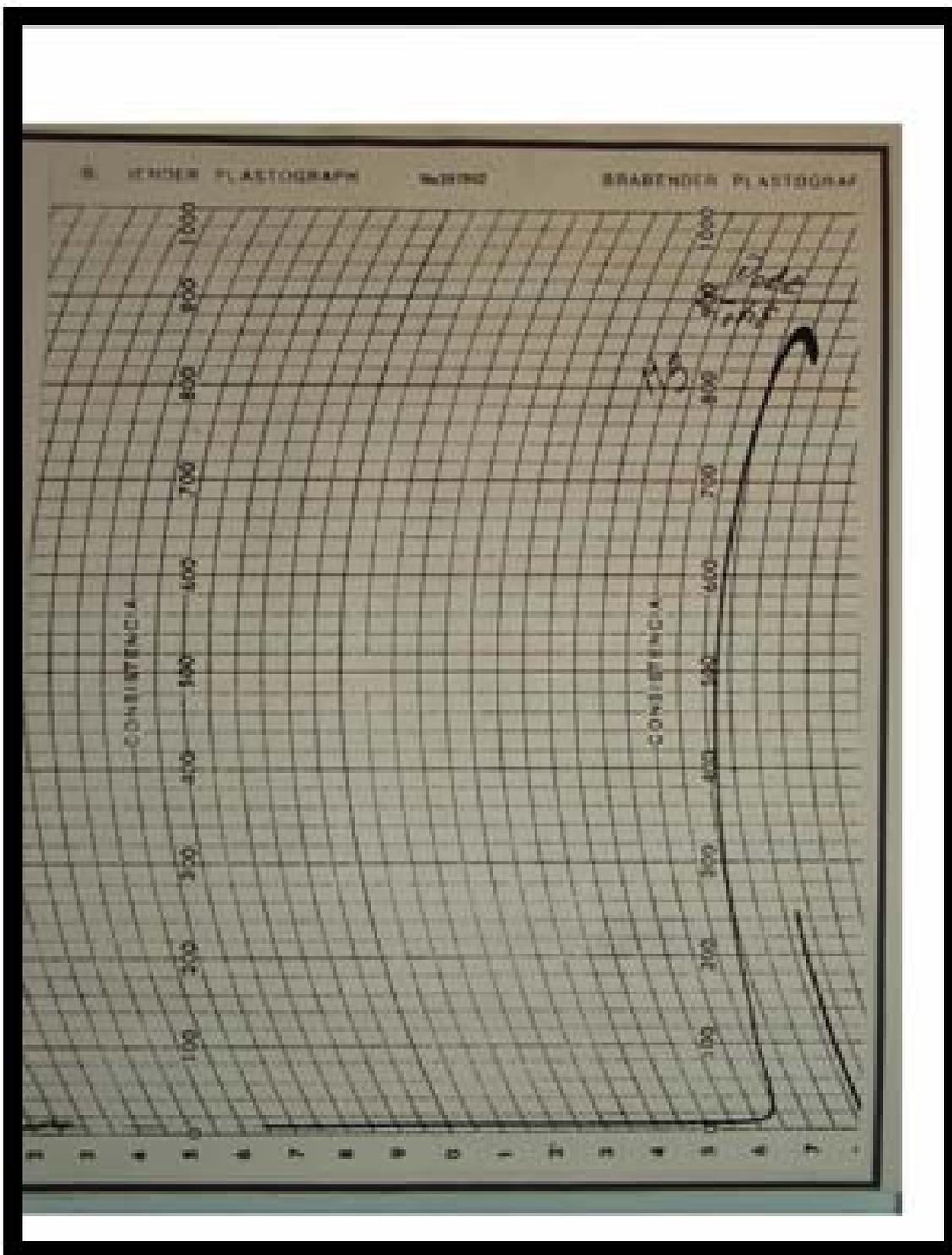
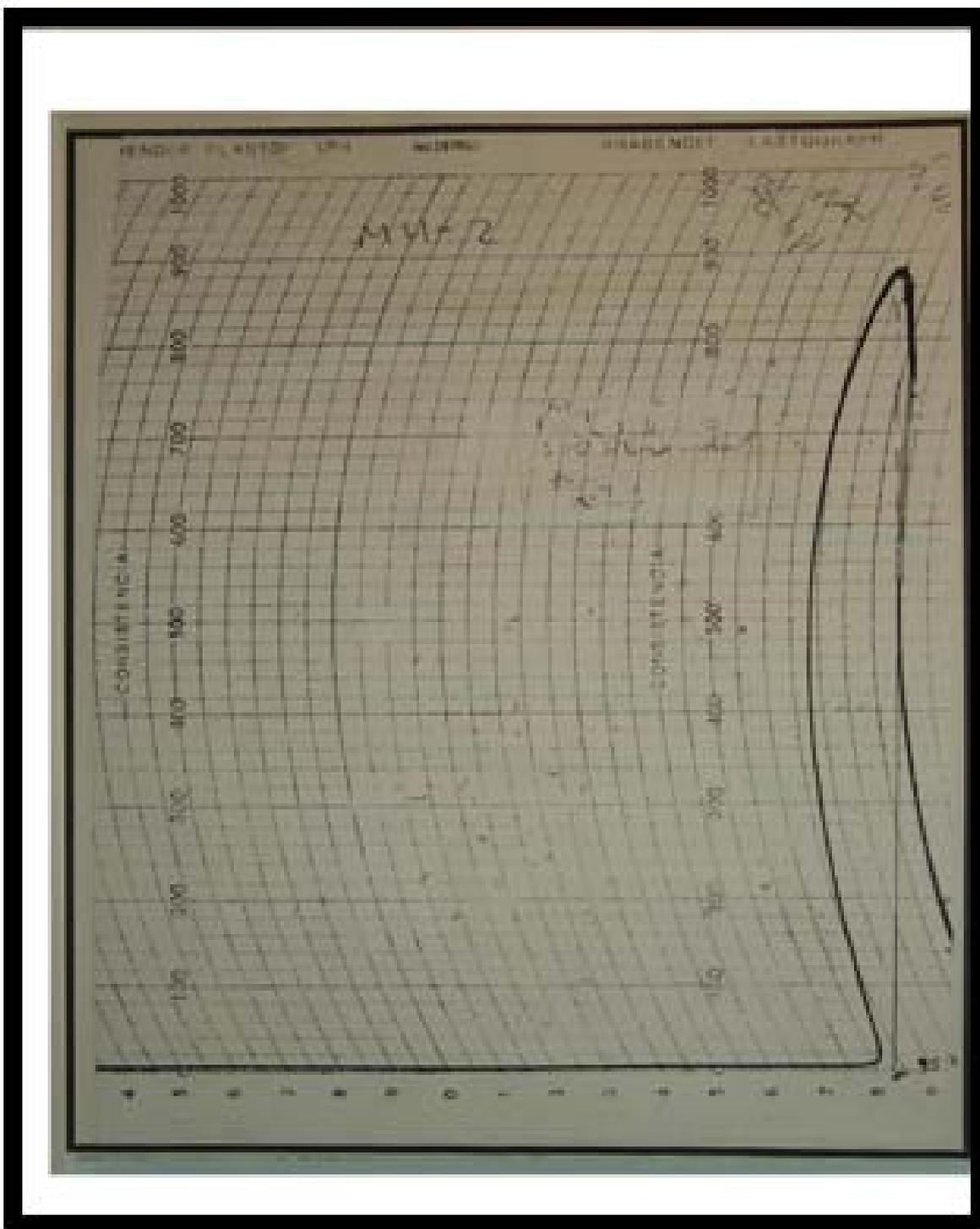


Figura A.1.4. Viscoamilograma para 0.5 % de Ca(OH)_2 (M3) Temperatura (K)

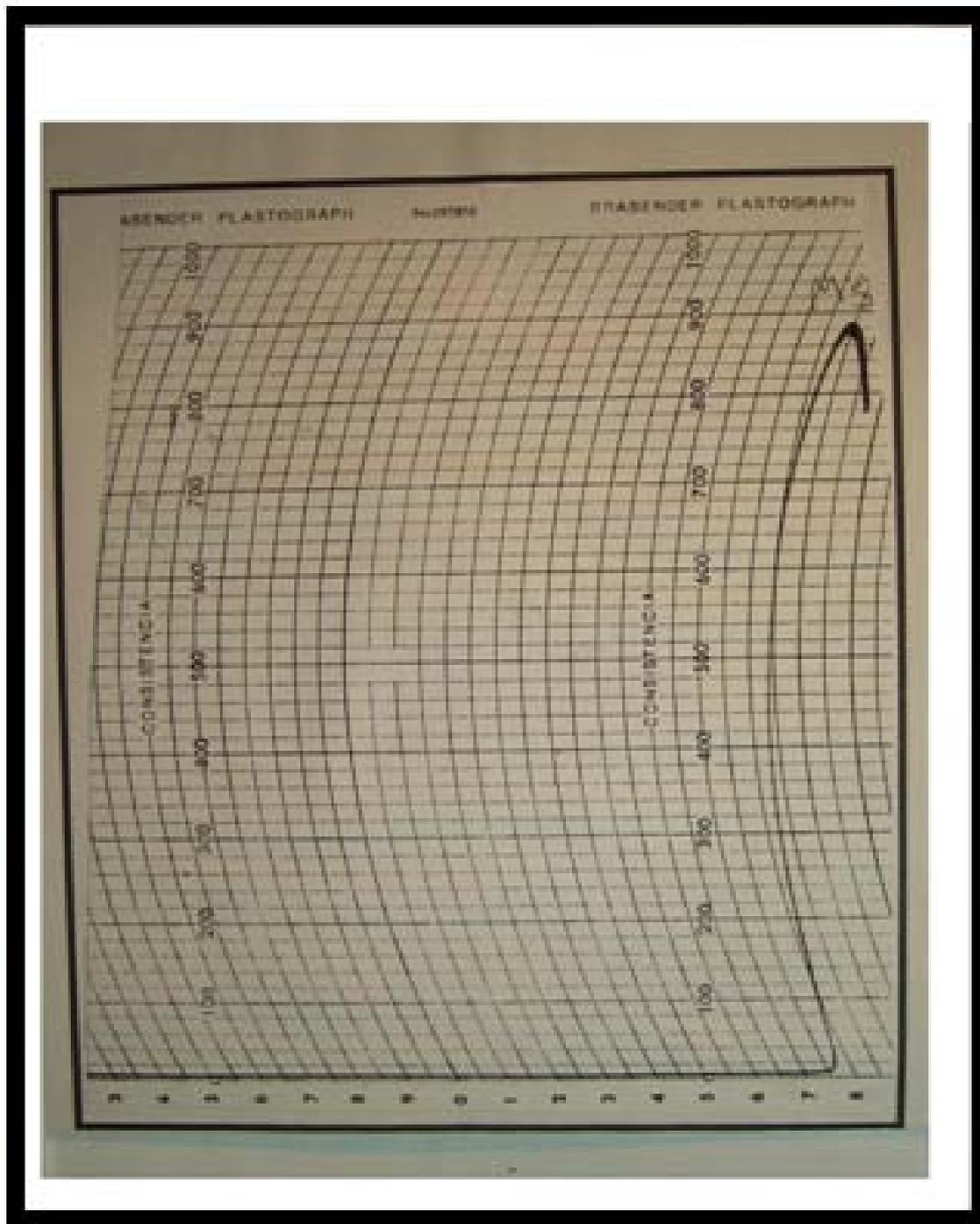
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.5. Viscoamlograma para 0.8% de Ca(OH)_2 (M4)

**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**

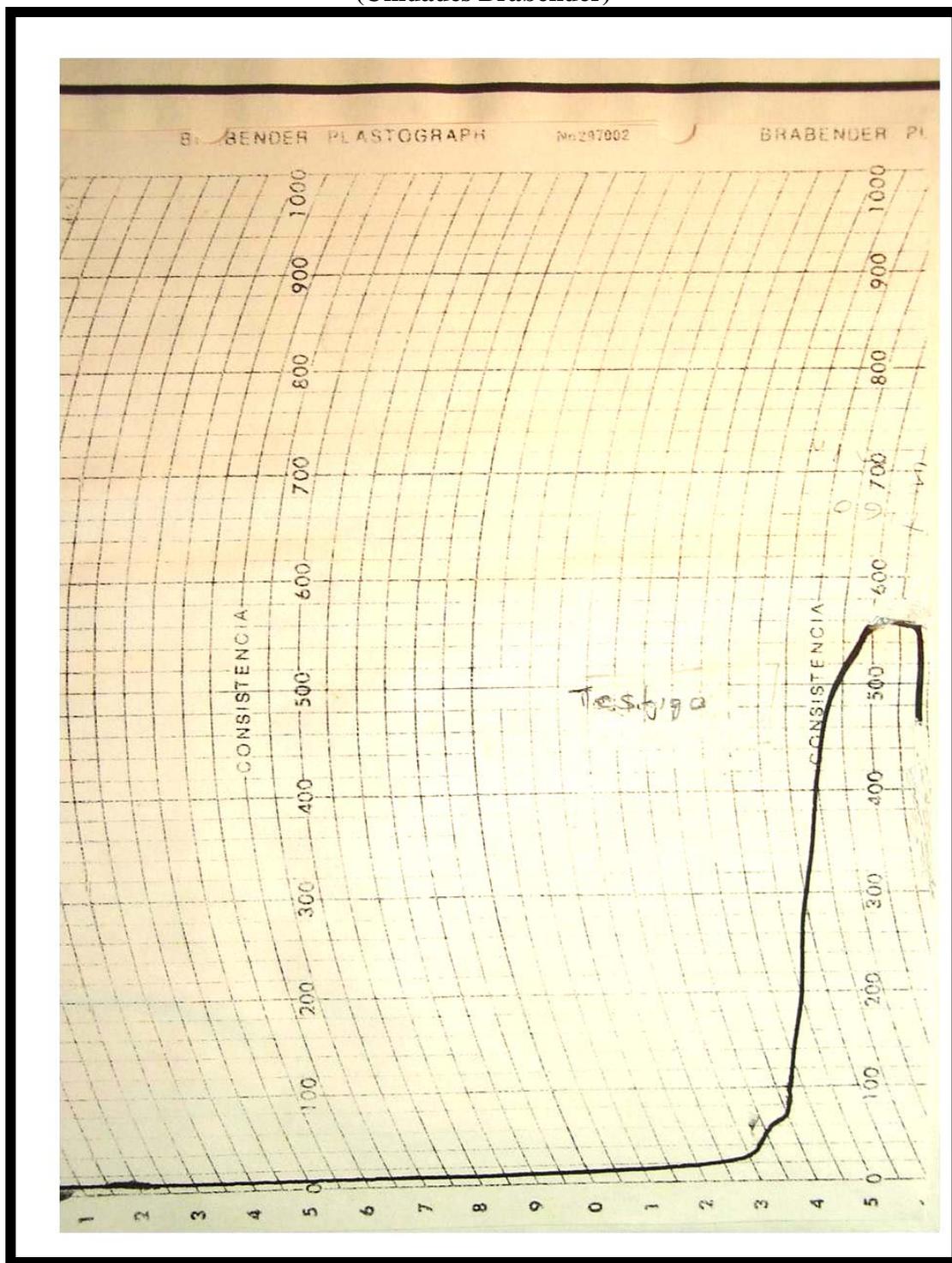


Temperatura (K)

Figura A.1.6. Viscoamilograma para 1.20% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (M5)

Viscosidad aparente

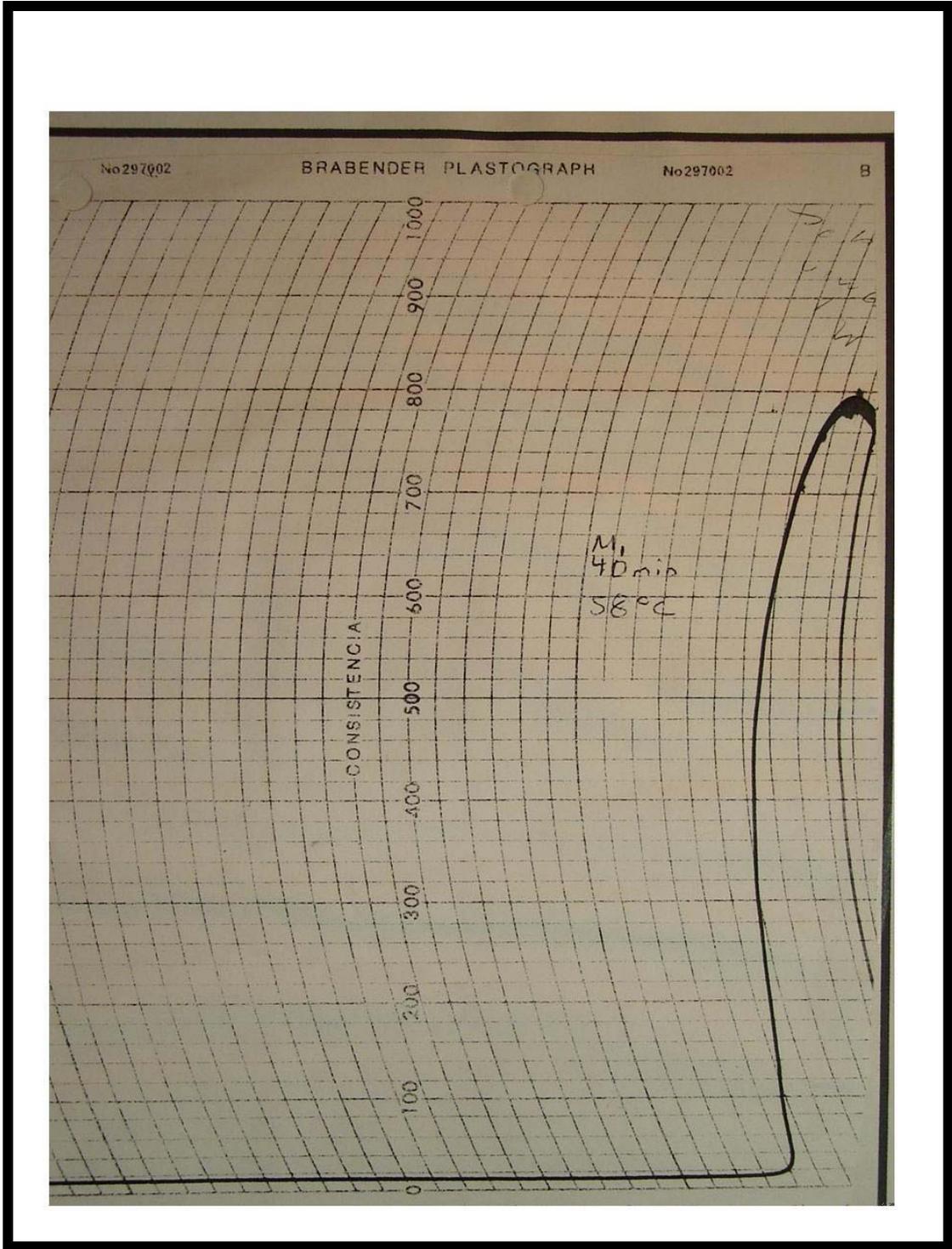
(Unidades Brabender)



Temperatura (K)

Figura A.1.7. Viscoamilograma para 0.0% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (T-2)

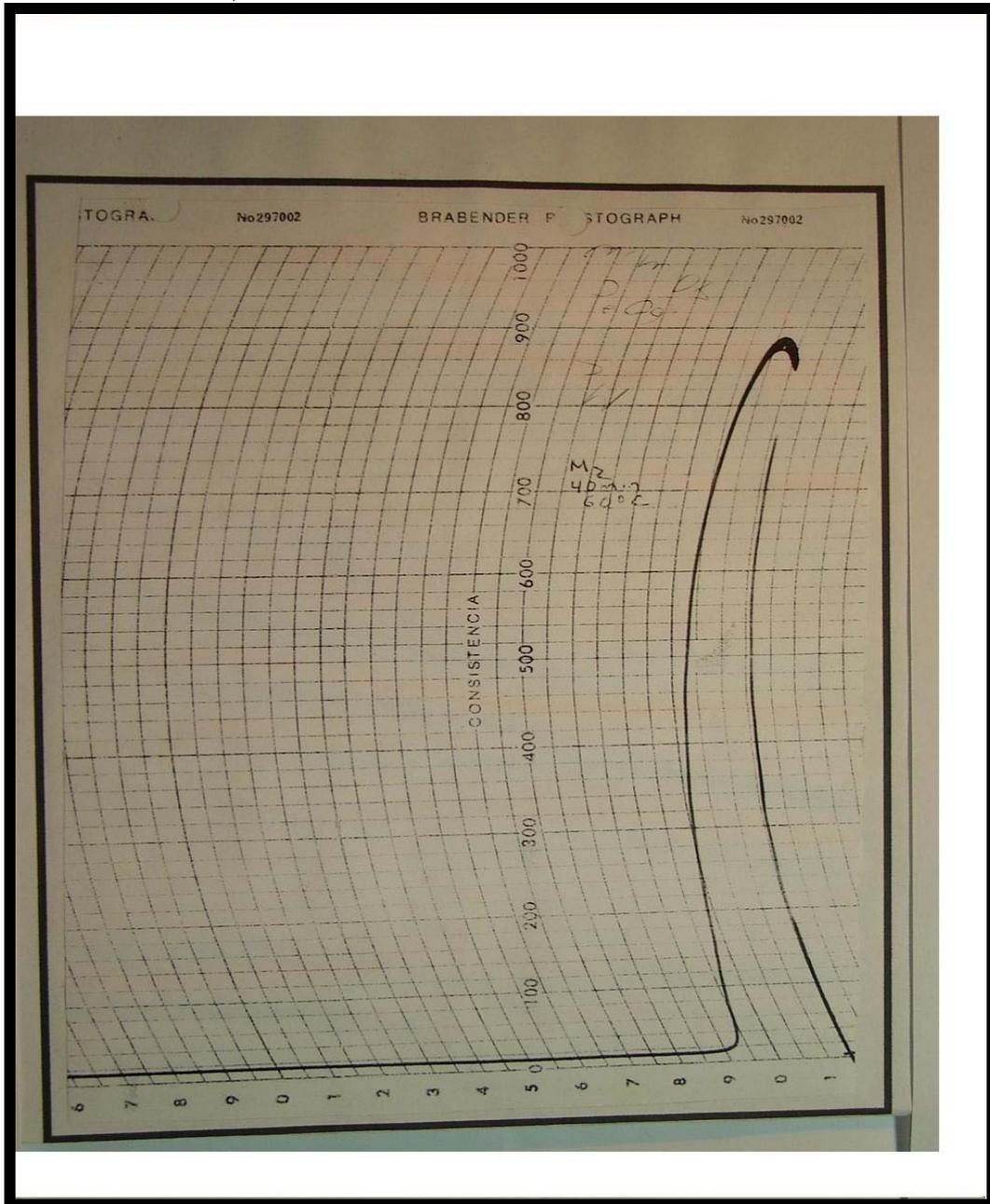
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.8 Viscoamilograma para 0.1% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (MA1)

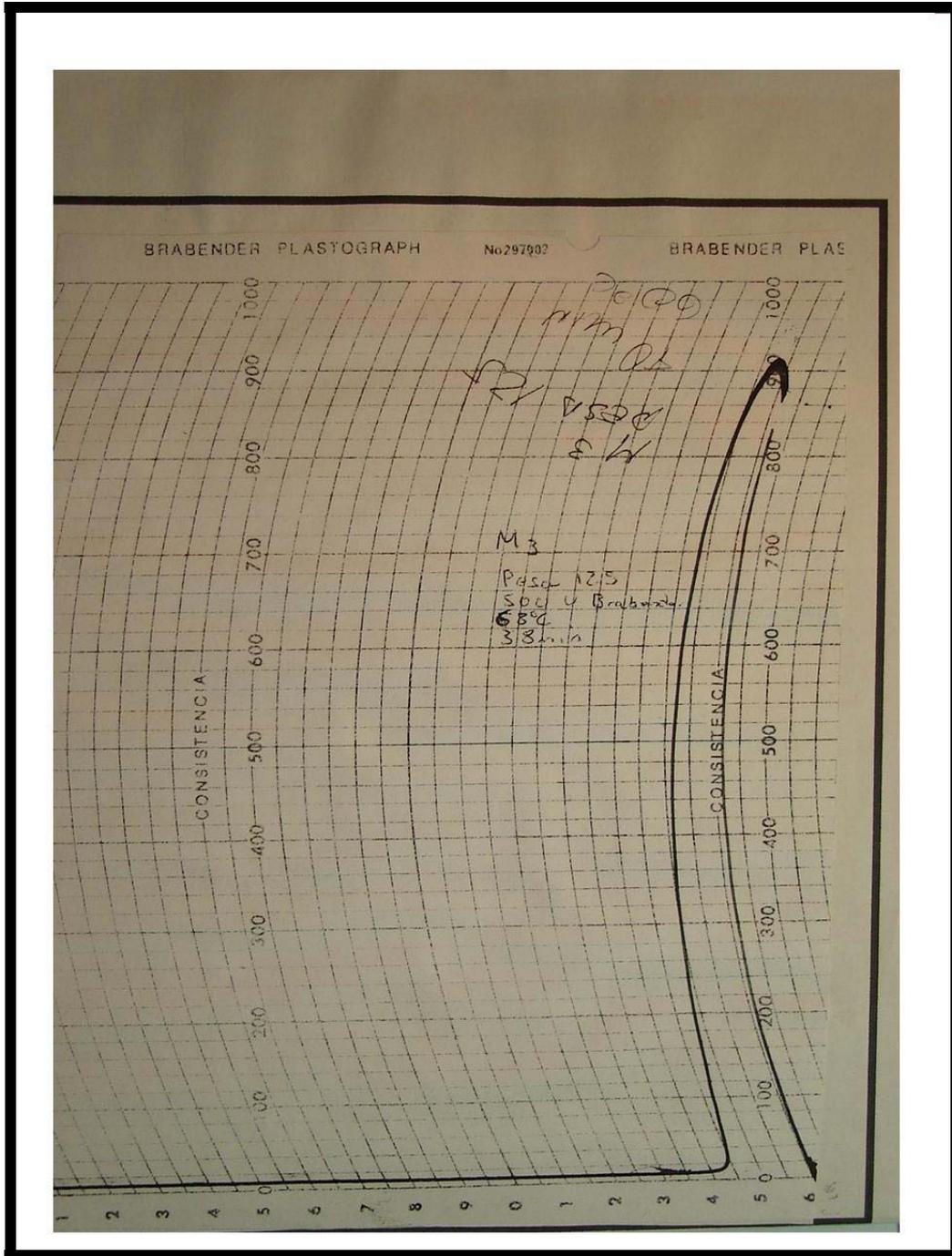
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.9. Viscoamilograma para 0.3% de Ca(OH)_2 (MA2)

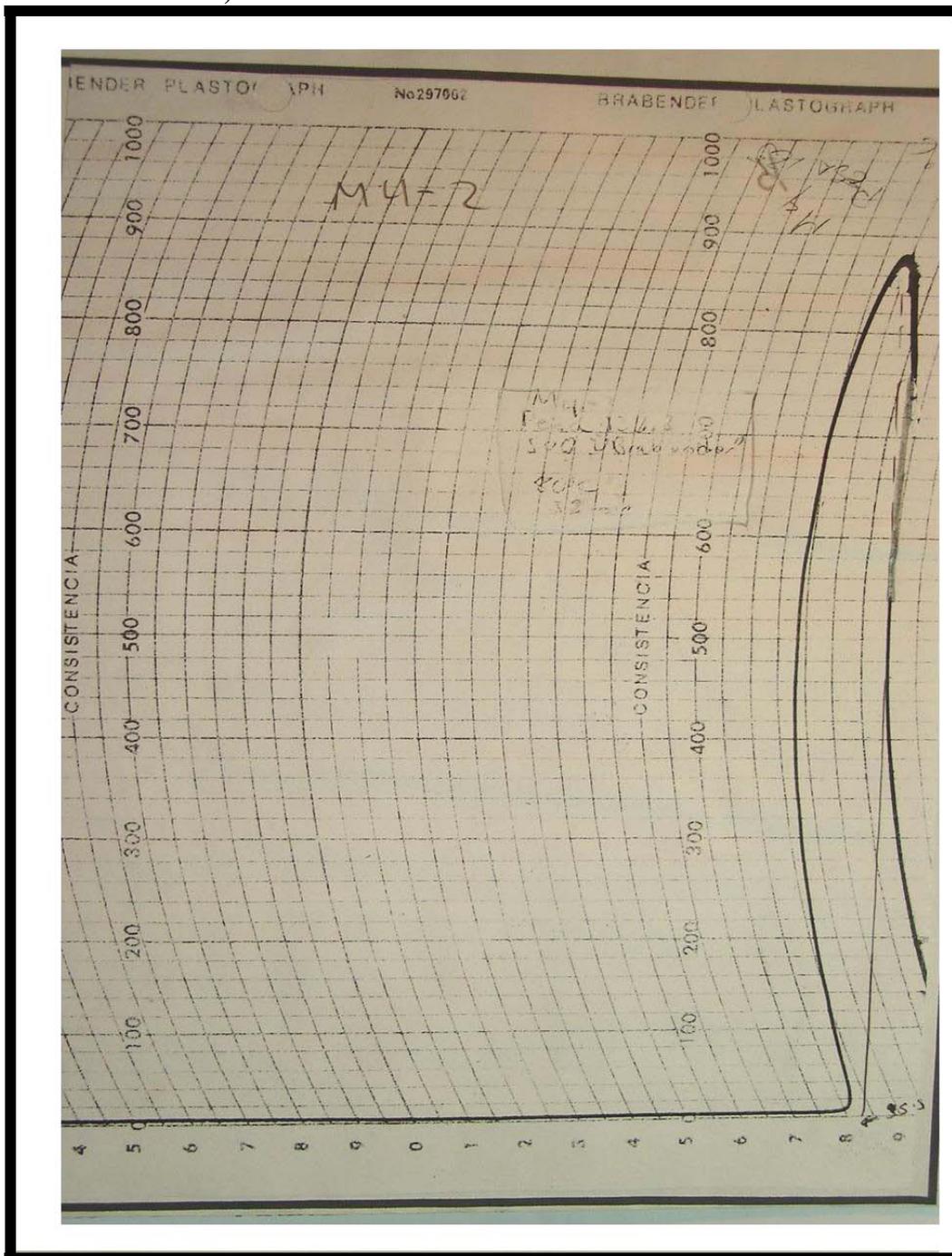
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.10. Viscoamilograma para 0.5% de Ca(OH)_2 (MA3)

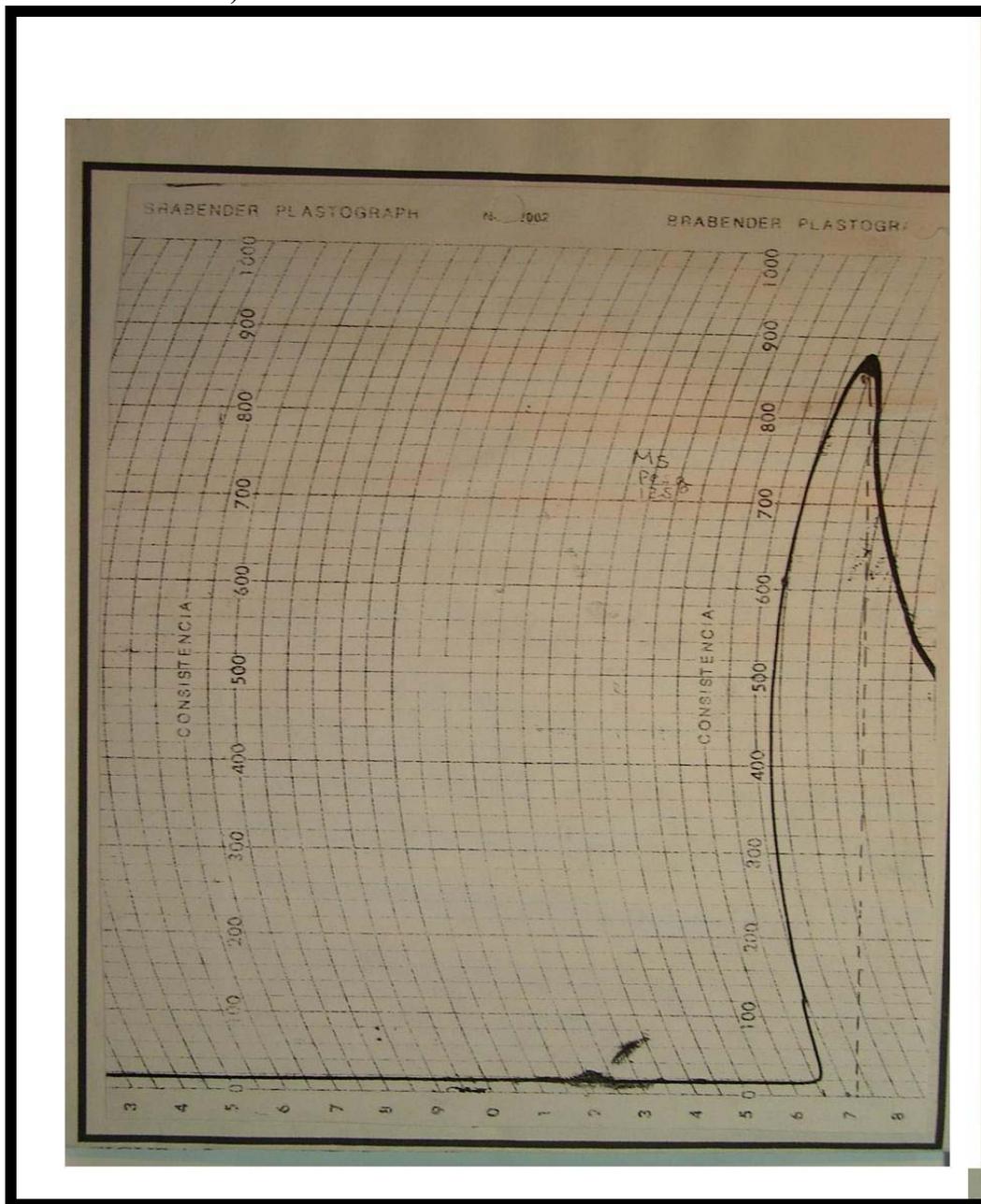
**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.11. Viscoamilograma para 0.8% de Ca(OH)_2 (MA4)

**Viscosidad aparente
(Unidades Brabender)**



Temperatura (K)

Figura A.1.12. Viscoamilograma para 1.20 % de Ca(OH)₂ (MA5)

APÉNDICE A.2

TABLAS Y FIGURAS VISCOAMILOGRÁFICAS DE ANÁLISIS

Tabla A.2.1. Primera corrida de muestras de almidón de maíz en el viscoa milógrafo “Brabender”

PUNTO DE GRÁFICA	MUESTRA	% Ca(OH)₂	GRAMOS DE SÓLIDOS	GRAMOS DE H₂O	TIEMPO DE GELATINIZACIÓN (MINUTOS)	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN	VISCOSIDAD DE GELATINIZACIÓN (U. BRABENDER)
1	T-1	0.00	40.00	490.00	41.00	86.50	568.00
2	M1	0.10	40.00	490.00	38.00	82.00	800.00
3	M2	0.30	40.00	490.00	36.50	80.00	860.00
4	M3	0.50	40.00	490.00	34.50	76.75	975.00
5	M4	0.80	40.00	490.00	33.50	77.50	1380.00
6	M5	1.20	40.00	490.00	33.50	75.25	1390.00

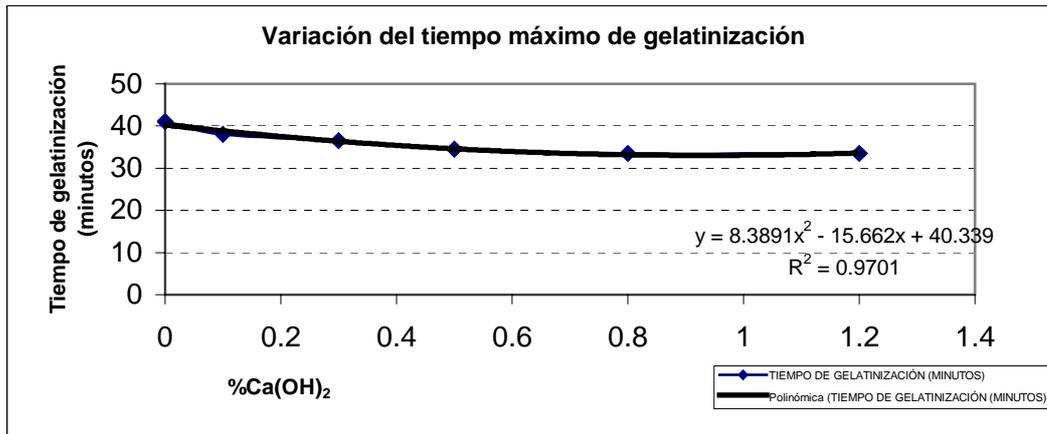


Figura A.2.1. Variación del tiempo de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

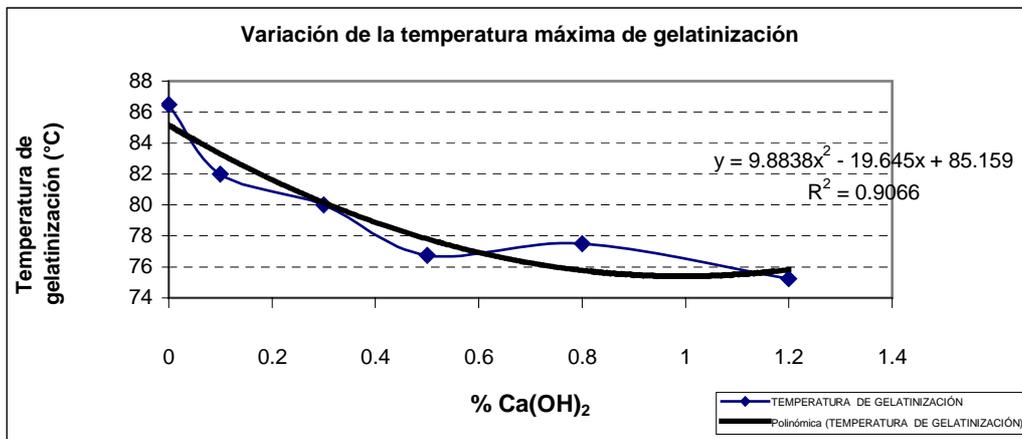


Figura A.2.2. Variación de la temperatura de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

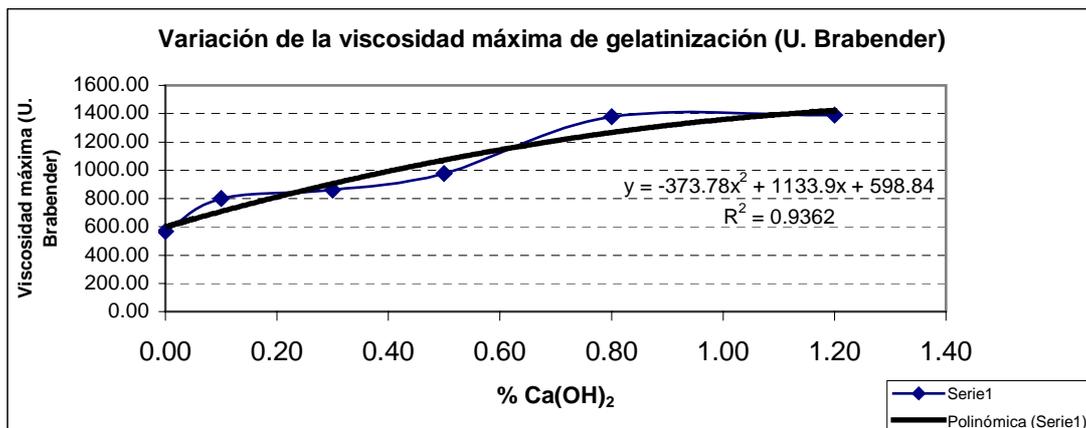


Figura A.2.3. Variación de la viscosidad aparente en unidades "Brabender" en función de la concentración concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

Tabla A.2.2. Segunda corrida de muestras de almidón de maíz en el viscoamilógrafo "Brabender"

PUNTO DE GRÁFICA	MUESTRA	% Ca(OH)₂	GRAMOS DE SÓLIDOS	GRAMOS DE H₂O	TIEMPO DE GELATINIZACIÓN (MINUTOS)	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN	VISCOSIDAD DE GELAINIZACIÓN (U. BRABENDER)
1	T-2	0.00	40.00	490.00	41.00	86.50	570.00
2	MA1	0.10	40.00	490.00	43.00	89.50	790.00
3	MA2	0.30	40.00	490.00	40.00	85.50	880.00
4	MA3	0.50	40.00	490.00	40.00	83.50	985.00
5	MA4	0.80	40.00	490.00	35.50	77.50	1385.00
6	MA5	1.20	40.00	490.00	33.50	75.50	1390.00

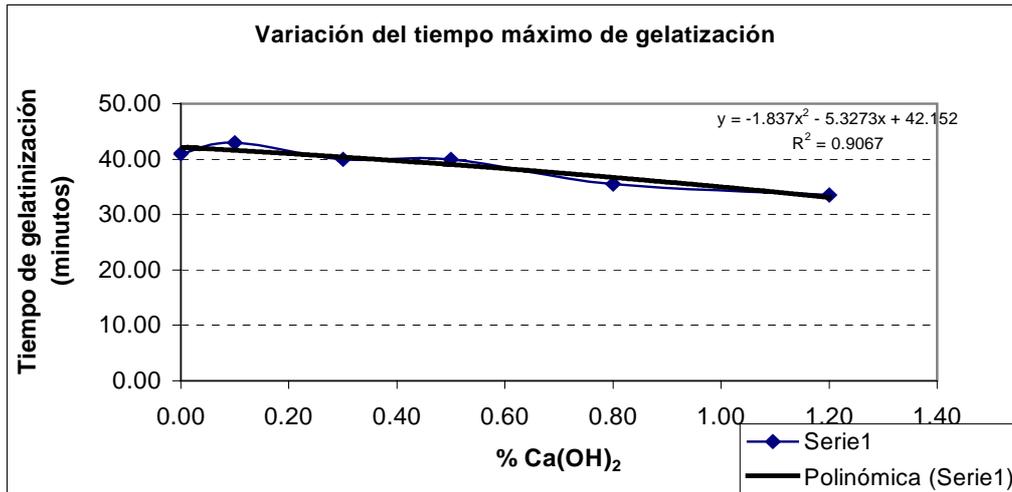


Figura A.2.4. Variación del tiempo de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

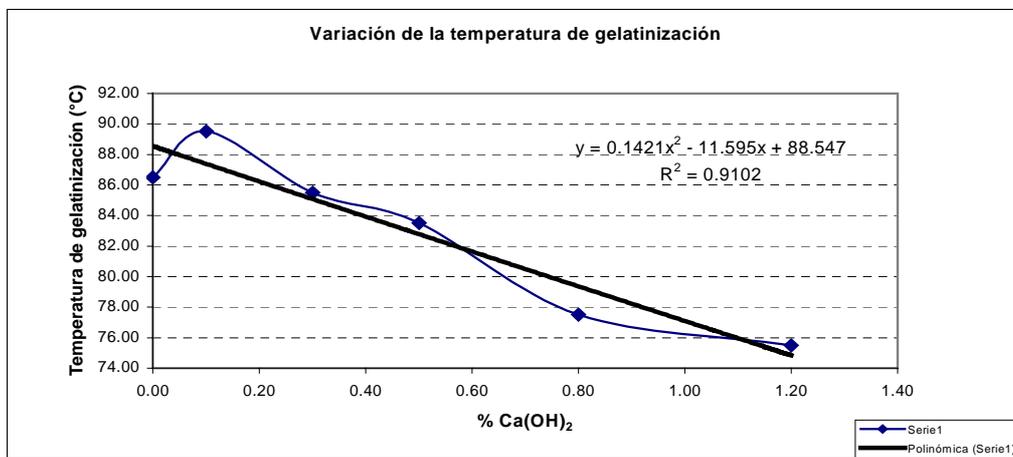


Figura A.2.5. Variación de la temperatura de gelatinización en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

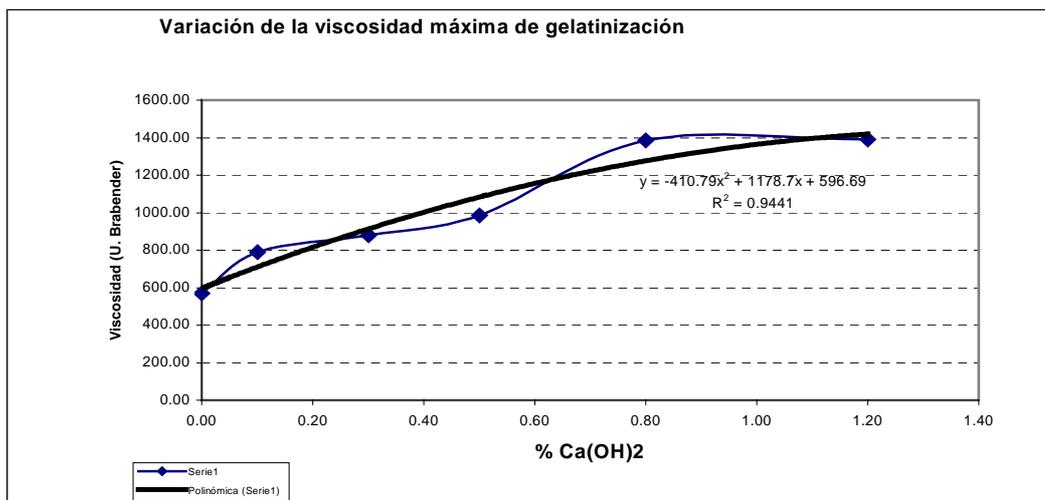


Figura A.2.6. Variación de la viscosidad aparente en unidades "Brabender" en función de la concentración de hidróxido de calcio en experimentos de viscoamilografía

Tabla A.2.3. Promedios de los datos de las Tablas A.2.1 y A.2.2

PRIMERA CORRIDA									
% Ca(OH)₂ b.s.	Tiempo de gelatinización (minutos)	Temperatura de gelatinización (°C)	Viscosidad de gelatinización (U. Brabender) μ	1/μ	SEGUNDA CORRIDA				
% Ca(OH)₂ b.s.	Tiempo de gelatinización (minutos)	Temperatura de gelatinización (°C)	Viscosidad de gelatinización (U. Brabender) μ	1/μ	% Ca(OH)₂ b.s.	Tiempo de gelatinización (minutos)	Temperatura de gelatinización (°C)	Viscosidad de gelatinización (U. Brabender) μ	1/μ
0.00	41.00	86.50	568.00	0.001760563	0.00	41.00	86.50	570.00	0.001754386
0.10	38.00	82.00	800.00	0.001250000	0.10	43.00	89.50	790.00	0.001265823
0.30	36.50	80.00	860.00	0.001162791	0.30	40.00	85.50	880.00	0.001136364
0.50	34.50	76.75	975.00	0.001025641	0.50	40.00	83.50	985.00	0.001015228
0.80	33.50	77.50	1380.00	0.000724638	0.80	35.50	77.50	1380.00	0.000724638
1.20	33.50	75.25	1390.00	0.000719424	1.20	33.50	75.50	1390.00	0.000719424
PROMEDIO % Ca(OH)₂ b.s.	Tiempo (min.)	Temperatura de gelatinización °C	Temperatura de gelatinización K	(Temperatura de gelatinización)⁻¹ 1 / K	Viscosidad de gelatinización (U. Brabender) μ	(Viscosidad de gelatinización)⁻¹ (U. Brabender) 1/μ	ln (1/μ)		
0.00	41	86.5	359.65	0.002780481	569	0.001757469	2.755112266		
0.10	40.5	85.75	358.9	0.002786291	795	0.001257862	2.900367129		
0.30	38.25	82.75	355.9	0.002809778	870	0.001149425	2.939519253		
0.50	37.25	80.125	353.275	0.002830656	980	0.001020408	2.991226076		
0.80	34.5	77.5	350.65	0.002851847	1380	0.000724638	3.139879086		
1.20	33.5	75.375	348.525	0.002869235	1395	0.000716846	3.144574208		

APÉNDICE B

TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS PARA LOS RESULTADOS DE LA SEGUNDA Y TERCERA METAS

APÉNDICE B.1

MATERIAS PRIMAS

Tabla B.1.1. Análisis físico de los granos en comparación a la Norma Oficial Mexicana NOM-F46-S-1980

Grano	Blanco	Metodología
Impurezas totales (g/100g)	3.852	Villegas y col., 1990
Picados (g/100g)	2.022	Villegas y col., 1990
Rotos (g/100g)	1.232	Villegas y col., 1990
Insectos (g/1100g)	0.598	Villegas y col., 1990
Otras variedades (g/100g)	0.000	Villegas y col., 1990
Peso hectolítrico (kg)	74.19	Villegas y col., 1990
Densidad aparente (kg/L, por tolueno)	1.7171	Villegas y col., 1990

Una vez molido el maíz y conservada la cascarilla como parte de la harina integral y comparada contra testigos nixtamalizados la composición física y química se muestra en la Tabla B.1.2.

Tabla B.1.2. Medias de los análisis bromatológicos para diferentes tipos de harinas

Análisis bromatológico de las harinas en comparación a la Norma Oficial Mexicana NOM-F46-S-1980					
Harina de maíz	Blanco cruda	Nixtamal blanco	MINSA	MASECA	Metodología
Granulometría Malla 100	30.002	29.170	28.050	25.199	Villegas y col., 1990
Granulometría Malla 80	42.012	39.061	38.022	42.867	Villegas y col., 1990
Granulometría Malla 40	13.099	13.055	13.187	10.518	Villegas y col., 1990
Granulometría (finos por diferencia)	14.887	18.714	20.471	21.416	Villegas y col., 1990
Grasa (g/100g)	4.921	4.696	4.752	4.677	AOAC 7.062, 1984
Proteína (g/100g)	9.829	9.775	11.864	10.608	AOAC 2.054, 1984
Ceniza (g/100g)	1.857	2.336	2.440	2.330	AOAC 14.006, 1984
Humedad (g/100g)	12.737	10.046	10.701	10.133	AOAC 14.02, 1984
La fracción almidonosa (“fécula”) (g/100g)	21.34	23.984	19.65	18.642	INIFAP-1990
Otros sólidos almidonosos	50.684	49.163	50.953	53.61	Diferencia

Se realizó un análisis bromatológico y granulométrico en el Laboratorio de Desarrollo de Tecnologías más Limpias de la Facultad de Química de la UNAM a los almidones feculentos obtenidos de los granos nixtamalizados como a la fécula comercial de maíz y se muestra en la Tabla B.1.2a.

Tabla B.1.2a. Análisis bromatológico y granulométrico para la fécula de maíz empleada (“Maizena”)

	Fécula comercial de maíz %	Fécula obtenida de maíz nixtamalizado
Granulometría Malla 100	0.00	0.00
Granulometría Malla 80	0.00	0.00
Granulometría Malla 40	0.00	0.00
Granulometría (finos por diferencia)	100.00	100.00
Grasa (g/100g)	0.00	0.00
Proteína (g/100g)	0.00	0.00
Ceniza (g/100g)	0.7127	0.85
Humedad (g/100g)	9.6545	7.24
Almidón (g/100g)	89.6328	91.91
% de amilopectina en el almidón	26.54	32.56
% de la fracción amilosa en el almidón	73.46	67.44

Tabla B.1.3. Variación de los índices de absorción y solubilidad para almidón de maíz obtenidos de granos enteros de maíz “nixtamalizado”

<p align="center">ENDOSPERMO ALMIDONOSO DE MAÍZ (TESTIGO) DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN (IAA) Y SOLUBILIDAD (ISA) EN AGUA DE ENDOSPERMO ALMIDONOSO DE MAÍZ “NIXTAMALIZADO” PRIMERA CORRIDA, PRIMER ANÁLISIS</p>										
MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO(g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO(g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
MN1	88.1001	4.0578	50.0000	88.1922	105.5445	0.0921	17.3523	MN1	4.3755957	0.02269703
MN1	105.1881	4.0700	50.0000	105.2842	122.6540	0.0961	17.3698	MN1	4.3709706	0.02361179
MN1	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	121.5600	0.0943	16.6799	MN1	4.2434395	0.02341615
								MEDIA 1	4.330002	0.02324166
								Coc. Var	1.0254432	1.10551307
MN2	96.7301	4.0077	50.0000	96.7985	114.4355	0.0684	17.6370	MN1	4.4771914	0.01706715
MN2	104.7808	4.0225	50.0000	104.8541	122.5601	0.0733	17.7060	MN1	4.4834397	0.0182225
MN2	102.4670	4.0588	50.0000	102.5647	119.4012	0.0977	16.8365	MN1	4.2504607	0.02407115
								MEDIA 2	4.4036973	0.01978693
								Coc. Var	1.1193944	0.98729077
MN3	99.6100	4.0025	50.0000	99.6947	114.2870	0.0847	14.5923	MN1	3.7246159	0.02116177
MN3	160.6178	4.0058	50.0000	160.6979	175.6540	0.0801	14.9561	MN1	3.8097919	0.01999601
MN3	102.1618	4.0080	50.0000	102.2378	119.0178	0.0760	16.7800	MN1	4.2675917	0.01896716
								MEDIA 3	3.9339998	0.02004165
								Coc. Var	0.9316609	0.95330133
								MEDIA GENERAL	4.2225663	0.02102341

Tabla B.1.4. Análisis de la varianza para los datos del contenido de azúcares reductores del almidón obtenido de gránulos de maíz entero nixtamalizado

<p style="text-align: center;">ENDOSPERMO ALMIDONOSO DE MAÍZ (TESTIGO) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES DE ENDOSPERMO ALMIDOSO DE MAÍZ NIXTAMALIZADO PRIMERA CORRIDA, PRIMER ANÁLISIS</p>													
MUESTRA	% HUMEDAD B.S. MUESTRA (A)	% HUMEDAD B.S. MUESTRA (B)	% HUMEDAD B.S. MUESTRA (C)	PESO (gramos) MUESTRA (A)	PESO (gramos) MUESTRA (B)	PESO (gramos) MUESTRA (C)	ABSORBAN- CIA (nm) MUESTRA (A)	ABSORBAN- CIA (nm) MUESTRA (B)	ABSORBAN- CIA (nm) MUESTRA (C)	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹) MUESTRA (A) E-05	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹) MUESTRA (B) E-05	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹) MUESTRA (C) E-05	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹) PROMEDIO E-05
MN1	10.0014	9.4554	9.4545	0.1055	0.108	0.206	0.230	0.154	0.207	0.00084	0.00057	0.00076	0.00072
MN1	9.6522	9.4545	9.4455	0.1078	0.105	0.208	0.246	0.162	0.207	0.00090	0.00060	0.00076	0.00075
MN1	9.6540	9.5550	9.4545	0.1077	0.106	0.202	0.208	0.185	0.206	0.00076	0.00068	0.00076	0.00073
	9.7692	9.4883	9.4515	0.1070	0.1063	0.2053	0.2280	0.1670	0.2066	0.0008	0.0006	0.0008	0.0007
													Coc. Var
													0.9669
MN2	9.4545	9.4578	9.4870	0.1052	0.1	0.213	0.223	0.218	0.216	0.00082	0.00080	0.00079	0.00080
MN2	10.5000	10.5300	9.7474	0.1054	0.109	0.211	0.206	0.204	0.218	0.00076	0.00075	0.00080	0.00077
MN2	8.9555	9.7586	9.7784	0.1048	0.104	0.204	0.217	0.208	0.218	0.00080	0.00076	0.00080	0.00079
	9.6367	9.9155	9.6709	0.1051	0.1045	0.2093	0.2153	0.2100	0.2170	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
													Coc. Var
													1.0323
MN3	8.9555	8.8555	8.9445	0.1035	0.105	0.202	0.214	0.236	0.204	0.00079	0.00087	0.00075	0.00080
MN3	9.0122	9.0852	9.0111	0.1048	0.105	0.208	0.217	0.172	0.203	0.00080	0.00063	0.00075	0.00072
MN3	10.1110	10.5457	10.5550	0.1079	0.101	0.207	0.209	0.209	0.204	0.00077	0.00077	0.00075	0.00076
	9.3596	9.4955	9.5035	0.1054	0.1034	0.2057	0.2133	0.2057	0.2037	0.0008	0.0008	0.0007	0.0008
													Coc. Var
													1.0008
									Media general	80.4	71.4	76.8	76.2

APÉNDICE B.2

ESTUDIOS PREVIOS

B.2 Estudios por el método “simplex” en “nixtamalización” y en extrusión de almidón de maíz

B.2.1. Experimentos de ensayo y error

De estudios anteriores se demostró que las características sensoriales, organolépticas y de textura de masas y tortillas de maíz tenían mejores valores en intervalos de humedad de proceso de 40 al 50% en “nixtamalización” y 28 a 40% b.s. en extrusión y que las concentraciones de cal estaban alrededor de 1.0% b.s. para ambos procesos (Sánchez-Tovar, 1993).

B.2.2. Experimentos de ensayo y error para “nixtamalización” de almidón de maíz

Se comenzó por realizar experimentos de ensayo y error aplicando humedades superiores al 50.0% b.s. y concentraciones de hidróxido de calcio del 1.5% b.s. en muestras de almidón de maíz; de estas muestras se obtuvieron “nixtamalizados de apariencia gelatinosa y poco viscosa. Se comenzó por disminuir la humedad hasta el 40% b.s., se obtuvieron productos “nixtamalizados” con apariencia más granular, los cuales eran más duros y más “quebradizos” conforme se reducía la humedad. A humedades menores al 20.0% en base seca los “nixtamalizados” se tornaron más “polvosos”. El color amarillo de los “nixtamalizados” también disminuyó conforme se redujo la concentración de hidróxido de calcio debajo del 1.0% b.s. De estos experimentos preliminares, se realizó un experimento de tipo “simplex” para medir los índices de absorción y solubilidad en agua y así, observar la evolución de la máxima pendiente. De los resultados del mismo experimento se propuso un diseño factorial para el análisis por superficie de respuesta. La metodología “simplex” y de superficie de respuesta se expone más abajo y los resultados más relevantes aparecen en el capítulo IV y el esto en este apéndice.

B.2.3. Experimentos de ensayo y error para extrusión termoalcalina de almidón comercial de maíz

Se comenzó por realizar experimentos de ensayo y error aplicando humedades superiores al 50.0% b.s. y concentraciones de hidróxido de calcio del 1.5% b.s. en muestras de almidón de maíz; de estas muestras se obtuvieron extrudidos de apariencia “gomosa” y/o “gelatinosa” y “amarillentos. Se comenzó por disminuir la humedad hasta el 40% b.s., se obtuvieron extrudidos con apariencia de “hojuelas” las cuales eran más duras y más “quebradizas” conforme se reducía la humedad. A una humedad menor al 20.0% en base seca los extrudidos se tornaron más “polvosos”. El color amarillo de los extrudidos también disminuyó conforme se redujo la concentración de hidróxido de calcio por debajo del 1.0% b.s. Se realizaron estudios de la variación de los índices de absorción y solubilidad de agua del almidón extrudido por medio del método “simplex”, descrito en el primer epígrafe de este capítulo. También se evaluaron los contenidos de azúcares reductores en las muestras antes y después de procesadas. La metodología “simplex” y de superficie de respuesta se expone más abajo y los resultados, como en el inciso anterior están en el Capítulo IV y en este apéndice.

B.2.4. Experimentos “Simplex”

Se realizó un experimento de tipo “simplex modificado” para estudiar la variación de los índices de absorción y solubilidad de agua en almidón de maíz “nixtamalizado y en almidón de maíz extrudido termoalcalinamente, respectivamente.

El método Simplex

Los métodos de optimización surgieron en función de la necesidad de mejorar el desempeño de los sistemas que existen habitualmente. Estrictamente, optimización significa transformar alguna cosa en "perfecta, efectiva o funcionalmente lo mejor posible". De esta forma, puede definirse optimización como un proceso basado en instrucciones que permiten obtener el mejor resultado de un procedimiento Científicamente, estas instrucciones se expresan frecuentemente a través de métodos matemáticos que permiten maximizar o minimizar alguna propiedad específica del sistema en estudio. La elección de la propiedad a optimizar y de las condiciones de control es el *quid* de la cuestión sobre cuál es la mejor indicación para un desempeño ideal del sistema. En diversas circunstancias, esta propiedad a optimizar se denomina función objetivo o respuesta (Beveridge y Schechter, 1970; Box y col., 1999; Eiras y col., 1994; Rizvi y Mittal, 1993; Spendley y col. 1962). La optimización, según Burton y Nickless (1987) y Box y col. (1999), puede dividirse en etapas, que se caracterizan por:

- a) **Definición de la función objetivo (respuesta).** Puede haber uno o más criterios a observar;
- b) **Determinación de los factores (variables),** que presentan influencias significativas sobre la respuesta que se desea optimizar.
- c) **Maximización o minimización o igualación a patrones o testigos.** La optimización propiamente dicha, esto quiere decir, buscar la combinación de los valores de los factores seleccionados que resulten en la mejor respuesta

También debe contener:

- a) **Realización de experimentos de “barrido”** para caracterizar las variables del sistema, usando una planeación factorial
- b) **Localización de la región óptima** o ideal usando el método “Simplex”
- c) **Confirmación y/o ajuste fino de la región óptima,** usando planeación factorial y/o superficies de respuesta, dependiendo de cómo se desean obtener los resultados.

Los resultados del análisis se muestran en las figuras y tablas de las páginas siguientes: Tablas B.2.1 y B.2.2.

Tabla B.2.1. Resultados del análisis de varianza del método "simplex" para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

PUNTO	MUESTRA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DE LA MUESTRA	PESO DEL AGUA AÑADIDA	CÁPSULA + RESIDUO DE EVAPORACIÓN	PESO DEL RESIDUO DE EVAPORACIÓN	CÁPSULA + RESIDUO DE CENTRIFUGACIÓN	PESO DEL RESIDUO DE CENTRIFUGACIÓN
A	C1H1*	96.7240	4.0420	50.0000	96.8066	0.0826	113.1215	16.3975
B	C1H2*	100.6117	4.0578	50.0000	100.7310	0.1193	118.2049	17.5932
C.	C2H2*	101.2513	4.0637	50.0000	101.3412	0.0899	120.2461	18.9948
	TESTIGO							
Centroide Pc	C1H1.5							
D	C0H2	96.7204	4.0021	50.0000	96.7701	0.0497	112.2578	15.5374
E	C2H1*	99.6140	4.0099	50.0000	99.6975	0.0835	117.0949	17.4809
F	C2.5 H 0.75	100.5942	4.0357	50.0000	100.6302	0.0360	115.7122	15.1180
G	C1.75 H1.25	106.1701	4.0124	50.0000	106.2644	0.0943	123.7972	17.6271
H	C1.25 H1.75	99.6194	4.0423	50.0000	99.7374	0.1180	115.1268	15.5074
I	C2.5H2.5	100.2729	4.0122	50.0000	100.4182	0.1453	120.0780	19.8051
J	C3H3*	103.1624	4.0280	50.0000	103.3275	0.1651	125.0786	21.9162
PUNTO	MUESTRA	IAA	ISA	DIFERENCIA AL TESTIGO IAA	CLASIFICACIÓN	DIFERENCIA AL TESTIGO ISA	CLASIFICACIÓN	
A	C1H1*	4.1414103	0.02044	-0.0811560	BAJA	-0.0016926	MUY BAJA	
B	C1H2*	4.4669798	0.02940	-0.2444135	MUY BAJA	-0.0072722	BAJA	
C.	C2H2*	4.7800091	0.02212	-0.5574427	MUY BAJA	0.0000053	MUY CERCANA	
	TESTIGO	4.2225663	0.02213					
Centroide Pc	C1H1.5							
D	C0H2	3.9311305	0.01242	-0.2914359	MUY BAJA	-0.0097095	MUY BAJA	
E	C2H1*	4.4521317	0.02082	0.2295654	MUY BAJA	-0.0013045	MUY CERCANA	
F	C2.5 H 0.75	3.7797835	0.00892	-0.4427829	MUY BAJA	-0.0132076	BAJA	
G	C1.75 H1.25	4.4988898	0.02350	0.2763234	CERCANA	0.0013741	CERCANA	
H	C1.25 H1.75	3.9516347	0.02919	-0.2709317	BAJA	0.0070633	CERCANA	
I	C2.5H2.5	5.1216996	0.03621	0.8991332	ARRIBA	0.0140865	ARRIBA	
J	C3H3*	5.6735095	0.04099	1.4509432	MUY ARRIBA	0.0188601	ARRIBA	

Tabla B.2.2. Resultados del análisis de varianza del método "simplex" para la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua en almidón comercial de maíz extrudido

PUNTO	MUESTRA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DE LA MUESTRA	PESO DEL AGUA AÑADIDA	CÁPSULA + RESIDUO DE EVA-PORACIÓN	PESO DEL RESIDUO DE EVA-PORACIÓN	CÁPSULA + RESIDUO DE CENTRIFUGACIÓN	PESO DEL RESIDUO DE CENTRIFUGACIÓN
A	C1H1*	96.7246	4.0361	50.0000	96.7695	0.0449	113.0023	16.2777
B	C1H2*	100.6117	4.0578	50.0000	100.7310	0.1193	118.5234	17.9117
C.	C2H2*	103.8425	4.0828	50.0000	103.8960	0.0535	122.7821	18.9396
T	TESTIGO							
Centroide Pc	C1,5H1.5							
D	C2H1*	104.7805	4.0941	50.0000	104.8021	0.0216	122.3589	17.5784
E	C1.75H1.25	101.2600	4.0047	50.0000	101.2974	0.0374	122.8541	21.5941
F	C1.25H1.75	100.6182	4.0057	50.0000	100.6652	0.0470	118.3120	17.6938
G	C2.5H2.5	101.2501	4.0745	50.0000	101.3372	0.0871	118.6485	17.3984
H	C3H3*	100.5933	4.0829	50.0000	100.6940	0.1007	123.9024	23.3091
I	C3.5H3.5	101.1702	4.0510	50.0000	101.2251	0.0549	125.3421	24.1719
J	C4H4	102.4638	4.0441	50.0000	102.47940	0.0156	121.7852	19.3214

PUNTO	MUESTRA	IAA	ISA	DIFERENCIA AL TESTIGO IAA	CLASIFICACION	DIFERENCIA AL TESTIGO ISA	CLASIFICACION
A	C1H1*	4.0783875	0.0111246	-0.1441789	CERCANA	-0.0110034	BAJA
B	C1H2*	4.5478482	0.0294002	-0.3252818	ABAJO	-0.0072722	MUY ABAJO
C.	C2H2*	4.7004691	0.0131038	-0.4779027	ABAJO	0.0090242	ARRIBA
T	TESTIGO	4.2225663	0.0221280				
Centroide Pc	C1,5H1.5						
D	C2H1*	4.3163659	0.0052759	0.0937995	MUY POCA	-0.0168521	MUY BAJA
E	C1.75H1.25	5.4430217	0.0093390	1.2204554	ARRIBA	-0.0127890	MUY BAJA
F	C1.25H1.75	4.4695986	0.0117333	0.2470323	ARRIBA	-0.0103947	BAJA
G	C2.5H2.5	4.3633008	0.0213766	0.1407344	ARRIBA	-0.0007514	CERCANA
H	C3H3*	5.8533223	0.0246638	1.6307559	ARRIBA	0.0025358	MUY CERCANA
I	C3.5H3.5	6.0488727	0.0135522	1.8263063	ARRIBA	-0.0085758	BAJA
J	C4H4	4.7961772	0.0038575	0.5736109	ARRIBA	-0.0182705	MUY BAJA

APÉNDICE B.3

ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN Y SOLUBILIDAD EN AGUA PARA ALMIDÓN DE MAÍZ “EXTRUDIDO TERMOALCALINAMENTE”

Tabla B.3.1a. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	PESO(g) DE LA CÁPSULA(g)	PESO(g) DE LA MUESTRA	PESO(g) DEL AGUA AÑADIDA	P.CÁPSULA (g) + P.RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P.CÁPSULA (g) + P.RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P.RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	PESO(g) DEL P.RESIDUO(g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
PRIMER ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
C1H1*	96.7246	4.0361	50.0000	96.7422	113.1218	0.0176	16.3796	C1H1*	4.076048277	0.004360645
C2H1*	104.7805	4.0941	50.0000	104.8021	122.3436	0.0216	17.5415	C2H1*	4.307305095	0.005275885
C3H1*	92.6508	4.0250	50.0000	92.6790	112.1975	0.0282	19.5185	C3H1*	4.883531825	0.007006211
C1H2*	99.6190	4.0893	50.0000	99.6440	118.1295	0.0250	18.4855	C1H2*	4.548261693	0.006113516
C2H2*	103.8425	4.0828	50.0000	103.8960	122.8957	0.0535	18.9997	C2H2*	4.715384806	0.013103752
C3H2*	101.2552	4.0685	50.0000	101.3187	123.4554	0.0635	22.1367	C3H2*	5.527265918	0.015607718
C1H3*	100.6185	4.0265	50.0000	100.6996	118.1780	0.0811	17.4784	C1H3*	4.430070462	0.020141562
C2H3*	102.4670	4.0881	50.0000	102.5614	121.8216	0.0944	19.2602	C2H3*	4.822645667	0.023091412
C3H3*	100.5933	4.0829	50.0000	100.6940	122.4777	0.1007	21.7837	C3H3*	5.470267691	0.024663842
Control. Ext.sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	118.5666	0.0577	16.0376	Control. ext.sin cal	4.062507283	0.014405553
Contro Nixt. Sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Contro nixt. Sin cal	2.295876003	0.011736914
ALMIDÓN COM. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6545	0.0349	19.0033	ALMIDÓN COM. crudo	4.775898467	0.008694786
ENDOSPER MO "Nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPER MO "Nixt"	3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.1a. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente (continuación)

MUESTRA	PESO(g) DE LA CÁPSULA(g)	PESO(g) DE LA MUESTRA	PESO(g) DEL AGUA ANADIDA	P.CÁPSULA(g) + P.RESIDUO(g) DE EVA-PORACIÓN	P.CÁPSULA (g) + P.RESIDUO(g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO(g) DEL P.RESIDUO(g) DE EVA-PORACIÓN	PESO(g) DEL P.RESIDUO(g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
PRIMER ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
C1H1*	103.8331	4.0090	50.0000	103.8746	119.3225	0.0415	15.4479	C1H1*	3.893610586	0.01035171
C2H1*	103.3149	4.0184	50.0000	103.3513	119.9700	0.0364	16.6187	C2H1*	4.173455550	0.00905833
C3H1*	99.6100	4.0278	50.0000	99.6581	117.6656	0.0481	18.0075	C3H1*	4.524838556	0.01194200
C1H2*	102.4542	4.0385	50.0000	102.4978	120.5646	0.0436	18.0668	C1H2*	4.522466144	0.01079609
C2H2*	101.2487	4.0075	50.0000	101.3132	122.9889	0.0645	21.6757	C2H2*	5.497260969	0.01609482
C3H2*	160.6148	4.0614	50.0000	160.6824	188.2968	0.0676	27.6144	C3H2*	6.914317192	0.01664451
C1H3*	100.6248	4.0421	50.0000	100.7085	120.2424	0.0837	19.5339	C1H3*	4.934796888	0.02070706
C2H3*	88.0865	4.0216	50.0000	88.1445	115.2247	0.0580	27.0802	C2H3*	6.832223231	0.01442212
C3H3*	105.1879	4.0157	50.0000	105.282	126.4565	0.0941	21.1745	C3H3*	5.399454304	0.02343303
Control. Ext.sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control. Ext.sin cal	4.906325202	0.01440555
Contro Nixt. Sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Contro Nixt. Sin cal	2.295876003	0.011736914
ALMIDÓN COM. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	ALMIDÓN COM. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPERMO "Nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "Nixt"	3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.1b. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

SEGUNDO ANÁLISIS PRIMERA CORRIDA										
MUESTRA	PESO(g) DE LA CÁPSULA(g)	PESO(g) DE LA MUESTRA	PESO(g) DEL AGUA AÑADIDA	P.CÁPSULA(g) + P.RESIDUO(g) DE EVA- PORACIÓN	P.CÁPSULA(g) + P.RESIDUO(g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO(g) DEL P.RESIDUO(g) DE EVA-PORACIÓN	PESO(g) DEL P.RESIDUO(g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
C1H1*	101.2499	4.0072	50.0000	101.2552	118.8780	0.0053	17.6228	C1H1*	4.403608286	0.001322619
C2H1*	101.2531	4.0051	50.0000	101.2620	118.5450	0.0089	17.2830	C2H1*	4.324901906	0.002222189
C3H1*	100.6182	4.0165	50.0000	100.6332	118.5550	0.0150	17.9218	C3H1*	4.478770461	0.003734595
C1H2*	100.6177	4.0164	50.0000	100.6319	120.4450	0.0142	19.8131	C1H2*	4.950552196	0.003535504
C2H2*	92.6555	4.0300	50.0000	92.6910	116.8980	0.0355	24.2070	C2H2*	6.060082614	0.008808933
C3H2*	96.7260	4.0780	50.0000	96.7691	125.5640	0.0431	28.7949	C3H2*	7.136459392	0.010568906
C1H3*	103.8436	4.0362	50.0000	103.9114	121.1457	0.0678	17.2343	C1H3*	4.342883782	0.016797978
C2H3*	105.1900	4.0278	50.0000	105.2814	123.7800	0.0914	18.4986	C2H3*	4.699369983	0.022692289
C3H3*	103.1624	4.0618	50.0000	103.2724	130.4540	0.1100	27.1816	C3H3*	6.878283314	0.027081589
Control ext. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control ext. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Control nixt. sin cal	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	Almidón com. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPER MO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPER MO "nixt"	3.730954652	0.023416149
SEGUNDO ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
C1H1*	88.0906	4.0023	50.0000	88.0994	106.4548	0.0088	18.3554	C1H1*	4.596310013	0.00219624
C2H1*	99.6172	4.0021	50.0000	99.6384	119.0495	0.0212	19.4111	C2H1*	4.876058178	0.00529722
C3H1*	104.7867	4.0014	50.0000	104.8236	124.9855	0.0369	20.1619	C3H1*	5.085609787	0.00922177
C1H2*	102.4651	4.0058	50.0000	102.5118	120.3465	0.0467	17.8347	C1H2*	4.504747038	0.01165810
C2H2*	105.1887	4.0331	50.0000	105.2500	123.9880	0.0613	18.7380	C2H2*	4.717755174	0.01519923
C3H2*	103.1610	4.0758	50.0000	103.2297	128.5640	0.0687	25.3343	C3H2*	6.322352824	0.01685559
C1H3*	100.5773	4.0321	50.0000	100.6598	119.9879	0.0825	19.3281	C1H3*	4.893685436	0.02046080
C2H3*	105.1917	4.0012	50.0000	105.2911	126.2279	0.0994	20.9368	C2H3*	5.365933672	0.024842547
C3H3*	92.8855	4.0078	50.0000	93.0016	123.8778	0.1161	30.8762	C3H3*	7.933859239	0.028968511
Control ext. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control ext. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Control nixt. sin cal	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	Almidón com. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPER MO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPER MO "nixt"	3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.1c. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
TERCER ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
C1H1*	96.7293	4.0393	50.0000	96.7452	112.8799	0.0159	16.1347	C1H1*	4.010207784	0.00394
C2H1*	100.6189	4.0643	50.0000	100.6298	118.7880	0.0109	18.1582	C2H1*	4.479745399	0.00268
C3H1*	104.7864	4.0081	50.0000	104.8060	125.4657	0.0196	20.6597	C3H1*	5.179805441	0.00489
C1H2*	100.5848	4.0177	50.0000	100.6100	119.5465	0.0252	18.9365	C1H2*	4.743007138	0.00627
C2H2*	101.2533	4.0611	50.0000	101.2957	122.9788	0.0424	21.6831	C2H2*	5.395550800	0.01044
C3H2*	92.8884	4.0358	50.0000	92.9276	123.1264	0.0392	30.1988	C3H2*	7.556122704	0.00971
C1H3*	92.8944	4.0013	50.0000	92.9514	118.0958	0.0570	25.1444	C1H3*	6.374870066	0.01425
C2H3*	101.2531	4.0011	50.0000	101.3285	126.8978	0.0754	25.5693	C2H3*	6.513309728	0.01884
C3H3*	104.7901	4.0016	50.0000	104.8916	132.5854	0.1015	27.6938	C3H3*	7.100803826	0.02536
Control ext. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control ext. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Control nixt. sin cal	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	Almidón com. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.730954652	0.023416149
TERCER ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
C1H1*	88.0921	4.0514	50.0000	88.1123	105.7480	0.0202	17.6357	C1H1*	4.374801548	0.00498593
C2H1*	105.1903	4.0530	50.0000	105.2152	122.8878	0.0249	17.6726	C2H1*	4.387324049	0.00614360
C3H1*	103.8501	4.0022	50.0000	103.8751	124.7557	0.0250	20.8806	C3H1*	5.250075430	0.00624656
C1H2*	100.6109	4.0533	50.0000	100.6431	119.4550	0.0322	18.8119	C1H2*	4.678296983	0.00794414

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
C2H2*								C2H2*		
C3H2*	96.7195	4.0310	50.0000	96.7784	120.5450	0.0589	23.7666	C3H2*	5.983384104	0.01461176
C1H3*	92.8368	4.0215	50.0000	92.8576	123.4554	0.0208	30.5978	C1H3*	7.64811158	0.00517220
C2H3*	100.6183	4.0086	50.0000	100.6946	119.2220	0.0763	18.5274	C2H3*	4.711593724	0.01903408
C3H3*	96.7284	4.0071	50.0000	96.8094	126.4755	0.0810	29.6661	C3H3*	7.556112682	0.02021412
Control ext. sin cal	99.6164	4.0023	50.0000	99.7001	130.7887	0.0837	31.0886	Control ext. sin cal	7.933598734	0.02091298
Control nixt. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control nixt. sin cal	4.906325202	0.014405553
Almidón com. crudo	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Almidón com. crudo	2.295876003	0.011736914
ENDOSPERMO "nixt"	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	ENDOSPERMO "nixt"	4.774767530	0.008694786
	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655		3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.1d. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
CUARTO ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
C1H1*	104.7572	0.5514	50.0000	104.7620	107.1874	0.0048	2.4254	C1H1*	4.437248445	0.008705114
C2H1*	96.9035	1.0870	50.0000	96.9109	101.6500	0.0074	4.7391	C2H1*	4.389681363	0.006807728
C3H1*	96.7051	1.0781	50.0000	96.7092	101.7544	0.0041	5.0452	C3H1*	4.697579143	0.003802987
C1H2*	92.6211	1.0430	50.0000	92.6273	97.4540	0.0062	4.8267	C1H2*	4.655381944	0.005944391
C2H2*	100.5797	1.0245	50.0000	100.5895	105.9874	0.0098	5.3979	C2H2*	5.319700404	0.009565642
C3H2*	88.0581	1.0695	50.0000	88.2681	93.7897	0.2100	5.5216	C3H2*	6.424200116	0.196353436
C1H3*	99.5871	1.0726	50.0000	99.5896	106.2650	0.0025	6.6754	C1H3*	6.238108588	0.002330785
C2H3*	103.1282	1.0696	50.0000	103.1328	110.7890	0.0046	7.6562	C2H3*	7.188920188	0.004300673
C3H3*	103.8150	1.1412	50.0000	103.8221	112.7878	0.0071	8.9657	C3H3*	7.905563883	0.006221521
Control ext. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control ext. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Control nixt. sin cal	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	Almidón com. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPE RMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPE RMO "nixt"	3.730954652	0.023416149
CUARTO ANÁLISIS SEGUNDA CORRIDA										
C1H1*	96.9042	1.0550	50.0000	96.9116	101.5655	0.0074	4.6539	C1H1*	4.442439863	0.007014218
C2H1*	104.6116	1.0980	50.0000	104.6204	109.7899	0.0088	5.1695	C2H1*	4.746143959	0.008014572
C3H1*	100.5789	1.0000	50.0000	100.5875	105.9870	0.0086	5.3995	C3H1*	5.446338511	0.008600000

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
C1H2*								C1H2*		
	103.8201	1.0658	50.0000	103.8371	109.1567	0.0170	5.3196		5.072053776	0.015950460
C2H2*								C2H2*		
	88.0899	1.0854	50.0000	88.1094	94.5656	0.0195	6.4562		6.057040998	0.017965727
C3H2*								C3H2*		
	99.2778	1.0570	50.0000	99.3045	106.7440	0.0267	7.4395		7.220712414	0.025260170
C1H3*								C1H3*		
	99.5662	1.0754	50.0000	99.5906	105.2785	0.0244	5.6879		5.411893435	0.022689232
C2H3*								C2H3*		
	103.1282	1.0786	50.0000	103.1604	111.7784	0.0322	8.6180		8.235856269	0.029853514
C3H3*								C3H3*		
	103.8154	1.0545	50.0000	103.8492	112.9844	0.0338	9.1352		8.949936318	0.032053106
Control ext. sin cal								Control ext. sin cal		
	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687		4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal								Control nixt. sin cal		
	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245		2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo								Almidón com. crudo		
	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988		4.774767530	0.008694786
ENDOSPE RMO "nixt"								ENDOSPE RMO "nixt"		
	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655		3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.1e. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
QUINTO ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
C1H1*	96.7050	1.0545	10.0000	96.7114	101.2633	0.0064	4.5519	C1H1*	4.343001622	0.006069227
C2H1*	104.7554	1.0554	10.0000	104.7643	109.5645	0.0089	4.8002	C2H1*	4.586908743	0.008432822
C3H1*	92.6213	1.0565	10.0000	92.6317	97.7981	0.0104	5.1664	C3H1*	4.938724787	0.009843824
C1H2*	96.9034	1.0565	10.0000	96.9331	101.7210	0.0297	4.7879	C1H2*	4.662933385	0.028111690
C2H2*	103.1280	1.0780	10.0000	103.1589	108.0894	0.0309	4.9305	C2H2*	4.708719320	0.028664193
C3H2*	103.8195	1.0740	10.0000	103.8518	108.9554	0.0323	5.1036	C3H2*	4.899299222	0.030074488
C1H3*	88.0590	1.0440	10.0000	88.0853	94.5460	0.0263	6.4607	C1H3*	6.348334480	0.025191571
C2H3*	99.5871	1.0540	10.0000	99.6227	107.0571	0.0356	7.4344	C2H3*	7.300078555	0.033776091
C3H3*	100.5801	1.0455	10.0000	100.6178	108.4511	0.0377	7.8333	C3H3*	7.772673149	0.036059302
Control ext. sin cal	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control ext. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Control nixt. sin cal	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	Almidón com. crudo	4.774767530	0.008694786
ENDOSPER MO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPER MO "nixt"	3.730954652	0.023416149
QUINTO ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
C1H1*	96.7054	1.0546	10.0000	96.7105	101.2477	0.0051	4.5372	C1H1*	4.323312498	0.004807738
C2H1*	88.0612	1.0544	10.0000	88.0688	92.8911	0.0076	4.8223	C2H1*	4.606530129	0.007207617
C3H1*	103.1280	1.0554	10.0000	103.1347	108.2440	0.0067	5.1093	C3H1*	4.872032040	0.006348304
C1H2*	104.7573	1.0577	10.0000	104.7787	110.2557	0.0214	5.4770	C1H2*	5.284924697	0.020231738

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
C2H2*								C2H2*		
	92.6212	1.0579	10.0000	92.6417	99.0747	0.0205	6.4330	C3H2*	6.201258953	0.019378563
C3H2*								C3H2*		
	96.9044	1.0589	10.0000	96.9273	104.2657	0.0229	7.3384	C1H3*	7.083602807	0.021626829
C1H3*								C1H3*		
	103.8154	1.0599	10.0000	103.8467	109.0754	0.0313	5.2287	C2H3*	5.083425856	0.029531701
C2H3*								C2H3*		
	99.5870	1.0498	10.0000	99.6164	107.5486	0.0294	7.9322	C3H3*	7.773721555	0.028005868
C3H3*								C3H3*		
	100.5901	1.0454	10.0000	100.6237	108.8132	0.0336	8.1895	Control ext. sin cal	8.093990907	0.032140807
Control ext. sin cal								Control ext. sin cal		
	102.4713	4.0054	50.0000	102.5290	121.8977	0.0577	19.3687	Control nixt. sin cal	4.906325202	0.014405553
Control nixt. sin cal								Control nixt. sin cal		
	105.5416	4.0215	50.0000	106.5478	116.5666	0.0472	9.1245	Almidón com. crudo	2.295876003	0.011736914
Almidón com. crudo								Almidón com. crudo		
	99.6163	4.0139	50.0000	99.6512	118.6500	0.0349	18.9988	ENDOSPERMO "nixt"	4.774767530	0.008694786
ENDOSPERMO "nixt"								ENDOSPERMO "nixt"		
	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.730954652	0.023416149

Tabla B.3.2. Promedio de la variación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA e ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	VAR1 IAA	INCERTIDUMBRE ±	VAR1 ISA	INCERTIDUMBRE ±	VAR 2 H HUM. % b.s.	VAR 3 C Ca(OH)2 % b.s.	VAR 4 H ² H ²	VAR 5 C ²	VAR 6 HC
C1H1*	4.290058892	0.351349713	0.005374976	0.002172235	20	0.1	400	0.01	2
C2H1*	4.487805437	0.351301314	0.006114185	0.003499792	20	0.5	400	0.25	10
C3H1*	4.935730598	0.350517490	0.007163636	0.001360115	20	0.9	400	0.81	18
C1H2*	4.762262500	0.368331502	0.011655787	0.001856976	30	0.1	900	0.01	3
C2H2*	5.465613814	0.279890015	0.015383314	0.005010791	30	0.5	900	0.25	15
C3H2*	6.673244417	0.611955732	0.034787691	0.003037800	30	0.9	900	0.81	27
C1H3*	5.276966272	0.720036589	0.019113014	0.004196796	40	0.1	1600	0.01	4
C2H3*	6.628817153	0.271644002	0.022004345	0.008815493	40	0.5	1600	0.25	20
C3H3*	7.343843137	0.704007811	0.025689953	0.005570065	40	0.9	1600	0.81	36
Control ext. sin cal	4.808787643	0.421908960	0.013834476	0					
Control nixt. sin cal	2.439383868	0.000000000	0.012904838	0					
Almidón com. crudo	4.297403870	-0.000565469	0.007825307	0					
ENDOSPERMO "nixt"	3.357859187	0.000000000	0.021074534	0					

Tabla B.3.3a. Análisis de la varianza para el índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

		MUESTRAS					
HUMEDAD % B.S.		CONCENTRACIÓN DE	Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3	TOTAL	PROMEDIO	
		0.1	0.5	0.9			
H1	20	4.290	4.488	4.936	13.714	4.571	
H2	30	4.762	5.466	6.673	16.901	5.634	
H3	40	5.277	6.629	7.344	19.250	6.417	
TOTAL		14.329	16.582	18.953	49.864		
PROMEDIO		5.527	6.318	6.318			
Factor de corrección				Suma de cuadrados de las concentraciones			
F=		276.272514		ScC=		3.5636078	
				Grados de libertad de la concentración		GI C= 2	
Suma de cuadrados de las humedades				Suma de cuadrados totales= 9.43781702			
ScH=		5.147049626		ScT=			
Grados de libertad		GI H= 2		Grados de libertad total=		GI T= 8	
Suma de cuadrados del error				<u>Cuadrados medios</u>			
Sce=		0.727159609		CM concentraciones		1.7818039	
Grados de libertad		GI e= 4		CM Humedad		2.5735248	
				CM error =		0.1817899	
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>				Concentracion de Ca(OH) ₂			
Nivel de significancia		F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%		9.801445895	>	6.94	Sí		
5.00%		9.801445895	<	18.00	No		
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>				HUMEDAD			
Nivel de significancia		F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%		14.15658836	>	6.94	Sí		
5.00%		14.15658836	<	18.00	No		
<u>Diferencia mínima significativa</u>							
				t= 4.064			
DMS=		0.2723					

Tabla B.3.3b. Análisis de la varianza para el índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

HUMEDAD % B.S.		CONCENTRACIÓN	DE Ca(OH) ₂	% B.S.		
		C1	C2	C3	TOTAL	PROMEDIO
		0.1	0.5	0.9		
H1	20	0.005	0.006	0.007	0.019	0.006
H2	30	0.012	0.015	0.035	0.062	0.021
H3	40	0.019	0.022	0.026	0.067	0.022
TOTAL		0.036	0.044	0.068	0.147	
PROMEDIO		0.015	0.023	0.023		
Factor de corrección F= 0.00241			Suma de cuadrados de las concentraciones ScC= 0.000181			
			Grados de libertad de la concentración		GI C= 2	
Suma de cuadrados de las humedades ScH= 0.0004675			Suma de cuadrados totales= 0.0007994			
Grados de libertad GI H= 2			Grados de libertad total=		GI T= 8	
Suma de cuadrados del error Sce= 0.0001509			<u>Cuadrados medios</u>			
Grados de libertad GI e= 4			CM concentraciones	9.05E-05		
			CM Humedad	0.000234		
			CM error =	3.77E-05		
<u>RELACIONES DE VARIACIÓN</u>			Concentración de Ca(OH) ₂			
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	2.3995287	>	6.94	Sí		
5.00%	2.3995287	<	18.00	No		
<u>RELACIONES DE VARIACIÓN</u>			HUMEDAD			
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	6.1981134	>	6.94	Sí		
5.00%	6.1981134	>	18.00	Sí		
<u>Diferencia mínima significativa</u>						
			t= 4.064 For 4 Fd in error			
DMS= 0.0039						

Tabla B.3.4a. Análisis de la regresión múltiple para el índice de absorción de agua (IAA) en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

Análisis de la regresión múltiple						
Variable dependiente:						
VAR1						
Resumen de la regresión múltiple para la variable independiente : VAR 3						
R= .98815790, R ² = .97645604 Ajustado R ² = .93721611						
F(5,3)=24.884 p<.01201 Std.Error of estimate: .27215						
		St. Err.		St. Err.		
CONSTANTE	BETA	of BETA	B	of B	t(3)	p-level
Intercept			1.99386871	1.73220552	1.151057819	0.33313
VAR2	1.05053856	0.93478567	0.13175653	0.11723902	1.123828265	0.3429
VAR3	-0.27454511	0.5108283	-0.86082302	1.60167763	-0.53745086	0.62826
VAR4	-0.67206847	0.92489488	-0.00139837	0.00192442	-0.726643086	0.52001
VAR5	0.0401089	0.39369752	0.12253438	1.20276261	0.101877445	0.92528
VAR6	0.94931512	0.36357877	0.08882532	0.03401926	2.611030101	0.07961
Durbin-Watson Estadístico = 1.58816 (P=0.2178)						
Lag 1 residual de auto-correlación = 0.00172272						

Tabla B.3.4b. Análisis de regresión múltiple para el índice de solubilidad en agua ISA, del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE				
VARIABLE DEPENDIEN TE: VAR_1				
PARÁMETRO	ESTIMADO	ERROR ESTÁNDAR	Estadístico	P-VALOR
CONSTANTE	-0.0203415	0.0101389	-2.00629	0.1385
VAR_2	0.00134616	0.000711547	1.89187	0.1549
VAR_3	0.00744128	0.00801022	0.928973	0.4214
VAR_4	- 0.0000094564	0.0000117754	-0.803067	0.4807
VAR_5	-0.00179407	0.00889736	-0.201641	0.8531
VAR_6	0.0000337826	0.0000999977	0.337833	0.7577
Modelo	0.00042171	50.000084342	30.41	0.0090
Residual	0.0000083196	30.000002773		
Total (Corr.)	0.000430029	8		
R ² = 98.0653%				
R ² (ajustado for grados de libertad =4)	0.948409	94.8409%		
Error estándar =	0.00166529			
Media absoluta del error =	0.000792092			
Durbin- Watson Estadístico =	1.47636	(P=0.1708)		
Lag 1 residual de auto- correlación =	0.0269543			

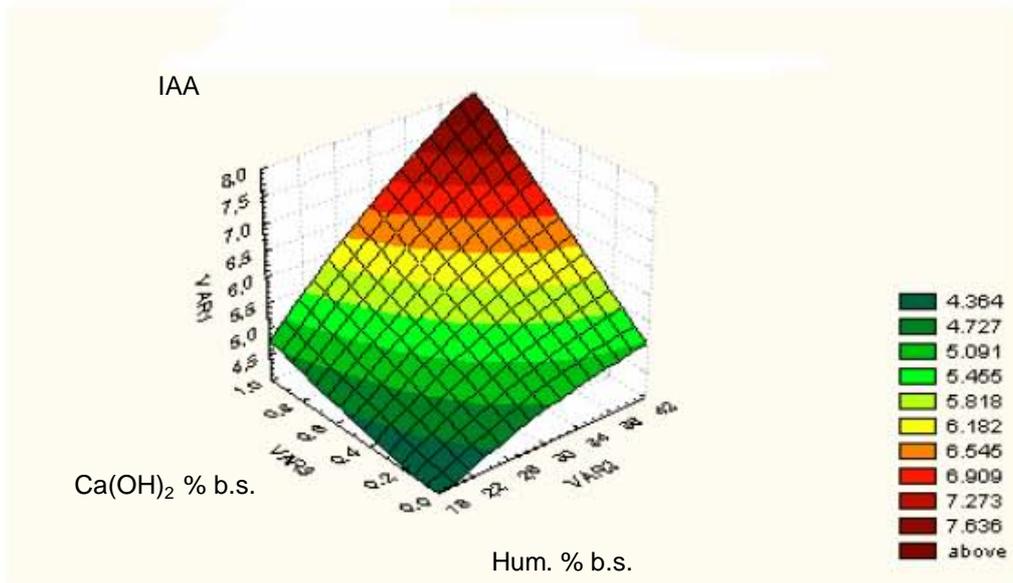


Figura B.3.1. Superficie de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

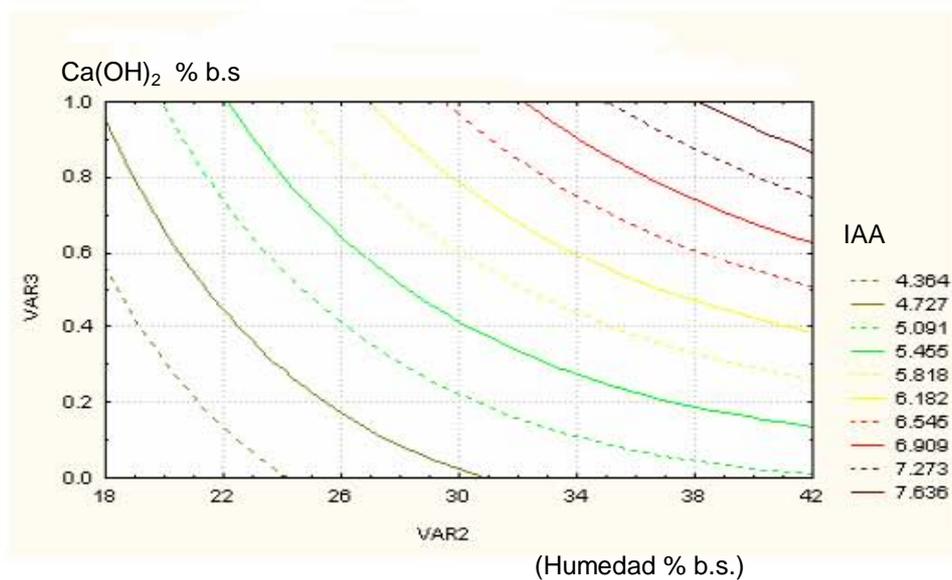


Figura B.3.2. Contorno de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

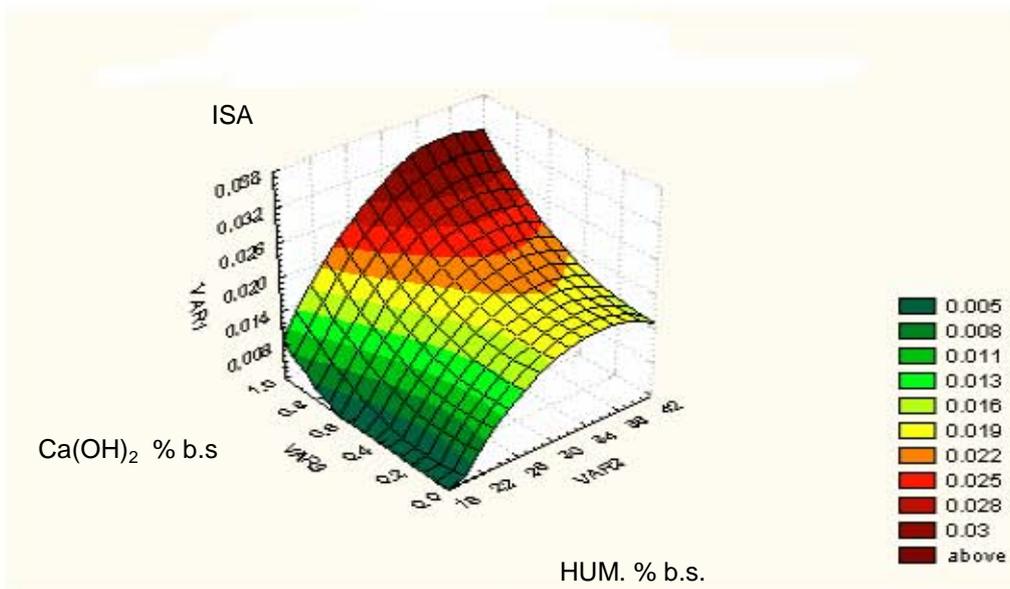


Figura B.3.3. Superficie de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

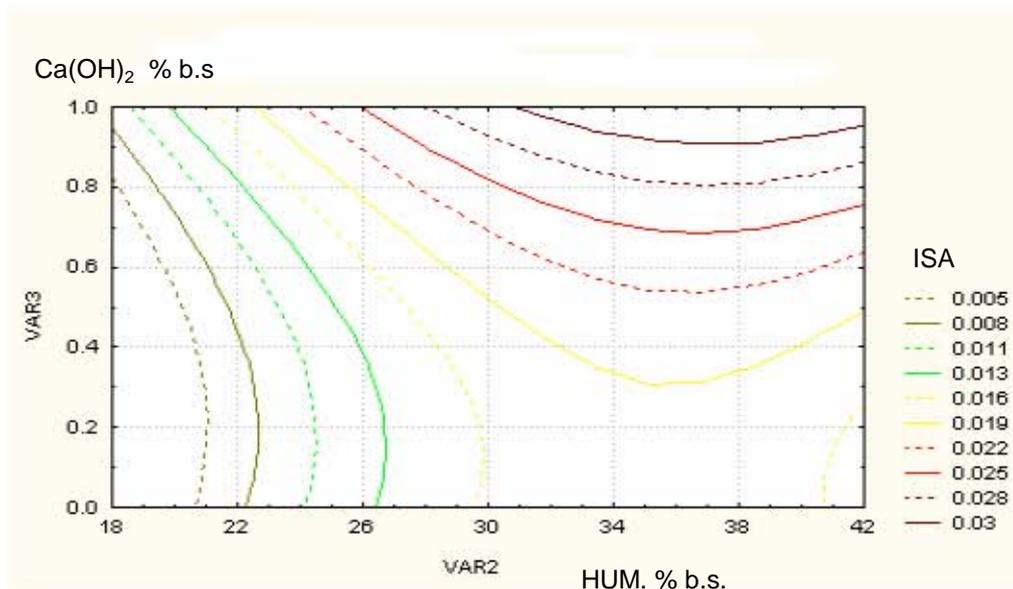


Figura B.3.4. Contorno de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

APÉNDICE B.4

ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN Y SOLUBILIDAD EN AGUA (IAA E ISA), PARA ALMIDÓN DE MAÍZ “NIXTAMALIZADO”

Tabla B.4.1a. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
PRIMER ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
ANC1H1*	96.7240	4.0420	50.0000	96.8066	112.8665	0.0826	16.0599	ANC1H1*	4.056144870	0.00204
ANC2H1*	99.6140	4.0099	50.0000	99.6975	118.6654	0.0835	18.9679	ANC2H1*	4.830862877	0.00208
ANC3H1*	88.0884	4.0512	50.0000	88.1694	108.5454	0.0810	20.3760	ANC3H1*	5.132235152	0.00200
ANC1H2*	100.6117	4.0578	50.0000	100.8510	116.8541	0.2393	16.0031	ANC1H2*	4.190938850	0.05897
ANC2H2*	101.2513	4.0637	50.0000	101.3412	120.2154	0.0899	18.8742	ANC2H2*	4.749660275	0.02212
ANC3H2*	103.8399	4.0107	50.0000	103.9881	125.4540	0.1482	21.4659	ANC3H2*	5.557514563	0.03695
ANC1H3*	100.6191	4.0283	50.0000	100.7697	120.5122	0.1506	19.7425	ANC1H3*	5.091291229	0.03739
ANC2H3*	102.4673	4.0107	50.0000	102.6213	125.5412	0.1540	22.9199	ANC2H3*	5.942878627	0.03840
ANC3H3*	103.1624	4.0280	50.0000	103.3275	128.4241	0.1651	25.0966	ANC3H3*	6.496828807	0.04099
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.924595015	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	14.8756	Almidón com. crudo	3.714813705	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.730954652	0.023416149
PRIMER ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
ANC1H1*	105.1843	4.0059	50.0000	105.2468	121.9800	0.0625	16.7332	ANC1H1*	4.24334331	0.01560
ANC2H1*	103.8372	4.0445	50.0000	103.8969	122.6562	0.0597	18.7593	ANC2H1*	4.70771431	0.01476
ANC3H1*	100.6261	4.0141	50.0000	100.6968	120.1220	0.0707	19.4252	ANC3H1*	4.92600294	0.01761
ANC1H2*	101.2449	4.0474	50.0000	101.3294	120.2200	0.0845	18.8906	ANC1H2*	4.76686265	0.02088
ANC2H2*	82.0901	4.0052	50.0000	82.1816	101.5525	0.0915	19.3709	ANC2H2*	4.94951069	0.02285
ANC3H2*	96.7235	4.0519	50.0000	96.8324	118.9630	0.1089	22.1306	ANC3H2*	5.61262998	0.02688

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
ANC1H3*	105.1873	4.0134	50.0000	105.3073	128.6510	0.1200	23.3437	ANC1H3*	5.99571069	0.02990
ANC2H3*	104.7768	4.0391	50.0000	104.9033	130.2140	0.1265	25.3107	ANC2H3*	6.46902316	0.03132
ANC3H3*	92.6485	4.0949	50.0000	92.7968	121.5440	0.1483	28.7472	ANC3H3*	7.28404196	0.03622
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149

Tabla B.4.1b. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
SEGUNDO ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
ANC1H1*	96.7239	3.9987	50.0000	96.7368	112.7540	0.0129	16.0172	ANC1H1*	4.01856591	0.00323
ANC2H1*	101.2497	4.0471	50.0000	101.2656	119.3222	0.0159	18.0566	ANC2H1*	4.47921215	0.00393
ANC3H1*	100.6130	4.0172	50.0000	100.6295	118.4445	0.0165	17.8150	ANC3H1*	4.45297073	0.00411
ANC1H2*	88.0780	4.0145	50.0000	88.0973	107.0855	0.0193	18.9882	ANC1H2*	4.75274179	0.00481
ANC2H2*	100.5758	4.0099	50.0000	100.5943	120.1110	0.0185	19.5167	ANC2H2*	4.88968783	0.00461
ANC3H2*	104.7871	4.0849	50.0000	104.8099	125.8410	0.0228	21.0311	ANC3H2*	5.17739593	0.00558
ANC1H3*	92.8701	4.0439	50.0000	92.8957	113.5413	0.0256	20.6456	ANC1H3*	5.13789413	0.00633
ANC2H3*	92.6506	4.0053	50.0000	92.6814	115.1125	0.0308	22.4311	ANC2H3*	5.64375393	0.00769
ANC3H3*	105.1880	4.0151	50.0000	105.2450	132.0285	0.0570	26.7835	ANC3H3*	6.76675678	0.01420
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149
SEGUNDO ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
ANC1H1*	104.7783	4.0156	50.0000	104.7992	121.0587	0.0209	16.2595	ANC1H1*	4.070268105	0.00520
ANC2H1*	92.6527	4.0456	50.0000	92.6871	111.0784	0.0344	18.3913	ANC2H1*	4.584987036	0.00850
ANC3H1*	100.6143	4.0026	50.0000	100.6509	120.0544	0.0366	19.4035	ANC3H1*	4.892460918	0.00914
ANC1H2*	100.5735	4.0036	50.0000	100.5791	121.1150	0.0366	20.4641	ANC1H2*	5.158583312	0.00140
ANC2H2*	96.7241	4.0081	50.0000	96.7305	123.5454	0.0056	22.9663	ANC2H2*	5.737988757	0.00160
ANC3H2*	101.2501	4.0079	50.0000	101.2574	122.4540	0.0064	25.7235	ANC3H2*	6.428464326	0.00182

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
ANC1H3*	103.84	4.0142	50.0000	103.8481	124.0110	0.0073	22.7536	ANC1H3*	5.678604407	0.00202
ANC2H3*	88.0901	4.0105	50.0000	88.1015	128.1923	0.0081	24.3442	ANC2H3*	6.08240056	0.00284
ANC3H3*	102.4655	3.9803	50.0000	102.4777	114.8545	0.0114	26.7530	ANC3H3*	6.740658621	0.01447
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149

Tabla B.4.1c. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
TERCER ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
ANC1H1*	96.7241	4.0012	50.0000	96.7416	112.5450	0.0175	15.8034	ANC1H1*	3.967015589	0.0044
ANC2H1*	92.8799	4.0132	50.0000	92.8973	109.0789	0.0174	16.1816	ANC2H1*	4.049652135	0.0043
ANC3H1*	82.8752	4.0216	50.0000	82.8941	101.9210	0.0189	19.0269	ANC3H1*	4.753516376	0.0047
ANC1H2*	104.7901	4.0154	50.0000	104.8346	124.0124	0.0445	19.1778	ANC1H2*	4.829585233	0.0111
ANC2H2*	96.7285	4.0159	50.0000	96.8564	116.2355	0.1279	19.3791	ANC2H2*	4.984346708	0.0318
ANC3H2*	101.2582	4.0076	50.0000	101.3212	121.7110	0.0630	20.3898	ANC3H2*	5.169041221	0.0157
ANC1H3*	100.5750	4.0011	50.0000	100.6617	124.1298	0.0867	23.4681	ANC1H3*	5.995324954	0.0158
ANC2H3*	101.3234	4.0981	50.0000	101.3922	126.9750	0.0688	25.5828	ANC2H3*	6.349192167	0.0168
ANC3H3*	96.3122	4.0723	50.0000	96.4114	127.1796	0.0992	30.7682	ANC3H3*	7.744129269	0.0244
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149
TERCER ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
ANC1H1*	102.4589	4.0561	50.0000	102.4757	119.0445	0.0168	16.5688	ANC1H1*	4.101898844	0.00414
ANC2H1*	103.8359	4.0667	50.0000	103.8466	121.0564	0.0107	17.2098	ANC2H1*	4.243047337	0.00263
ANC3H1*	96.7234	4.0531	50.0000	96.7342	118.0965	0.0108	21.3623	ANC3H1*	5.284689409	0.00266
ANC1H2*	92.8891	4.0016	50.0000	92.9276	113.4210	0.0385	20.4934	ANC1H2*	5.171052964	0.00962
ANC2H2*	105.1876	4.0314	50.0000	105.2542	124.0500	0.0666	18.7958	ANC2H2*	4.740667877	0.01652
ANC3H2*	101.2507	4.0616	50.0000	101.3426	124.3552	0.0919	23.0126	ANC3H2*	5.797062750	0.02263
ANC1H3*	88.0794	4.0944	50.0000	88.1725	115.0000	0.0931	26.8275	ANC1H3*	6.704695974	0.02274
ANC2H3*	101.2576	4.0316	50.0000	101.353	130.6887	0.0954	29.3357	ANC2H3*	7.452797114	0.02366

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
ANC3H3* Control.	100.5758	4.0524	50.0000	100.6815	132.3250	0.1057	31.6435	ANC3H3* Control.	8.017710999	0.02608
Ext.sin cal Contro Nixt.	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Ext.sin cal Contro Nixt.	4.92459501	0.01424
Sin cal ALMIDÓN	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Sin cal ALMIDÓN	3.491184758	0.01163
COM. crudo ENDOSPERMO	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	COM. crudo ENDOSPERMO	4.34513036	0.00237
"Nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	"Nixt"	3.73095465	0.023416149

Tabla B.4.1d. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
CUARTO ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
ANC1H1*	103.8362	1.0549	10.0000	103.8414	108.0035	0.0052	4.1621	ANC1H1*	3.965150952	0.0049295
ANC2H1*	106.4601	1.0495	10.0000	106.4671	111.0235	0.0070	4.5564	ANC2H1*	4.370488812	0.0066695
ANC3H1*	100.4452	1.0787	10.0000	100.4523	105.0000	0.0071	4.5477	ANC3H1*	4.243840985	0.0065820
ANC1H2*	105.1971	1.0454	10.0000	105.2104	110.7551	0.0133	5.5447	ANC1H2*	5.372250751	0.0127224
ANC2H2*	100.575	1.0367	10.0000	100.5916	106.3644	0.0166	5.7728	ANC2H2*	5.658799522	0.0160116
ANC3H2*	92.8893	1.0455	10.0000	92.9097	100.0387	0.0204	7.1290	ANC3H2*	6.954782694	0.0195131
ANC1H3*	96.7236	1.0547	10.0000	96.7512	103.5600	0.0276	6.8088	ANC1H3*	6.628891875	0.0261676
ANC2H3*	88.0802	1.0579	10.0000	88.1107	95.4100	0.0305	7.2993	ANC2H3*	7.104651034	0.0288308
ANC3H3*	100.3632	1.0546	10.0000	100.3921	108.3943	0.0289	8.0022	ANC3H3*	7.802076732	0.0274051
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	103.0000	0.0576	-0.2149	Control ext. sin cal	-0.05388936	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149
CUARTO ANÁLISIS, SEGUNDA CORRIDA										
ANC1H1*	96.7246	1.04545	10.0000	96.7281	100.8237	0.0035	4.0956	ANC1H1*	3.930706848	0.0033478
ANC2H1*	92.6508	1.03754	10.0000	92.6543	96.8977	0.0035	4.2434	ANC2H1*	4.103709721	0.0033734
ANC3H1*	100.5933	1.03455	10.0000	100.6019	105.0020	0.0086	4.4001	ANC3H1*	4.288826399	0.0083128
ANC1H2*	104.7805	1.03545	10.0000	104.7912	110.3220	0.0107	5.5308	ANC1H2*	5.397218834	0.0103337
ANC2H2*	99.6190	1.06400	10.0000	99.6338	106.2300	0.0148	6.5962	ANC2H2*	6.286885246	0.0139098
ANC3H2*	101.2552	1.06357	10.0000	101.2736	108.5900	0.0184	7.3164	ANC3H2*	7.000234413	0.0173003
ANC1H3*	96.7740	1.03455	10.0000	96.7959	103.4835	0.0219	6.6876	ANC1H3*	6.604032572	0.0211685
ANC2H3*	100.6185	1.02545	10.0000	100.6432	108.2000	0.0247	7.5568	ANC2H3*	7.551136648	0.0240870

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRIFUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
ANC3H3*	103.8425	1.02654	10.0000	103.8694	111.8032	0.0269	7.9338	ANC3H3*	7.936657197	0.0262045
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149

Tabla B.4.1e. Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	PESO (g) DE LA CÁPSULA (g)	PESO (g) DE LA MUESTRA	PESO (g) DEL AGUA AÑADIDA	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE EVA-PORACIÓN	P. CÁPSULA (g) + P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE EVAPORACIÓN	PESO (g) DEL P. RESIDUO (g) DE CENTRI-FUGACIÓN	MUESTRA	IAA	ISA
QUINTO ANÁLISIS, PRIMERA CORRIDA										
ANC1H1*	104.7865	104.7805	1.0122	10.0000	108.3296	0.0060	3.5431	ANC1H1*	3.521233142	0.0059276
ANC2H1*	100.6185	1.0285	10.0000	100.6241	105.0040	0.0056	4.3799	ANC2H1*	4.281929454	0.0054449
ANC3H1*	96.7246	1.0258	10.0000	96.7322	101.4500	0.0076	4.7178	ANC3H1*	4.633543642	0.0074090
ANC1H2*	96.7740	1.0259	10.0000	96.7903	101.1372	0.0163	4.3469	ANC1H2*	4.305395983	0.0158879
ANC2H2*	92.6508	1.0255	10.0000	92.6675	97.5811	0.0167	4.9136	ANC2H2*	4.870978934	0.0162855
ANC3H2*	101.2552	1.0245	10.0000	101.2742	108.1369	0.0190	6.8627	ANC3H2*	6.824890109	0.0185449
ANC1H3*	100.5933	1.0288	10.0000	100.6174	107.4310	0.0241	6.8136	ANC1H3*	6.781860891	0.0234258
ANC2H3*	103.8425	1.0245	10.0000	103.8671	110.9678	0.0246	7.1007	ANC2H3*	7.101410141	0.0240117
ANC3H3*	102.4670	1.0275	10.0000	102.4938	110.8374	0.0268	8.3436	ANC3H3*	8.337430302	0.0260817
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01424
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00237
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149
QUINTO ANÁLISIS SEGUNDA CORRIDA										
ANC1H1*	100.5933	1.0245	10.0000	100.5994	104.3623	0.0061	3.7629	ANC1H1*	3.69491359	0.0059541
ANC2H1*	104.7805	1.0257	10.0000	104.7849	108.6914	0.0044	3.9065	ANC2H1*	3.824858398	0.0042896
ANC3H1*	100.6185	1.0245	10.0000	100.6241	105.3852	0.0056	4.7611	ANC3H1*	4.672692655	0.0054660
ANC1H2*	96.7246	1.0245	10.0000	96.7418	102.7689	0.0172	6.0271	ANC1H2*	5.983183434	0.0167880
ANC2H2*	92.6508	1.0255	10.0000	92.6723	99.6510	0.0215	6.9787	ANC2H2*	6.951214896	0.0209663
ANC3H2*	99.6190	1.0432	10.0000	99.6402	107.5800	0.0212	7.9398	ANC3H2*	7.768641295	0.0203215
ANC1H3*	96.7740	1.0121	10.0000	96.8004	104.3103	0.0264	7.5099	ANC1H3*	7.618849549	0.0260844
ANC2H3*	88.0802	1.0545	10.0000	88.1107	96.9945	0.0305	8.8838	ANC2H3*	8.675247061	0.0289226
ANC3H3*	102.4670	1.0245	10.0000	102.4963	112.0640	0.0293	9.5677	ANC3H3*	9.613846463	0.0285993
Control ext. sin cal	103.1573	4.0454	50.0000	103.2149	122.8532	0.0576	19.6383	Control ext. sin cal	4.92459501	0.01423839
Control nixt. sin cal	118.5416	4.0573	50.0000	114.0570	120.2548	0.0472	14.0000	Control nixt. sin cal	3.491184758	0.01163
Almidón com. crudo	99.6163	4.0139	50.0000	99.6258	117.0254	0.0095	17.3996	Almidón com. crudo	4.34513036	0.00236678
ENDOSPERMO "nixt"	104.7859	4.0250	50.0000	104.8801	119.5456	0.0943	14.6655	ENDOSPERMO "nixt"	3.73095465	0.023416149

Tabla B.4.2. Promedio de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) para almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

MUESTRA	VAR1 IAA	INCERTIDUMBRE ±	VAR1 ISA	INCERTIDUMBRE ±	VAR 2 H HUM. % b.s.	VAR 3 C Ca(OH) ₂ % b.s.	VAR 4 H ²	VAR 5 C ²	VAR 6 HC
ANC1H1	3.956924116	0.290332851	0.005475144	0.000790838	20	0.5	400	0.25	10
ANC2H1*	4.347646223	0.329031090	0.005601881	0.000826396	20	0.5	400	0.25	10
ANC3H1*	4.728077921	0.415859340	0.006799733	0.002197863	20	0.9	400	0.81	18
ANC1H2*	4.992781380	0.896122292	0.016249221	0.002518359	30	0.1	900	0.01	3
ANC2H2*	5.381974074	0.983434094	0.016672034	0.002340395	30	0.5	900	0.25	15
ANC3H2*	6.229065728	1.299800037	0.018525686	0.001896498	30	0.9	900	0.81	27
ANC1H3*	6.223715627	1.263779160	0.021101838	0.005142190	40	0.1	1600	0.01	4
ANC2H3*	6.837249044	0.804129010	0.022655186	0.002455425	40	0.5	1600	0.25	20
ANC3H3*	7.674013713	1.558508828	0.026460516	0.007452387	40	0.9	1600	0.81	36
Control ext. sin cal	4.426746577	0.000000000	0.014238394	0.000000000					
Control nixt. sin cal	3.491184758	1.000000000	0.011633352	1.000000000					
Almidón com. crudo	4.282098691	2.000000000	0.002366775	2.000000000					
ENDOSPERMO "nixt"	3.730954652	3.000000000	0.023416149	3.000000000					

Tabla B.4.3a. Análisis de la varianza del Índice de absorción de agua (IAA) en almidón comercial de maíz nixtamalizado''

MUESTRAS						
HUMEDAD % B.S.	CONCENTRACIÓN DE Ca(OH) ₂ % B.S.				TOTAL	PROMEDIO
	ANAC1	ANC2	ANC3			
		0.1	0.5	0.9		
H1	20	3.957	4.348	4.728	13.033	4.344
H2	30	4.993	5.382	6.229	16.604	5.535
H3	40	6.224	6.837	7.674	20.735	6.912
	TOTAL	15.173	16.567	18.631	50.371	
	PROMEDIO	5.522	6.210	6.210		
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones				
F=	281.9203062	ScC=		2.017658095		
Grados de Libertad de la concentración		GI C=		2		
Suma de cuadrados de las humedades		Suma de cuadrados totales=		12.061559		
ScH=	9.905069468	ScT=				
Grados de Libertad	GI H=	Grados de libertad total=		GI T=		
	2			8		
Suma de cuadrados del error		<u>Cuadrados medios</u>				
ScE=	0.138831019	CM concentraciones		1.008829048		
Grados de Libertad	GI e=	CM Humedad		4.952534734		
	4	CM error =		0.034707755		
RELACIONES DE VARIACIÓN						
			Concentración de Ca(OH) ₂			
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	29.06638739	>	6.94	Si		
5.00%	29.06638739	>	18.00	Si		
RELACIONES DE VARIACIÓN						
			HUMEDAD			
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	142.6924547	>	6.94	Si		
5.00%	142.6924547	>	18.00	Si		
Diferencia mínima significativa						
DMS=	0.1190	t= 4.064				

Tabla B.4.3b. Análisis de la varianza del índice de solubilidad en agua (ISA) en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

		MUESTRAS				
		CONCENTRACIÓN	DE Ca(OH) ₂	% B.S.		
HUMEDAD % B.S.		ANC1	ANC2	ANC3	TOTAL	PROMEDIO
		0.1	0.5	0.9		
H1	20	0.005	0.006	0.007	0.018	0.006
H2	30	0.016	0.017	0.019	0.051	0.017
H3	40	0.021	0.023	0.026	0.070	0.023
	TOTAL	0.043	0.045	0.052	0.140	
	PROMEDIO	0.015	0.017	0.017		
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones				
	F=	0.002163529	ScC=		1.46E-05	
		Grados de libertad		GI C=	2	
		de la concentración				
Suma de cuadrados de las humedades		Suma de cuadrados totales=				
	ScH=	0.000468761	ScT=		0.000488	
Grados de libertad		GI H=	2	Grados de libertad total=		8
		GI T=				
Suma de cuadrados del error		<u>Cuadrados medios</u>				
	Sce=	4.56878E-06	CM	concentraciones 7.32E-06		
Grados de libertad		GI e=	4	CM Humedad	0.000234	
		CM error = 1.14E-06				
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>		<u>Concentración de Ca(OH)₂</u>				
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	6.40652966	.=.	6.94	Si		
5.00%	6.40652966	<	18.00	No		
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>		<u>HUMEDAD</u>				
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	205.2017877	>	6.94	Si		
5.00%	205.2017877	>	18.00	Si		
<u>Diferencia mínima significativa</u>		t= 4.064				
DMS=	0.0007					

Tabla B.4.4a. Análisis de la regresión múltiple para el índice de absorción de agua IAA, en almidón comercial de maíz nixtamalizado

Análisis de la regresión múltiple				
Variable Dependiente: VAR1				
Estándar Parámetro	T Estimado	Error	Estadístico	P-Valor
CONSTANTE	1.78763	1.32427	1.3499	0.2699
VAR2	0.0819975	0.0929374	0.882287	0.4426
VAR3	0.666271	1.04624	0.636824	0.5695
VAR4	0.00076995	0.00153802	0.50061	0.6511
VAR5	0.753032	1.16211	0.647986	0.5632
VAR6	0.000693612	0.013061	0.0531055	0.9610

R² = 98.8248 por-ciento
R² (ajustado para g.l..) = 96.8662 por-ciento
Error estándar = 0.217509
Media absoluta del error = 0.106794
Durbin-Watson Estadístico = 2.16637 (P=0.3398)
Lag 1 residual de auto-correlación = -0.227128

VAR1 = 1.78763 + 0.0819975*VAR2 + 0.666271*VAR3 + 0.00076995*VAR4

Tabla B.4.4b Análisis de la regresión múltiple para el índice de solubilidad en agua ISA, en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

Análisis de la regresión múltiple				
Estándar	T			
Parámetro	Estimado	Error	Estadístico	Valor – P
CONSTANTE	-0.00835152	0.00730899	-1.14264	0.3361
VAR._2	0.000696313	0.000512944	1.35748	0.2677
VAR._3	-0.000023424	0.00577446	-0.00405648	0.9970
VAR._4	0.00000116799	0.00000848872	0.137594	0.8993
VAR._5	0.00361452	0.00641398	0.563539	0.6124
VAR._6	0.0000477111	0.0000720869	0.661855	0.5554
Total (Corr.)	0.000402766	8		
R ² = 98.9265 por ciento				
R ² (ajustado) = 97.1375 por ciento				
Error estándar = 0.00120049				
Media absoluta del error = 0.000581998				
Durbin-Watson Estadístico = 1.66617 (P=0.2540)				
Rsidual de correlación = -0.00936511				

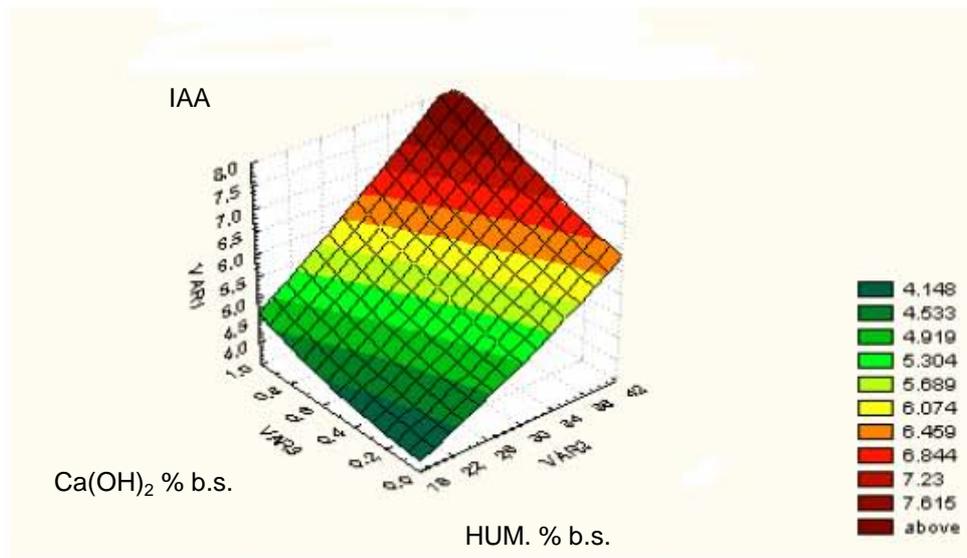


Figura B.4.1. Superficie de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

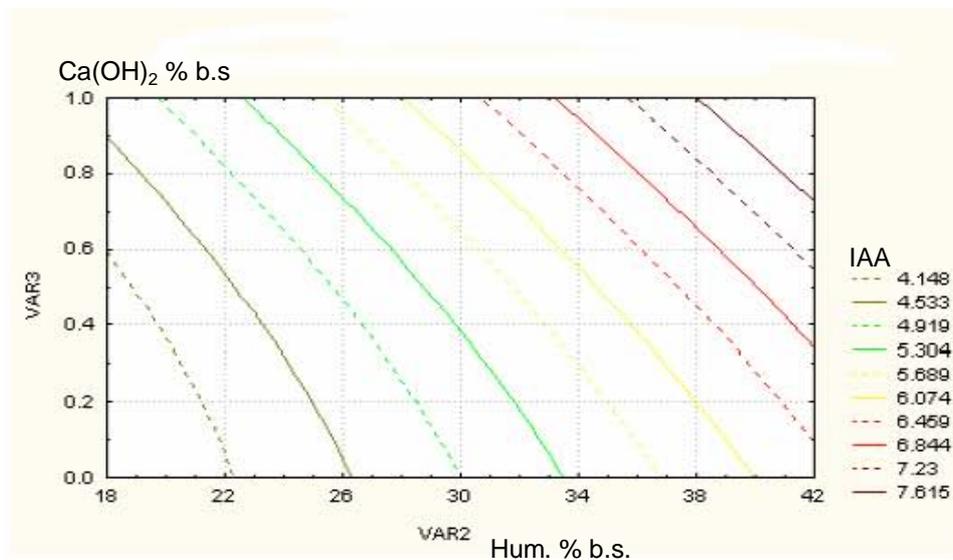


Figura B.4.2. Contorno de respuesta para la variación del índice de absorción de agua (IAA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

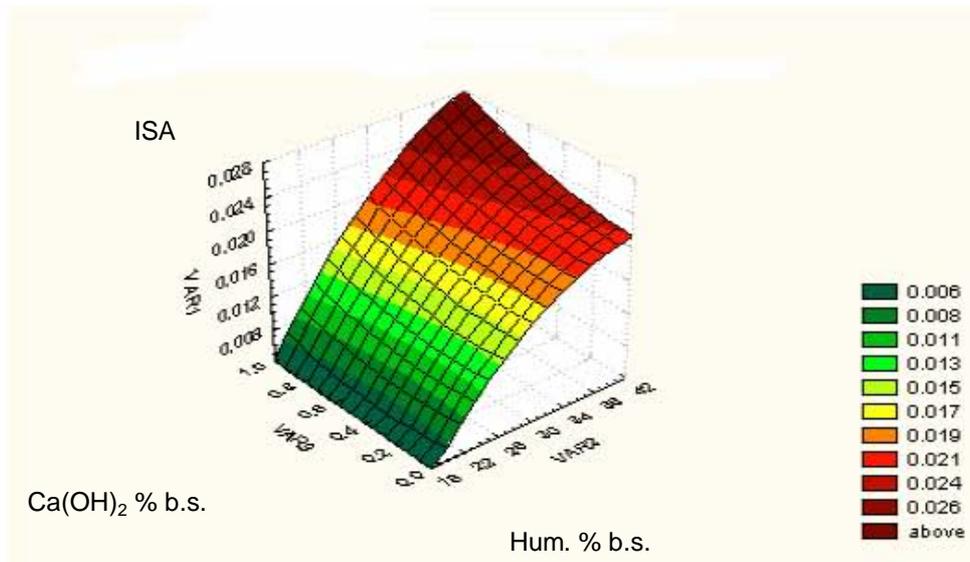


Figura B.4.3. Superficie de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

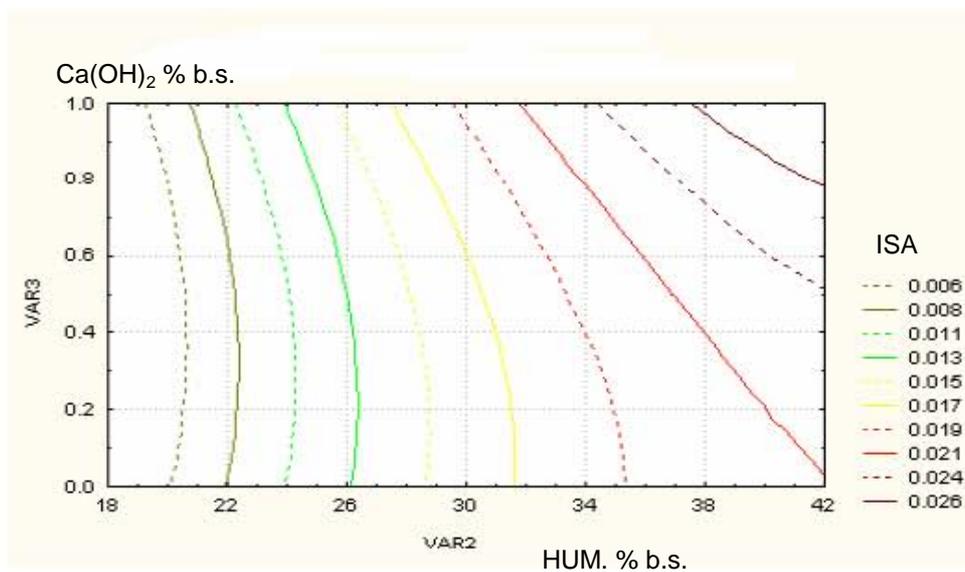


Figura B.4.4. Contorno de respuesta para la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

APÉNDICE B.5

VARIACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) PARA LOS EXPERIMENTOS DE EXTRUSIÓN TERMOALCALINA DE ALMIDÓN COMERCIAL

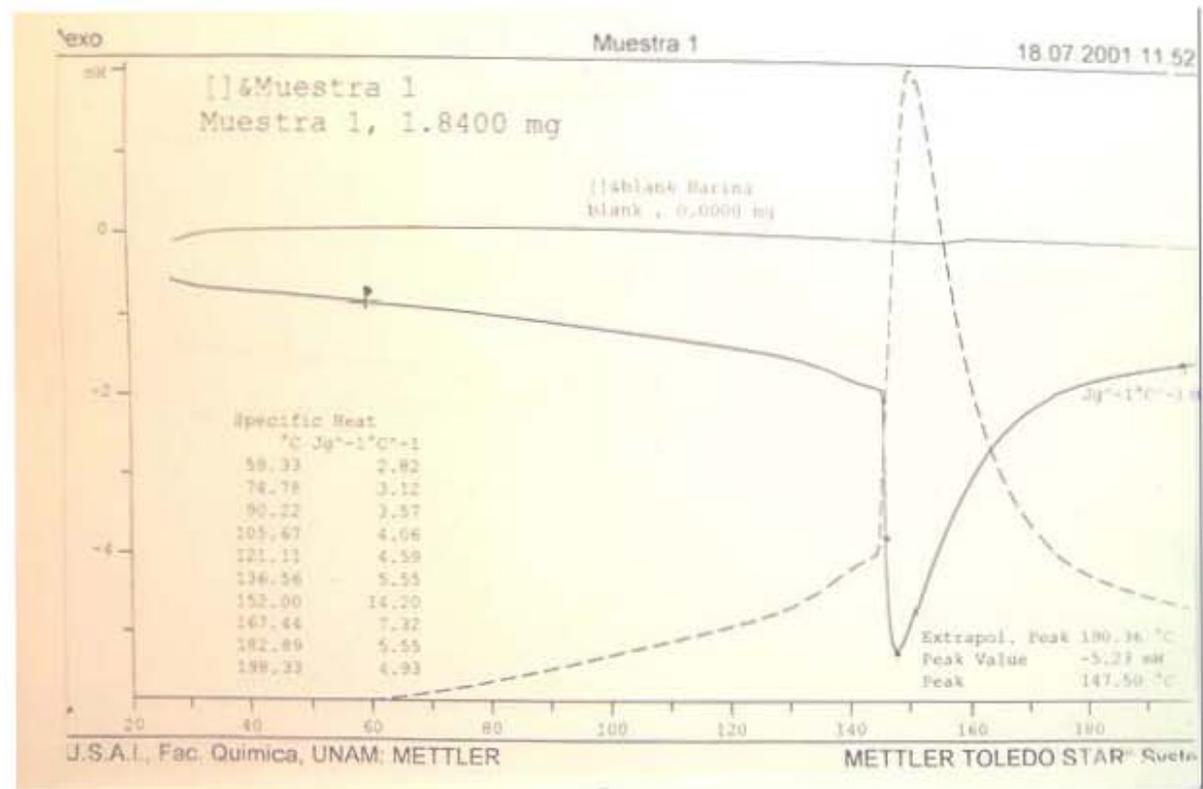


Figura B.5.1. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

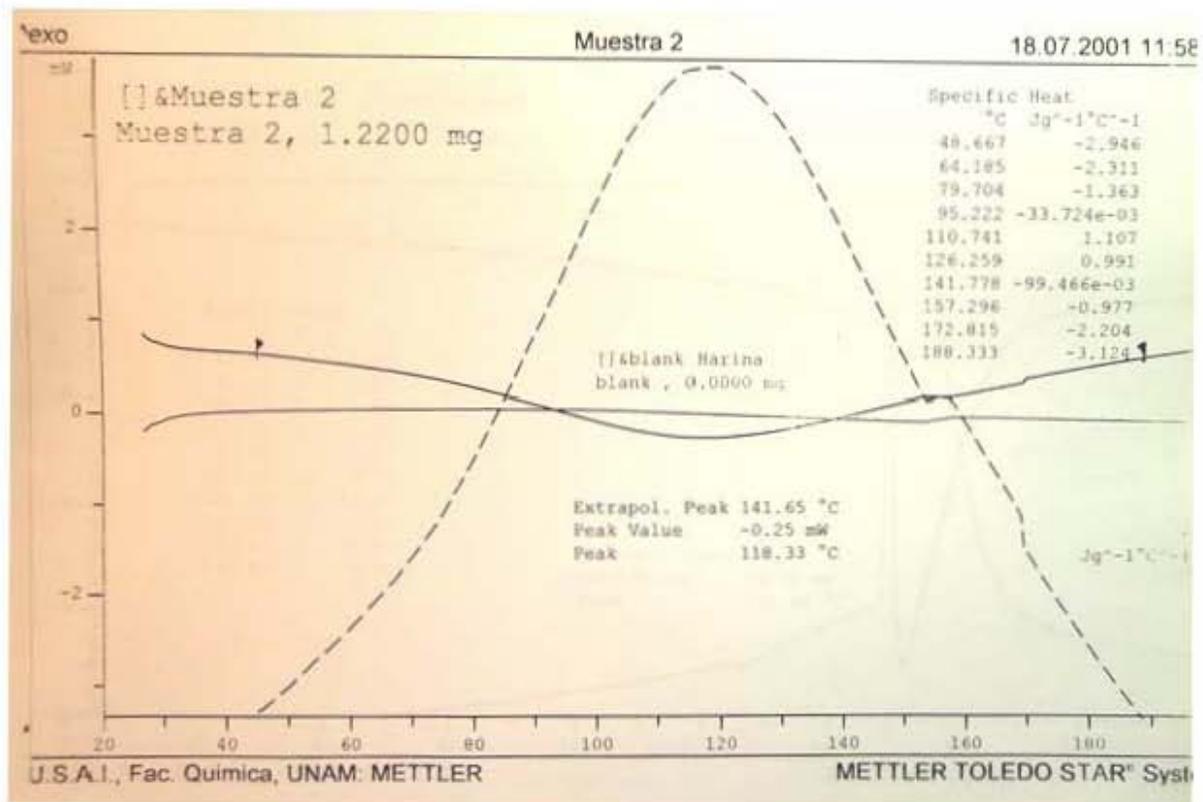


Figura B.5.2. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$) (sesgada y anulada)

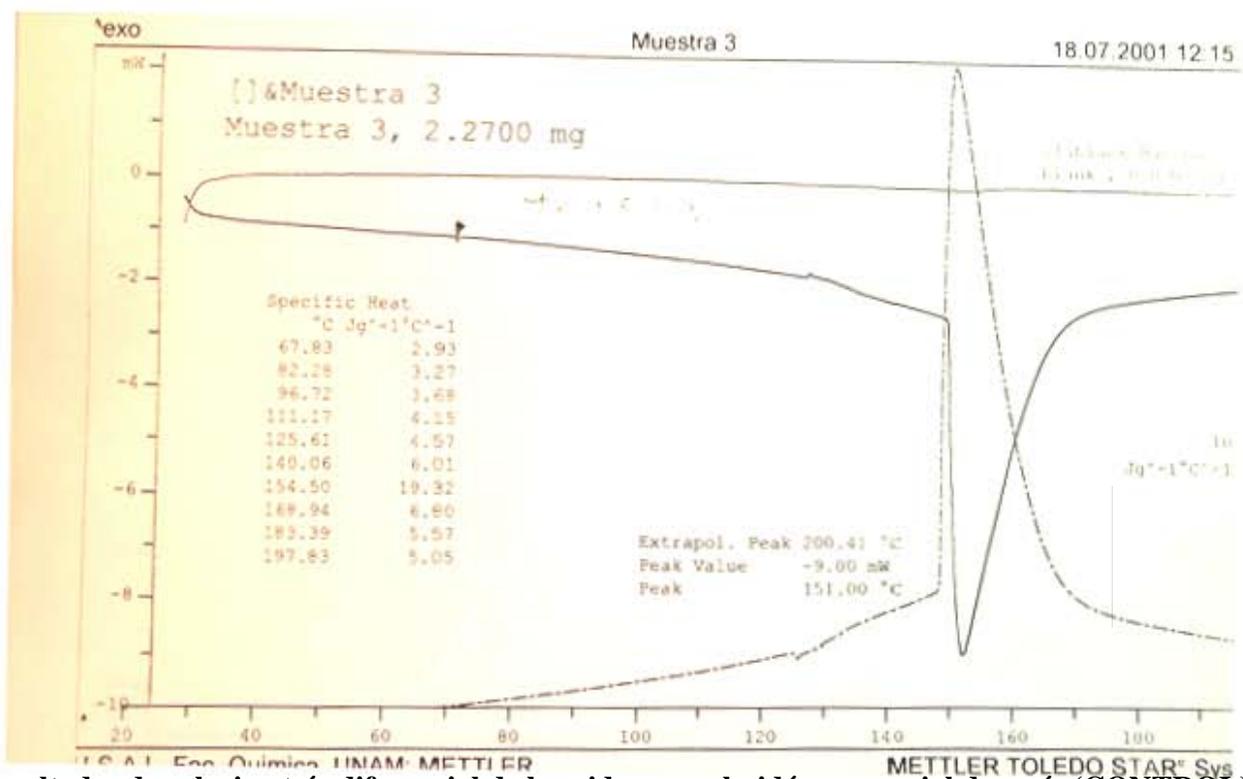


Figura B.5.3. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL) extrudido (sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

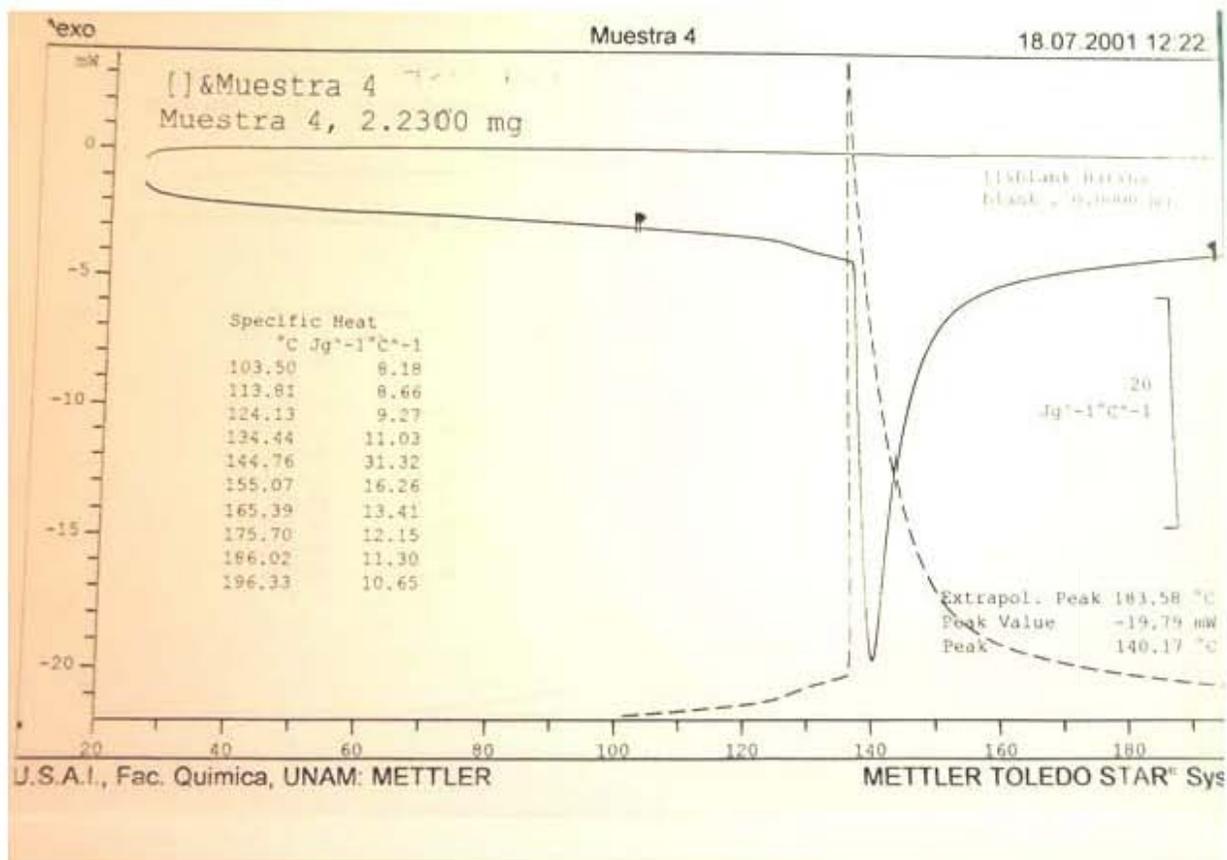


Figura B.5.4. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL-CRUDO) (Sin Ca(OH)₂)

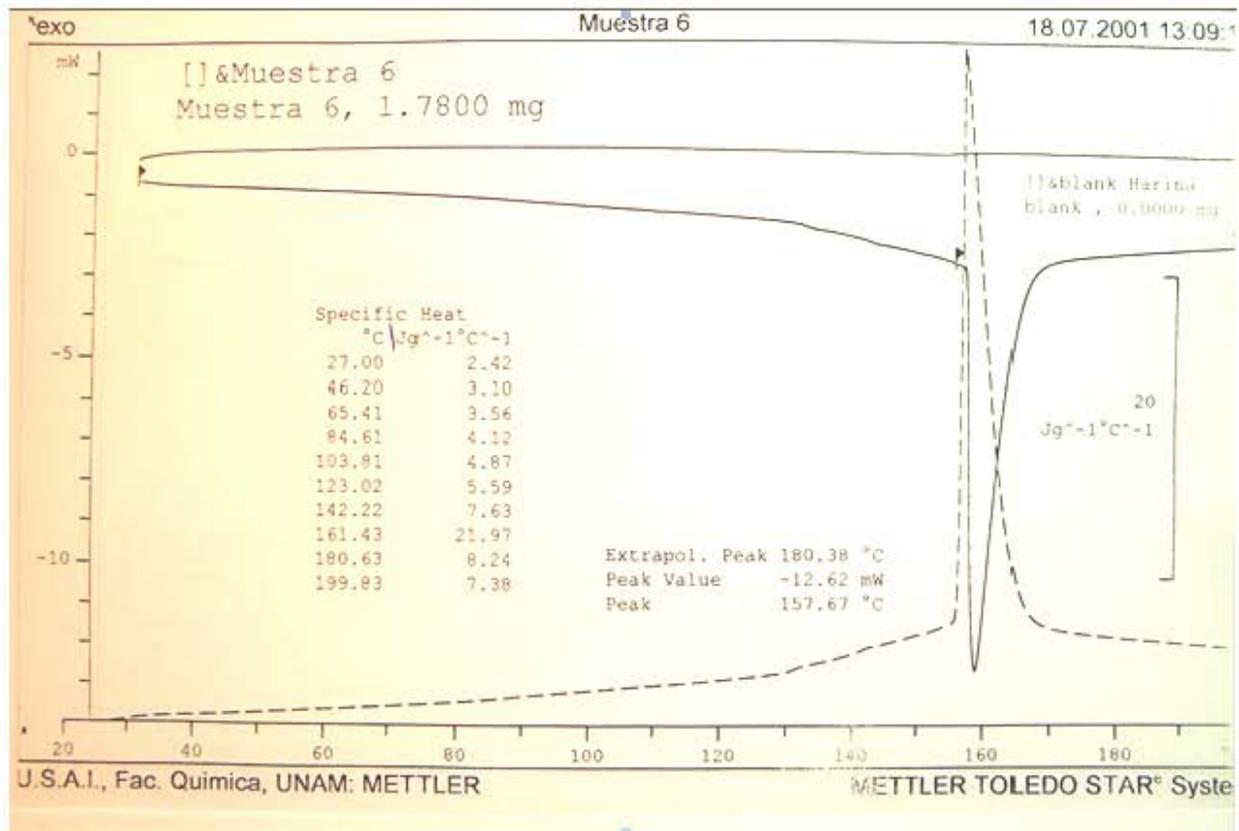


Figura B.5.6. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (CONTROL-CRUDO) (Sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

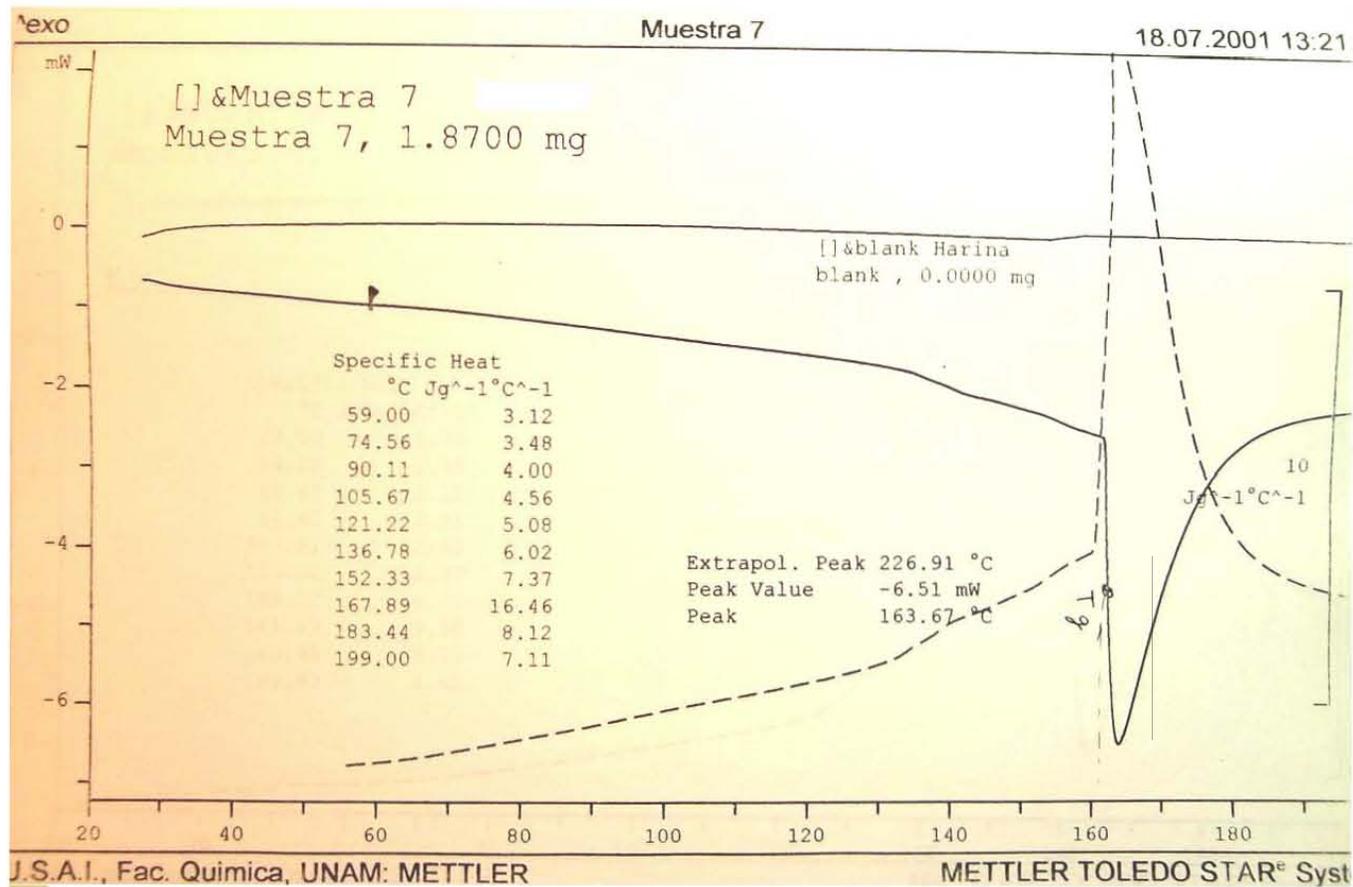


Figura B.5.7. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (CIH1) extrudido termoalcalinamente

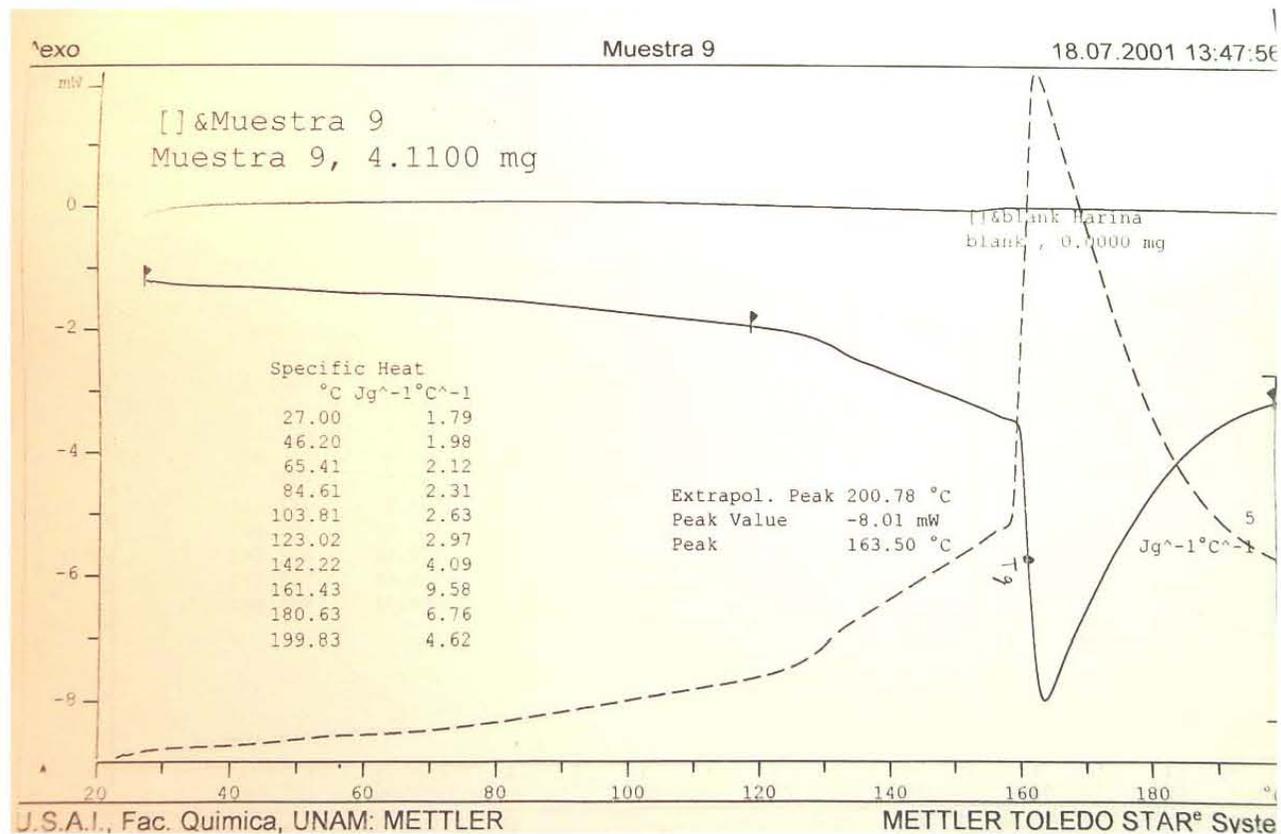


Figura B.5.8. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C2HI) extrudido termoalcalinamente

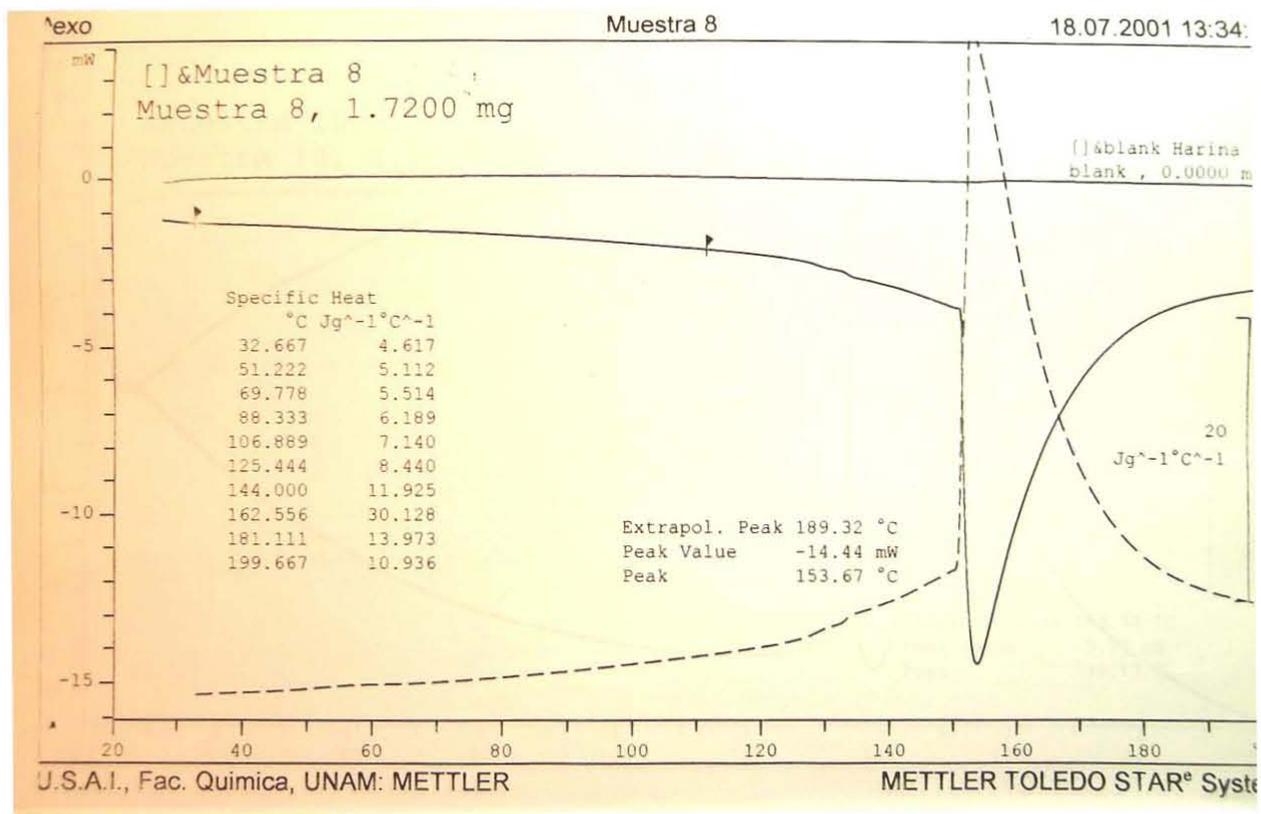


Figura B.5.9. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C3HI) extrudido termoalcalinamente

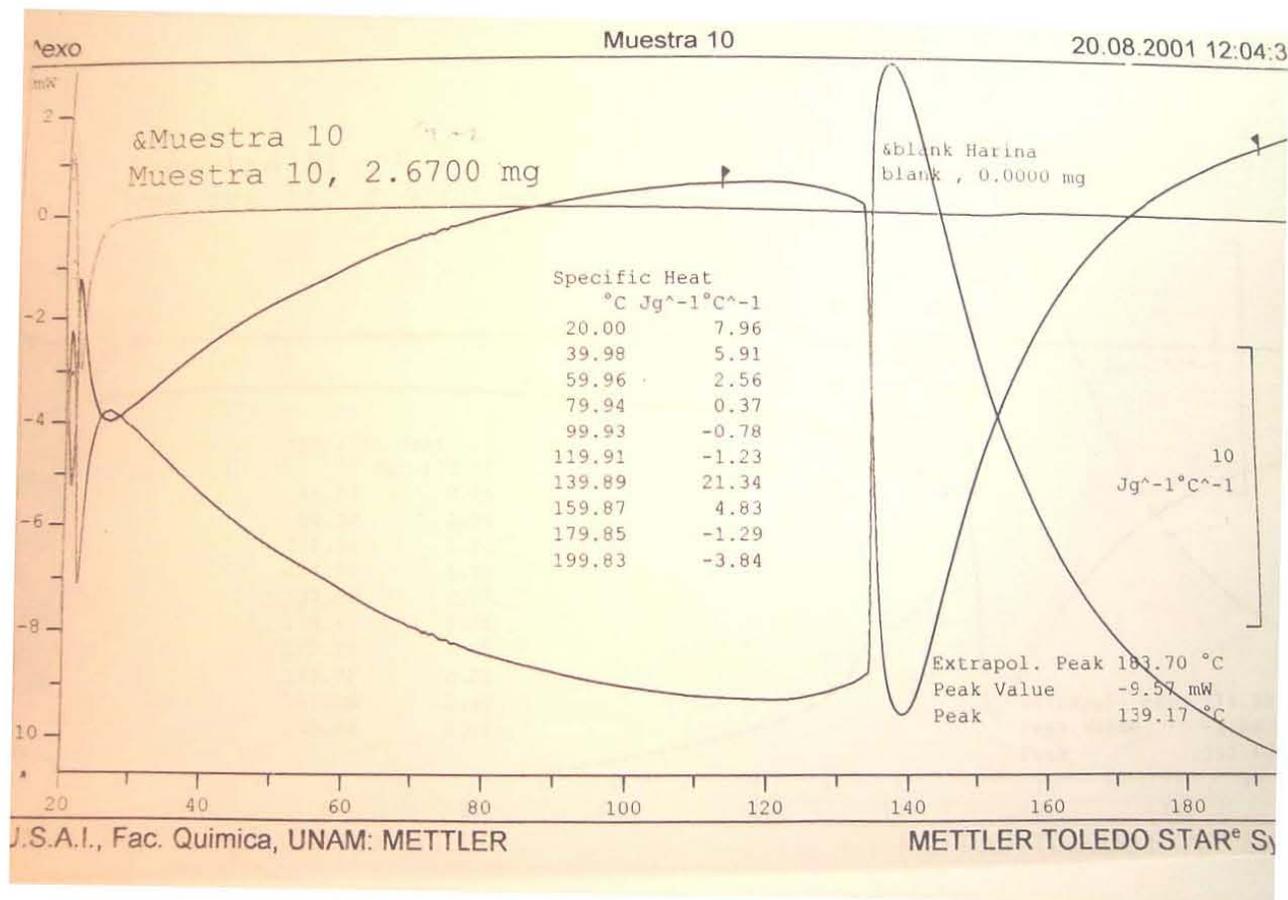


Figura B.5.10. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C1H2 - EXTR.) extrudido termoalcalinamente

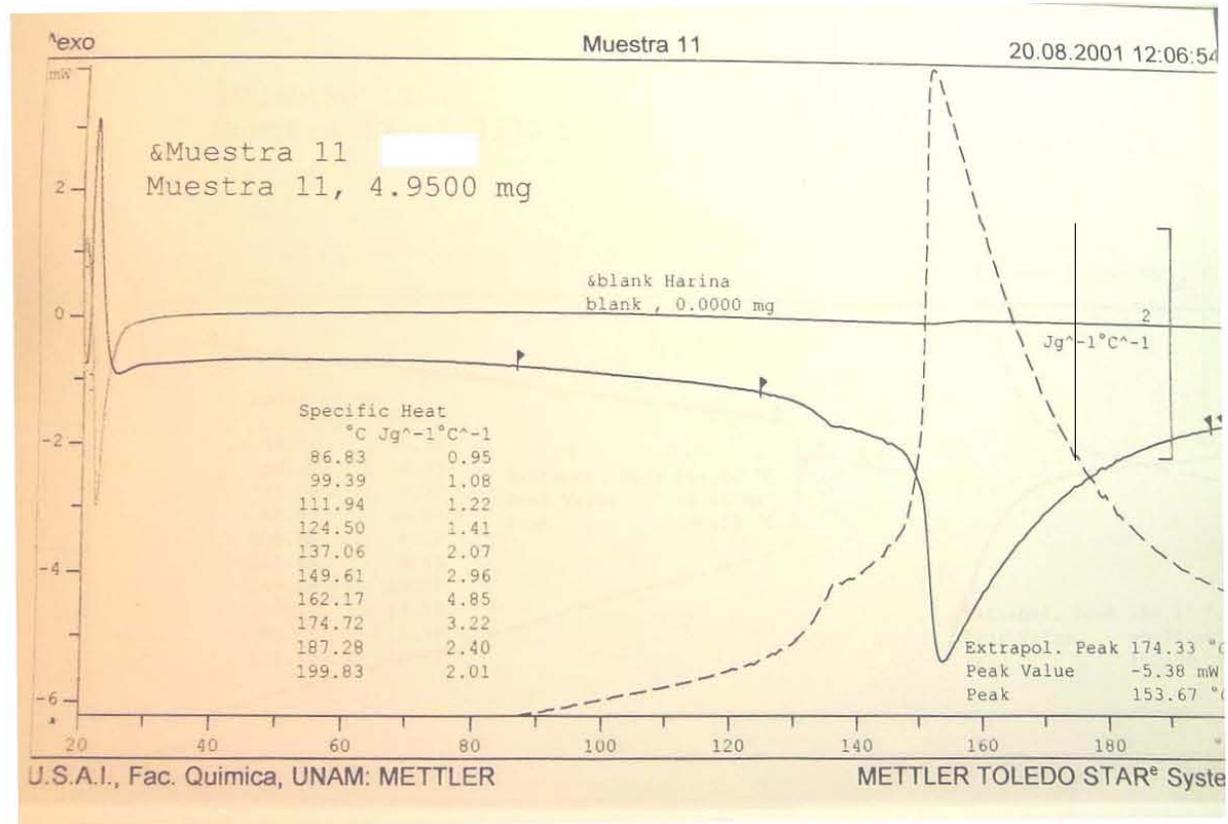


Figura B.5.11. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C2H2) extrudido termoalcalinamente

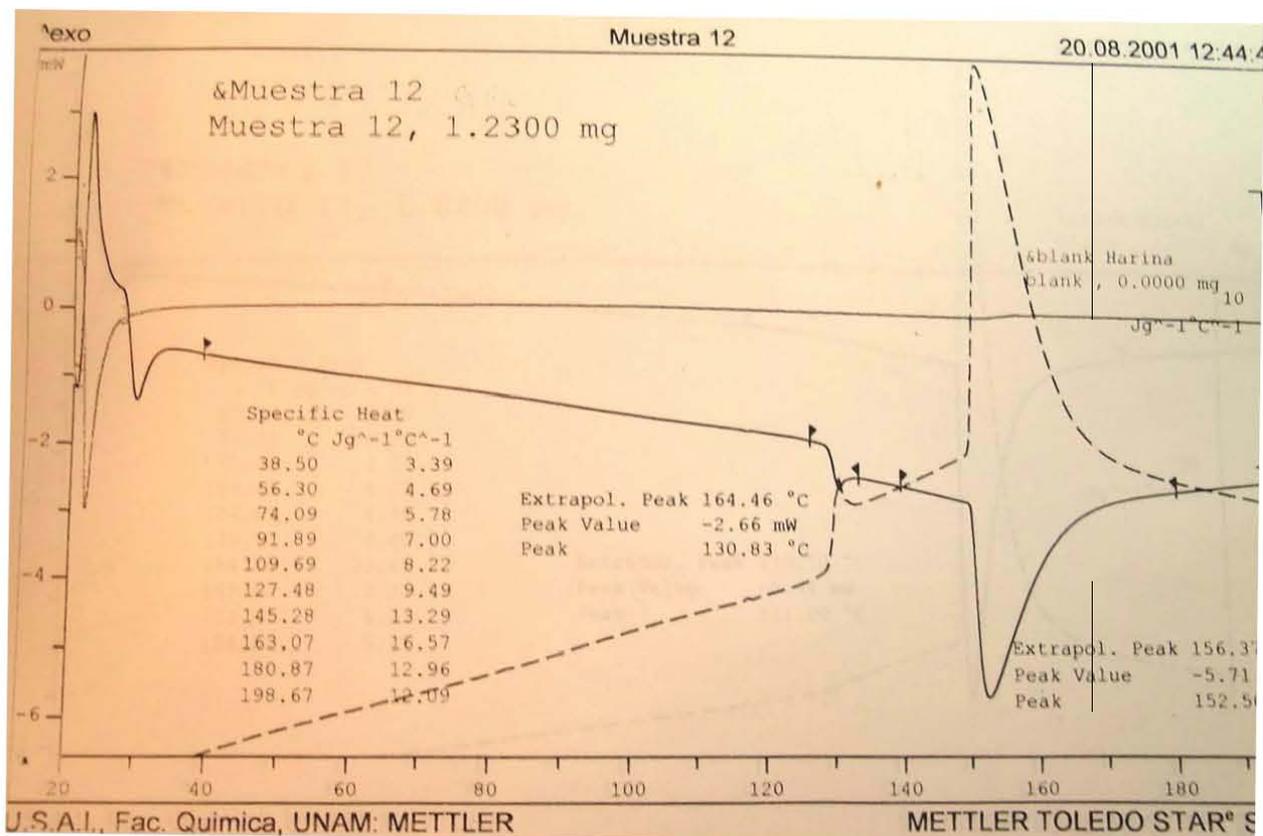


Figura B.5.12. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C3H2) extrudido termoalcalinamente

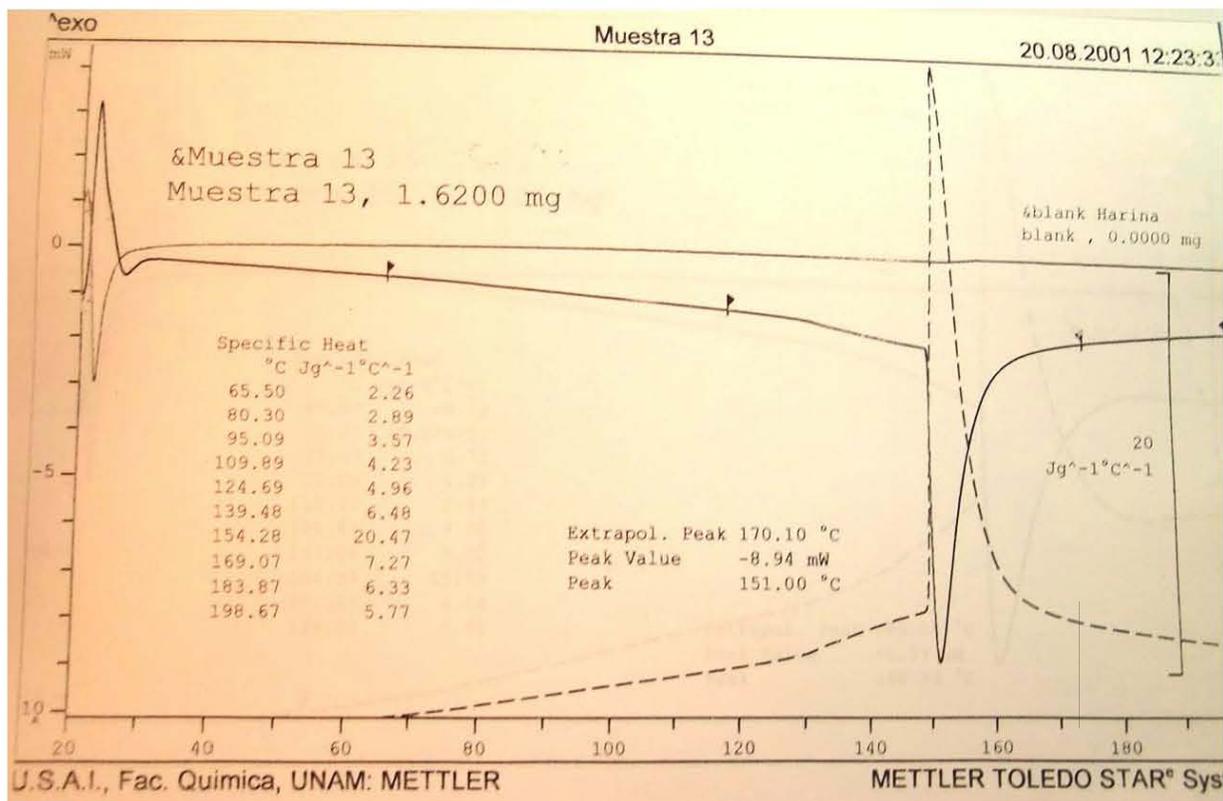


Figura B.5.13. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C1H3) extrudido termoalcalinamente

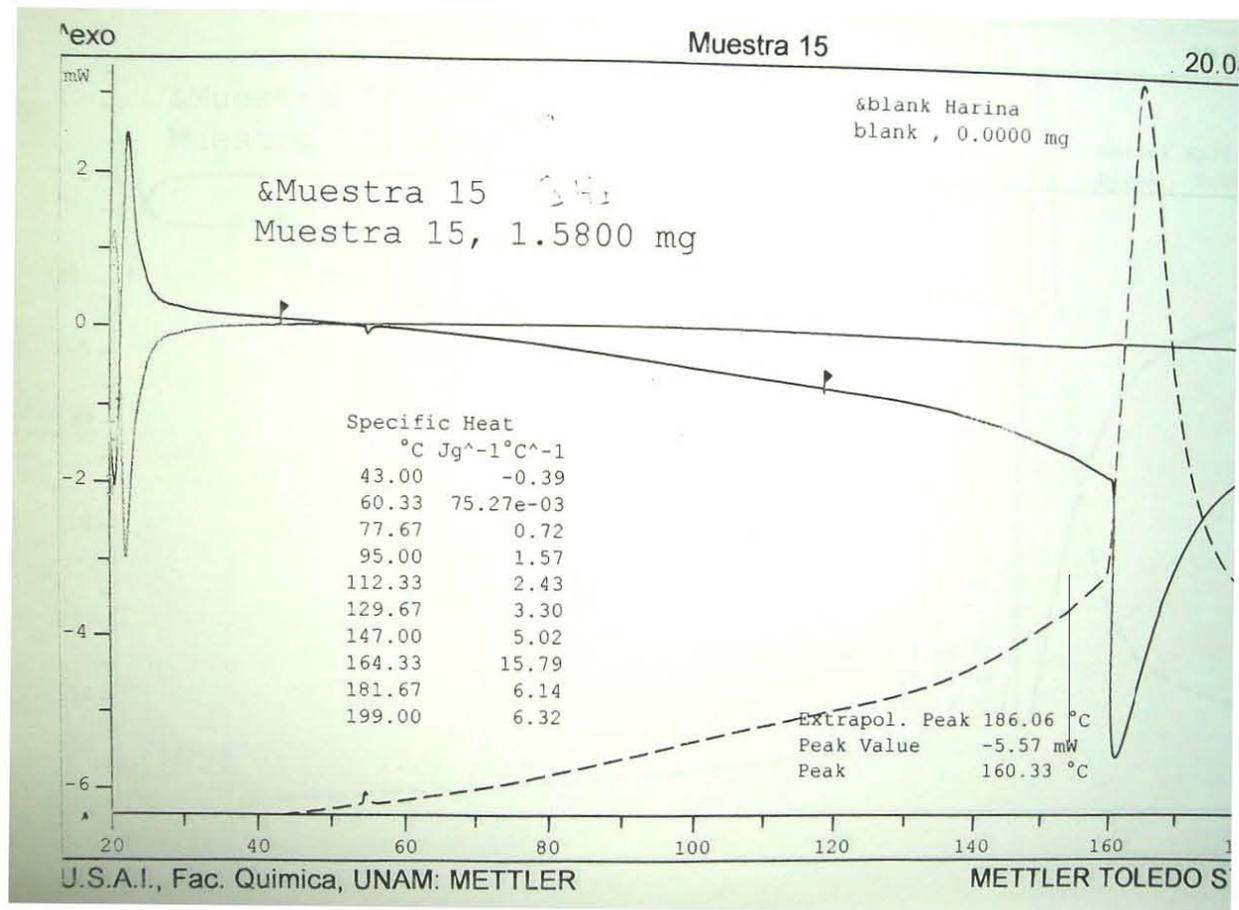


Figura B.5.14. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C2H3) extrudido termoalcalinamente

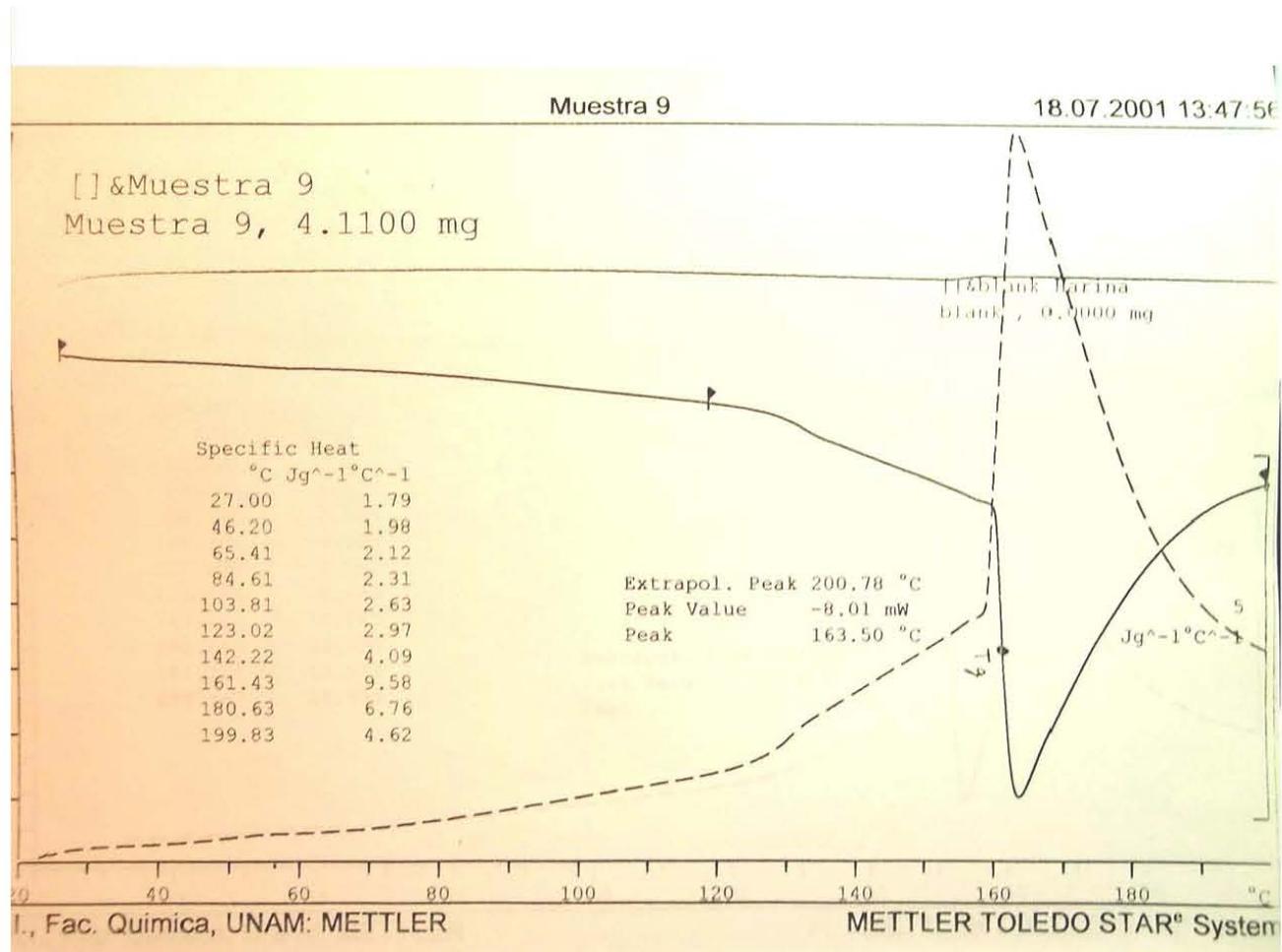


Figura B.5.15. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz, (C3H3) extrudido termoalcalinamente

Tabla B.5.1. Variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

MUESTRA	No.	PESO (g)	Temp. media de cristalización (°C)	Calor de fusión (J/g °C)	Calor específico a 75°C (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$)	
Control extr sin cal	1	0.0101	147.50	12.86	3.2607	
Control extr sin cal	2	0.0107	Sesgado	26.65	3.2607	
Control extr sin cal	3	0.0106	151.00	13.43	3.2207	
PROMEDIO					3.2474	
Control crudo	4	0.0102	140.17	7.27	10.7430	SESGADA
Control crudo	5	0.0102	140.33	21.54	0.9478	SESGADA
Control crudo	6	0.0100	157.67	13.66	3.7803	
					3.7803	
CIHI"-EXTR.	7	0.0100	163.67	11.77	3.7045	
C2HI"-EXTR.	8	0.0120	163.50	10.73	2.2179	
C3HI"-EXTR.	9	0.0128	153.67	14.49	5.4684	
C1H2"-EXTR.	10	0.0109	139.17	17.04	0.9510	
C2H2"-EXTR.	11	0.0120	153.67	14.08	1.4465	
C3H2"-EXTR.	12	0.0110	152.50	12.84	6.0208	
C1H3"-EXTR.	13	0.0117	151.00	9.51	2.6720	
C2H3"-EXTR.	14	0.0115	160.33	11.72	-1.2832	
C3H3"-EXTR.	15	0.0108	163.50	9.25	2.6155	

Tabla B.5.2. Análisis de la varianza para la variación del calor específico a presión constante (C_p , J/g-°C) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

HUMEDAD % B.S.		CONCENTRACIÓN	DE Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3	TOTAL	PROMEDIO	
		0.1	0.5	0.9			
H1	20	3.705	2.218	5.468	11.391	3.797	
H2	30	0.951	1.447	6.021	8.418	2.806	
H3	40	2.672	-1.283	2.616	4.004	1.335	
	TOTAL	7.328	2.381	14.105	23.813		
	PROMEDIO	0.794	4.702	4.702			
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones					
	F=	63.00813965	ScC=	23.09295474			
			Grados de libertad de la concentración	GI C=	2		
Suma de cuadrados de las humedades		Suma de cuadrados totales=				40.41065808	
ScH=	9.208706051	ScT=					
Grados de Libertad	GI H=	2	Grados de libertad total=	GI T=	8		
Suma de cuadrados del error		<u>Cuadrados medios</u>					
Sce=	8.108997286	CM concentraciones		11.54647737			
Grados de Libertad	GI e=	4	CM Humedad	4.604353025			
			CM error =	2.027249322			
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>		Concentration de Ca(OH) ₂					
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa			
1.00%	5.695637556	±	6.94	No			
5.00%	5.695637556	±	18.00	No			
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>		HUMEDAD					
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa			
1.00%	2.271231751	<	6.94	No			
5.00%	2.271231751	<	18.00	No			
<u>Diferencia mínima significativa</u>		t= 4.064					
DMS=	0.9092						

Tabla B.5.3 Regresión múltiple para la variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización ($75 °C$) del almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

	PROMEDIO	X	Y	X ²	Y ²	XY
	Capacidad calorífica (kcal/g)	HUM % B.S.	CONCENT Ca(OH) ₂ , B.S.			
	VAR 3	VAR1	VAR 2			
CIHI"-EXTR.						
	3.7045	20	0.1	400	0.01	2
C2HI"-EXTR.						
	2.2179	20	0.5	400	0.25	10
C3HI"-EXTR.						
	5.4684	20	0.9	400	0.81	18
C1H2"-EXTR.						
	0.9510	30	0.1	900	0.01	3
C2H2"-EXTR.						
	1.4465	30	0.5	900	0.25	15
C3H2"-EXTR.						
	6.0208	30	0.9	900	0.81	27
C1H3"-EXTR.						
	2.6720	40	0.1	1600	0.01	4
C2H3"-EXTR.						
	-1.2832	40	0.5	1600	0.25	20
C3H3"-EXTR.						
	2.6155	40	0.9	1600	0.81	36

Regresión para la variable dependiente: VAR1
(Respuesta)

R= 0.90544813, **R²= 0.81983631** (ajustado)

F(5,3)=2.7303 p<.21893 Error estándar estimado: 1.5578

	BETA	St. Err. de BETA	B	St. Err. de B	t(3)	p-nivel
Intercepto			3.7075033	9.915291479	0.37391773	0.733328283
VAR2	0.3	2.58586548	0.077925	0.671086132	0.11611773	0.914895952
VAR3	-1.72	1.41308677	-11.1273646	9.168138716	-1.21369941	0.311698467
VAR4	-0.56	2.55850491	-0.00240242	0.011015545	-0.21809332	0.841349244
VAR5	2.747	1.08907191	17.3644271	6.884715316	2.52217068	0.086012706
VAR6	-0.59	1.00575546	-0.113775	0.194729155	-0.58427306	0.600069106

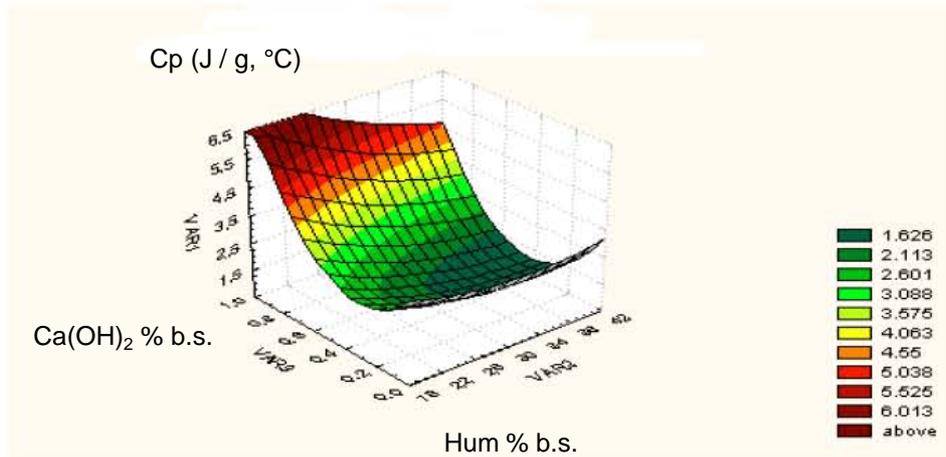


Figura B.5.16. Superficie de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

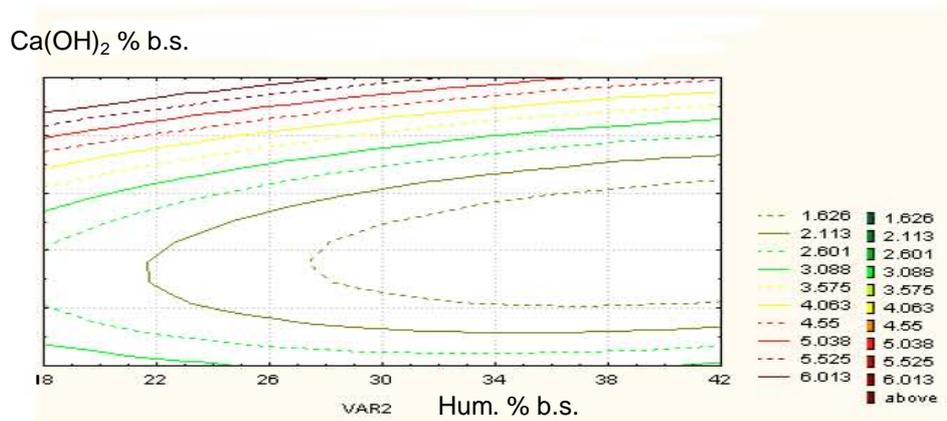


Figura B.5.17. Contorno de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

APÉNDICE B.6

VARIACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO A PRESIÓN CONSTANTE (C_p , $J\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) PARA LOS EXPERIMENTOS DE “NIXTAMALIZACIÓN” DE ALMIDÓN COMERCIAL

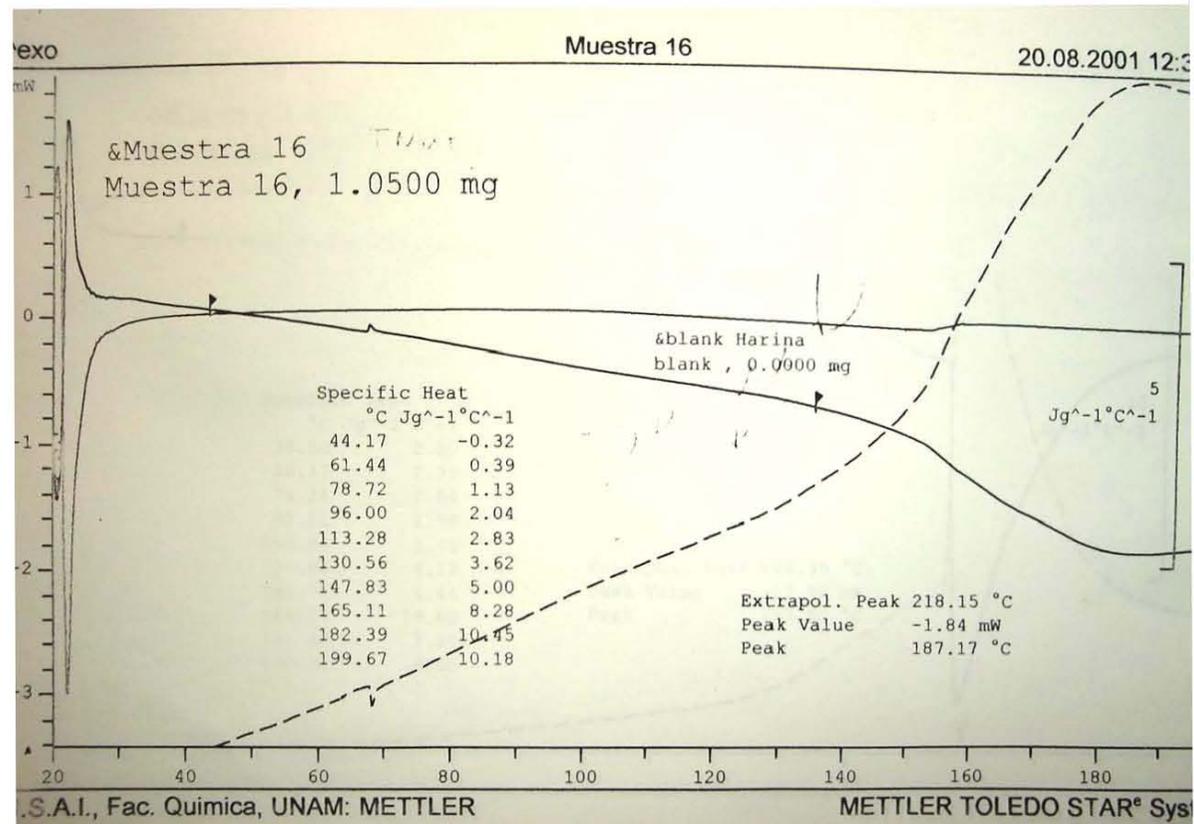


Figura B.6.1. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

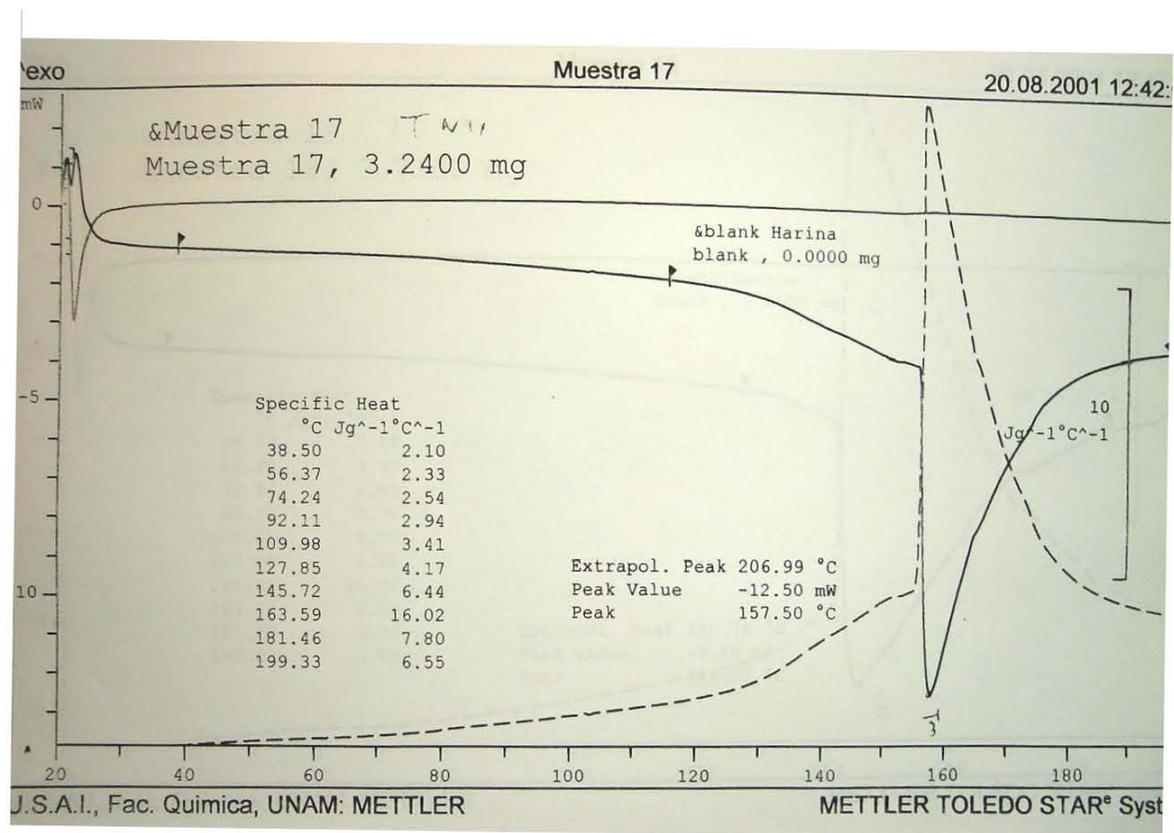


Figura B.6.2. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

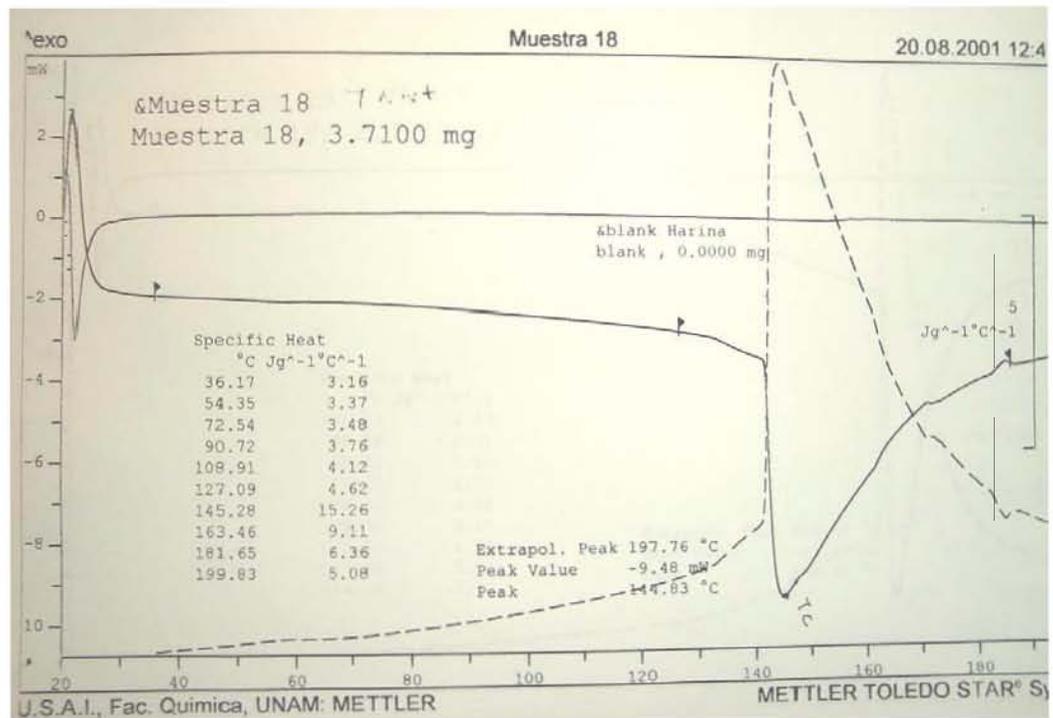


Figura B.6.3. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (TESTIGO NIXT) (Sin $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

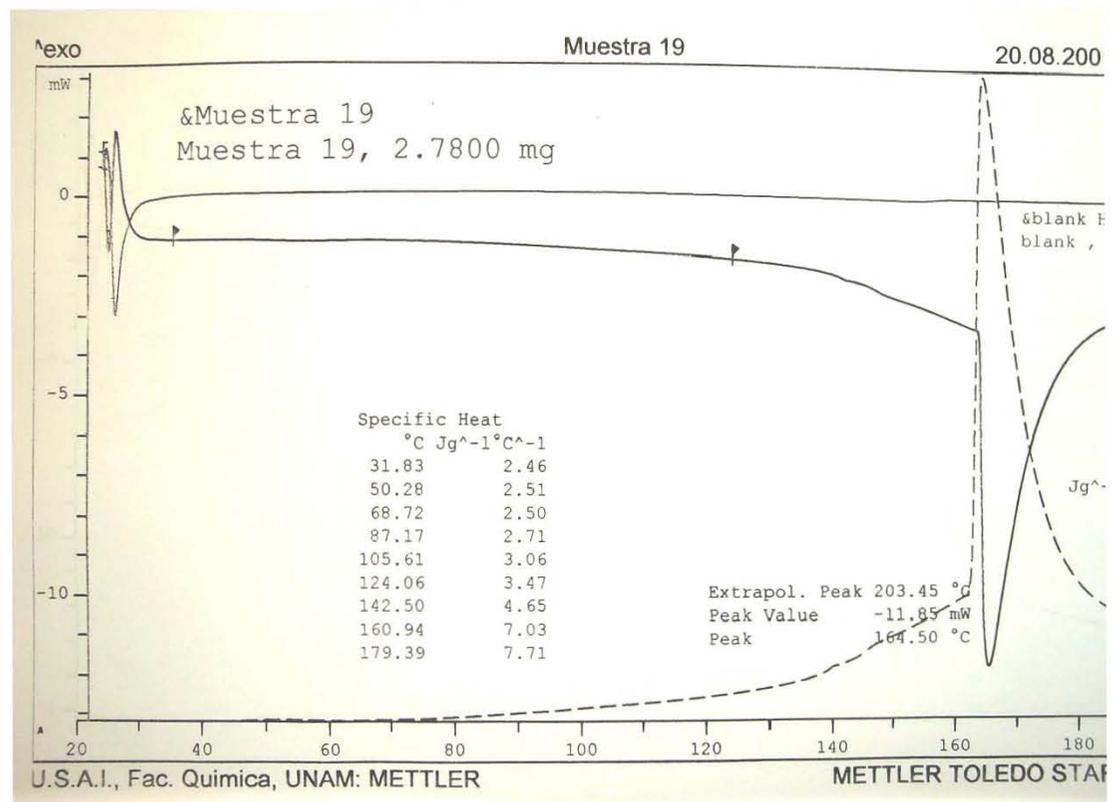


Figura B.6.4. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANCIHI NIXT). "Nixtamalizado"

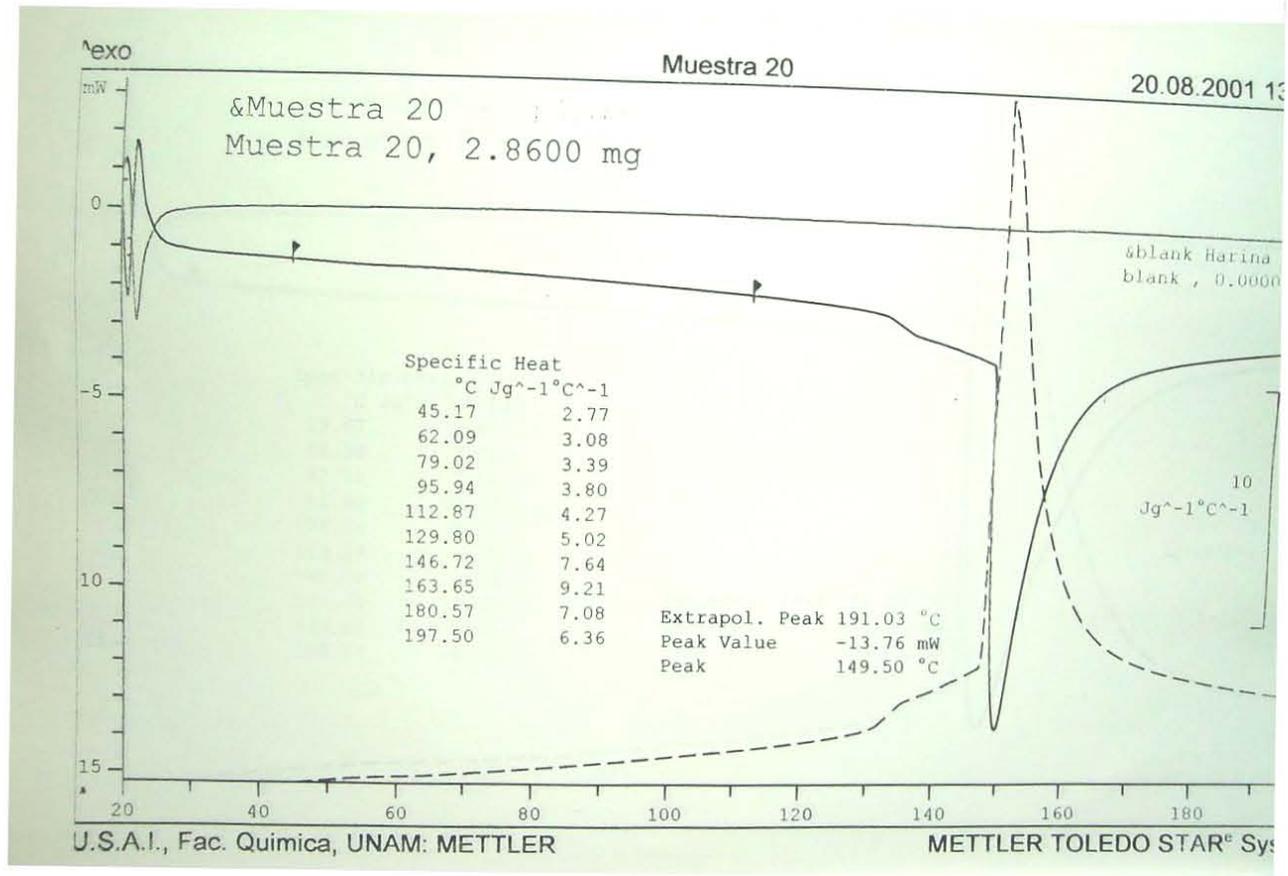


Figura B.6.5 Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2HI NIXT). "Nixtamalizado"

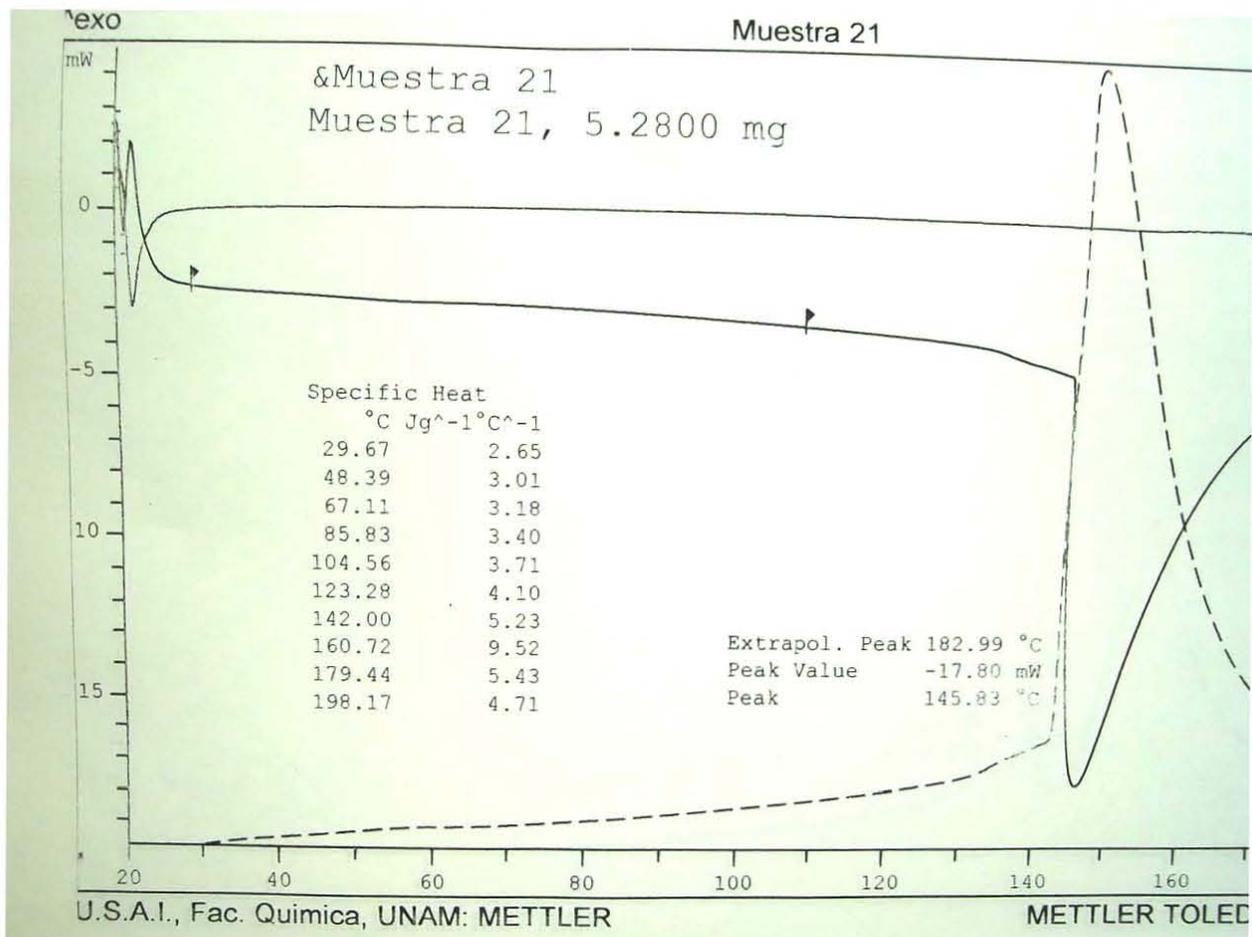


Figura B.6.6. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3HI NIXT). "Nixtamalizado"

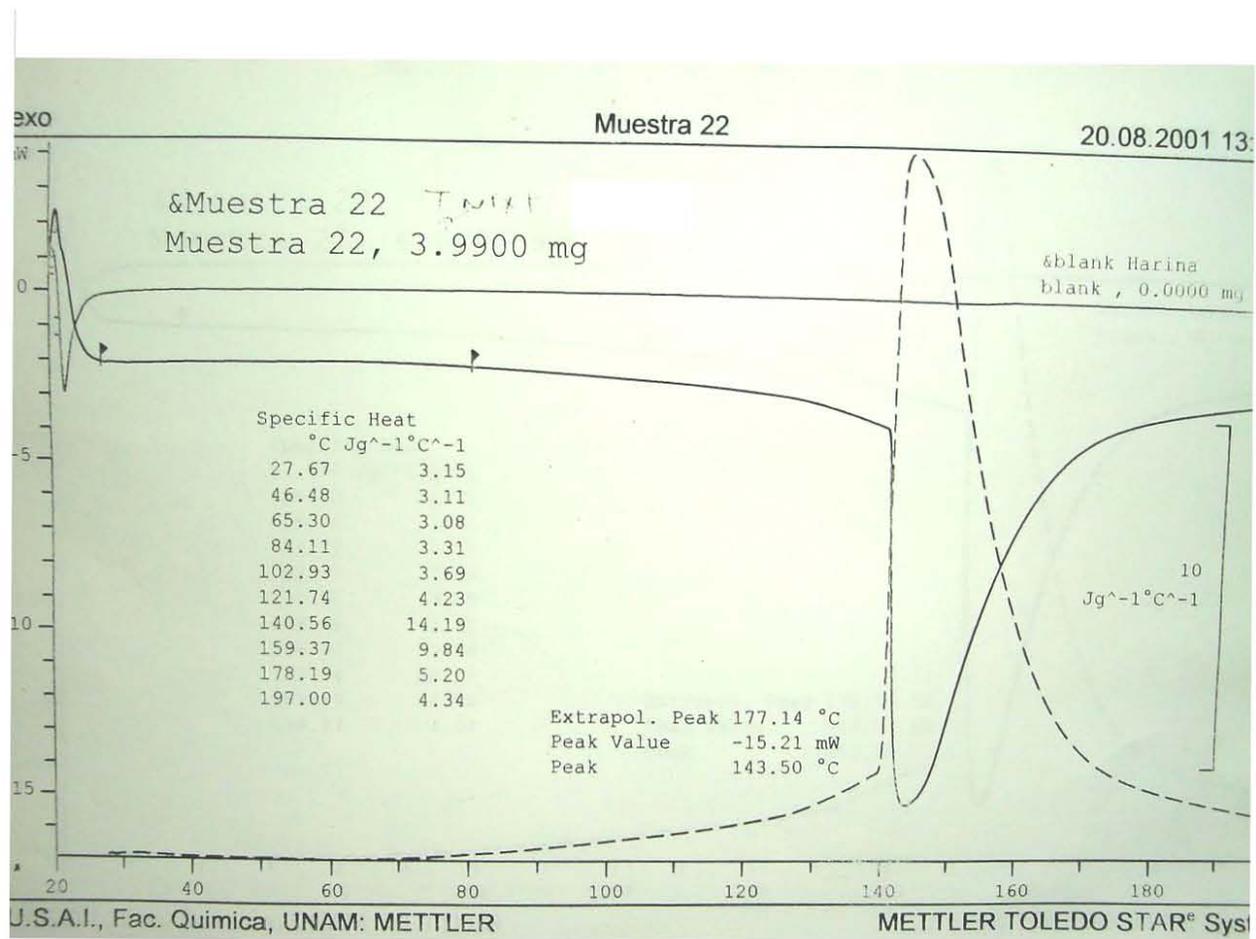


Figura B.6.7. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANCIH2 NIXT). "Nixtamalizado"

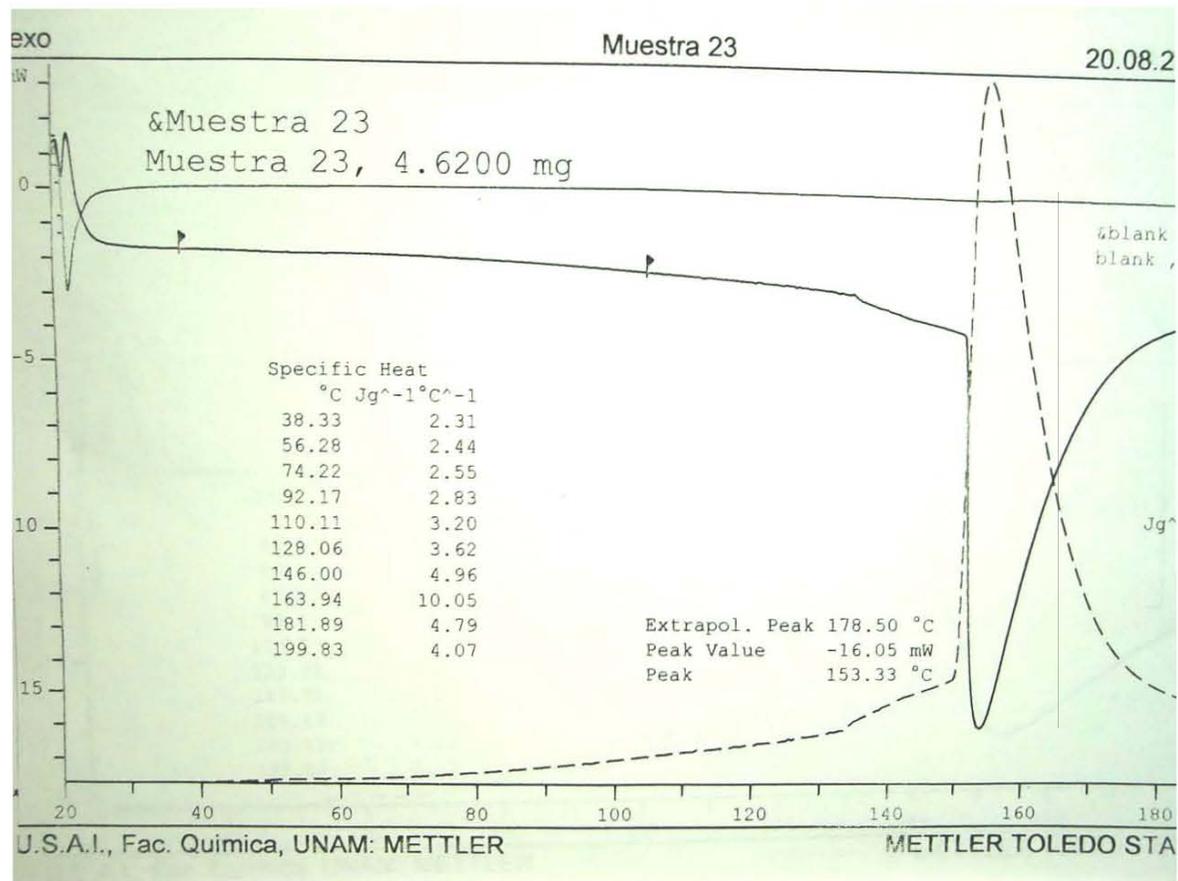


Figura B.6.8. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2H2 NIXT). "Nixtamalizado"

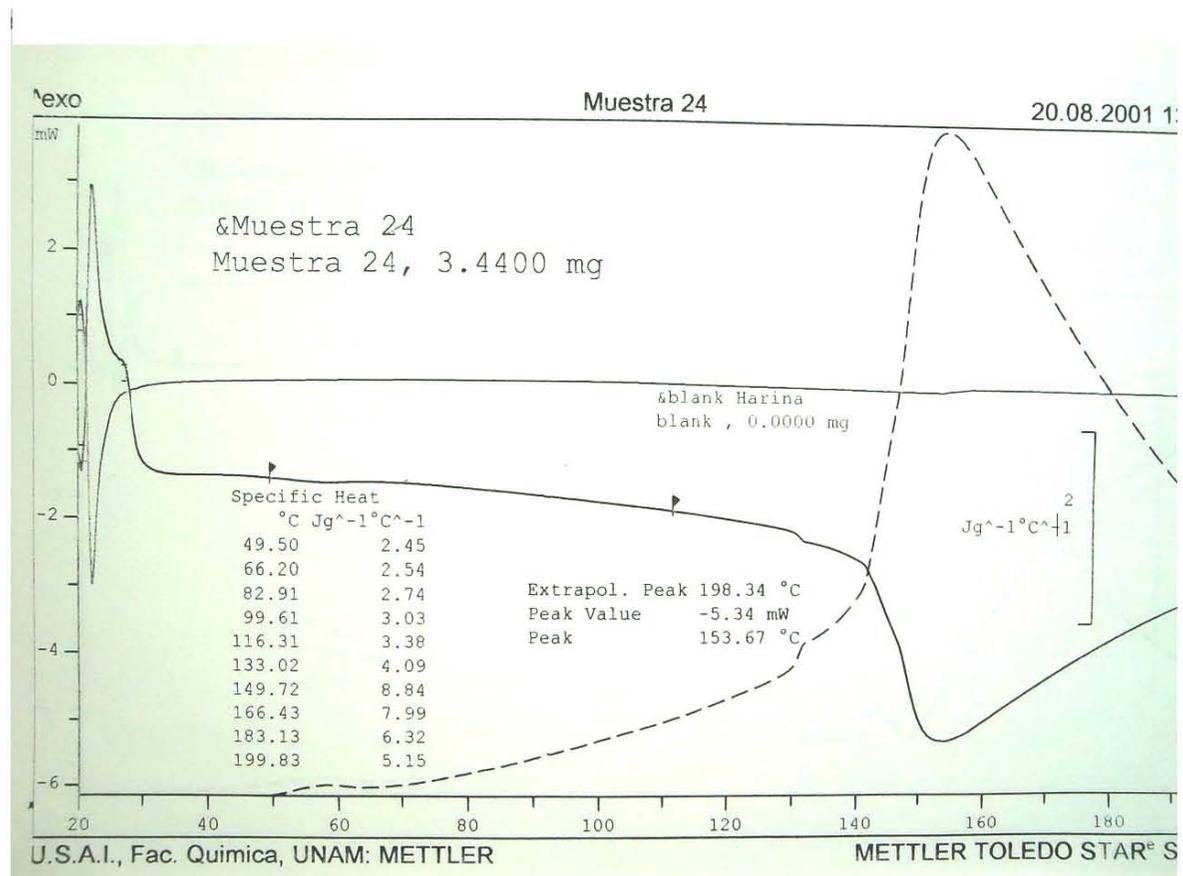


Figura B.6.9. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3H2 NIXT). "Nixtamalizado"

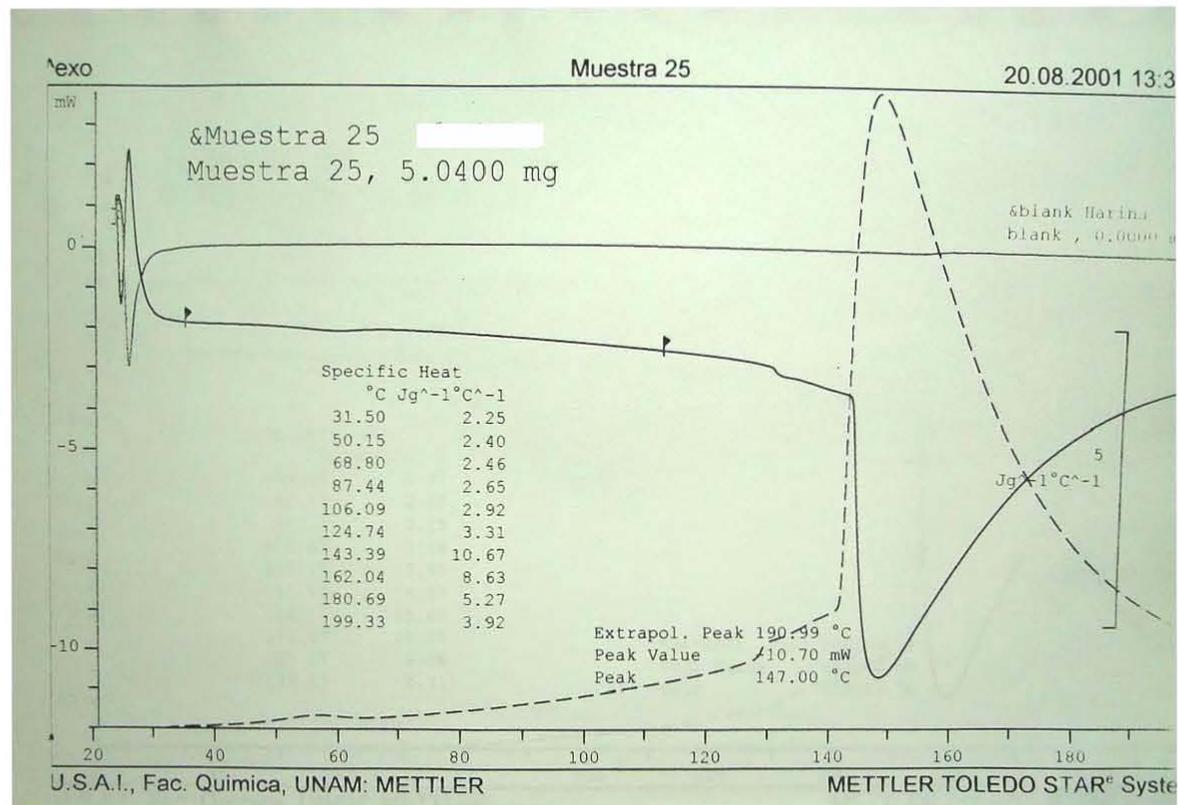


Figura B.6.10. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC1H3 NIXT). "Nixtamalizado"

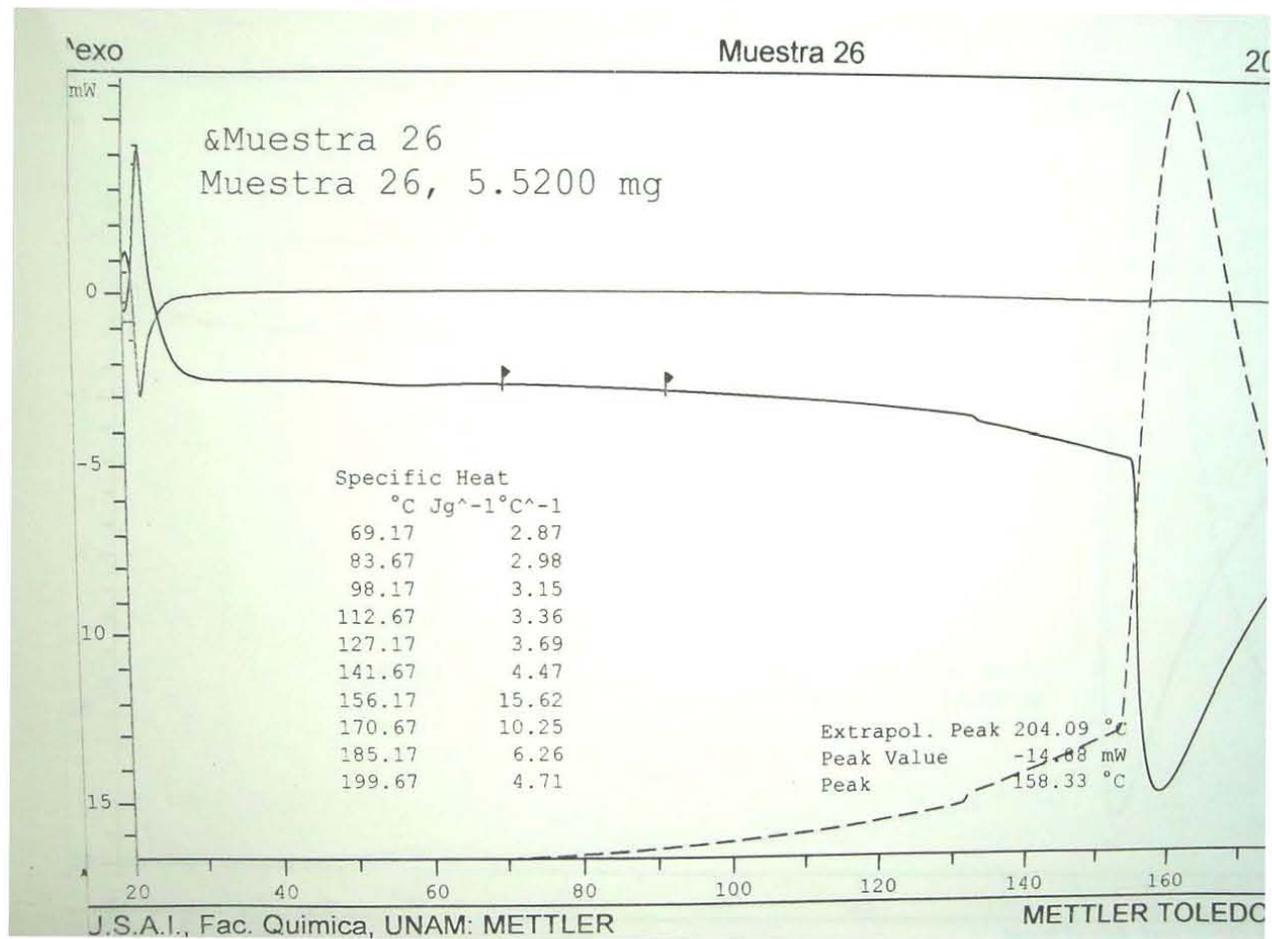


Figura B.6.11. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC2H3 NIXT). "Nixtamalizado"

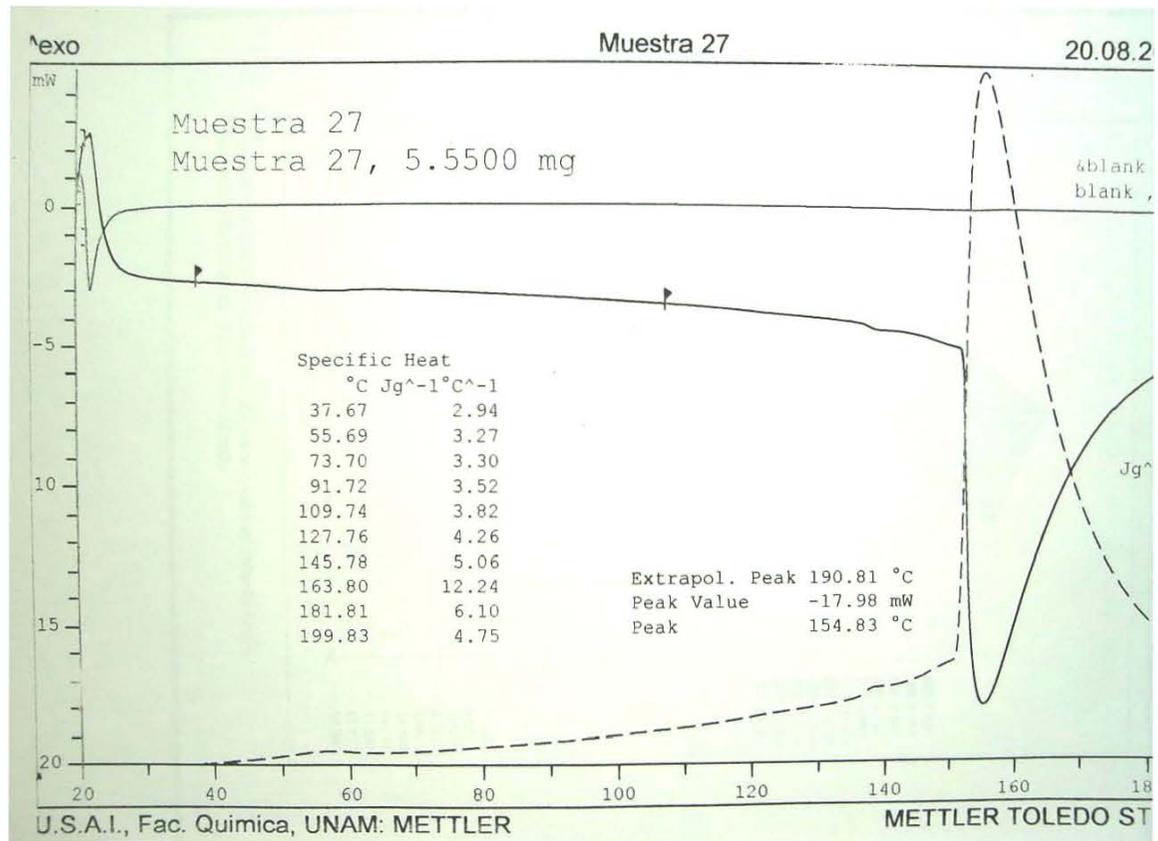


Figura B.6.12. Resultados de calorimetría diferencial de barrido para almidón comercial de maíz (ANC3H3 NIXT). "Nixtamalizado"

Tabla B.6.1. Variación del calor específico (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) a la temperatura de gelatinización del almidón ($75 °C$), comercial de maíz nixtamalizado

MUESTRA	No.	Peso (g)	Temp. media de cristalización ($°C$)	Calor de fusión ($J/g °C$)	Calor específico a $75 °C$ (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$)	
Control nixt. sin cal	1	0.0120	187.17	11.75	1.0395	SESGADA
Control nixt. sin cal	2	0.0103	157.50	9.56	2.1040	
Control nixt. sin cal	3	0.0113	144.83	9.74	3.5360	
PROMEDIO					2.8200	
Control crudo	4	0.0102	140.17	7.27	10.7430	SESGADA
Control crudo	5	0.0102	140.33	21.54	0.9478	SESGADA
Control crudo	6	0.0100	157.67	13.66	3.7803	
					3.7803	
ANCIHI".-EXTR.	7	0.0100	164.50	7.33	2.7398	
ANC2HI".-EXTR.	8	0.0120	149.50	5.92	3.2864	
ANC3HI".-EXTR.	9	0.0128	145.83	8.21	3.4176	
ANC1H2".-EXTR.	10	0.0109	143.50	8.48	3.0787	
ANC2H2".-EXTR.	11	0.0120	153.33	7.49	3.4098	
ANC3H2".-EXTR.	12	0.0110	153.67	7.38	3.1619	
ANC1H3".-EXTR.	13	0.0120	147.02	10.32	2.5480	
ANC2H3".-EXTR.	14	0.0103	158.33	10.96	3.1129	
ANC3H3".-EXTR.	15	0.0113	154.83	11.70	3.1072	

Tabla B.6.2. Análisis de la varianza para los datos del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) de almidón comercial de maíz nixtamalizado

HUMEDAD % B.S.		CONCENTRACIÓN		DE $Ca(OH)_2$		% B.S.	
		C1	C2	C3	TOTAL	PROMEDIO	
		0.1	0.5	0.9			
H1	20	2.740	3.286	3.418	9.444	3.148	
H2	30	3.418	3.079	3.410	9.906	3.302	
H3	40	3.162	2.548	3.113	8.823	2.941	
TOTAL		9.319	8.913	9.940	28.173		
PROMEDIO		2.971	3.313	3.313			
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones					
	F=	88.18775069	ScC=	0.178422307			
		Grados de libertad de la concentración		GI C=	2		
Suma de cuadrados de las humedades		Suma de cuadrados totales=		0.763095076			
ScH=	0.197007957	ScT=					
Grados de Libertad	GI H=	2	Grados de libertad total=	GI T=	8		
Suma de cuadrados del error		<u>Cuadrados medios</u>					
Sce=	0.387664811	CM concentraciones		0.089211154			
Grados de Libertad	GI e=	4	CM Humedad	0.098503979			
		CM error =		0.096916203			
		Concentration de $Ca(OH)_2$					
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>							
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa			
1.00%	0.920497822	<	6.94	No			
5.00%	0.920497822	<	18.00	No			
<u>RELACIONES DE VARIACION</u>							
HUMEDAD							
Nivel de significancia	F calculado	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa			
1.00%	1.016382976	<	6.94	No			
5.00%	1.016382976	<	18.00	No			
<u>Diferencia mínima significativa</u>							
		t= 4.064					
DMS=	0.1988						

Tabla B.6.3. Análisis de la regresión múltiple para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} °C^{-1}$) en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

	PROMEDIO	X	Y	X ²	Y ²	XY
	VAR 1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6
	C _p (J / g °C)	HUMEDA D % B.S.	CONCEN T. Ca(OH)2			
ANC1H 1*	7.255000000	20	0.1	400	0.01	2
ANC2H 1*	6.649000000	20	0.5	400	0.25	10
ANC3H 1*	8.420500000	20	0.9	400	0.81	18
ANC1H 2*	11.480000000	30	0.1	900	0.01	3
ANC2H 2*	8.440000000	30	0.5	900	0.25	15
ANC3H 2*	8.225000000	30	0.9	900	0.81	27
ANC1H 3*	10.625000000	40	0.1	1600	0.01	4
ANC2H 3*	13.395000000	40	0.5	1600	0.25	20
ANC3H 3*	11.640000000	40	0.9	1600	0.81	36
Regresión múltiple para la variable dependiente: VAR1						
R= .94886004 R ² = .90033538 (ajustado)						
F(5,3)=1.1929 p<.47174 Error estándar de estimación: .27960						
	BET	Error estándar de BETA	B	Error Estándar de B	t(3)	p-nivel
Intercepto	A		1.06110885	0.962917715	1.10197251	0.350947678
VAR2	3.51 1	1.92328132	0.11896719	0.065172136	1.82543023	0.165421799
VAR3	2.77 1	1.05100726	2.34764583	0.890358413	2.63674246	0.077873163
VAR4	- 3.75	1.90293143	0.00210875	0.001069768	1.97122154	0.143276274
VAR5	- 1.86	0.81001571	1.53859375	0.668605089	2.30119958	0.104872957
VAR6	- 0.29	0.74804769	0.00740937	0.018911008	0.39180223	0.72137779

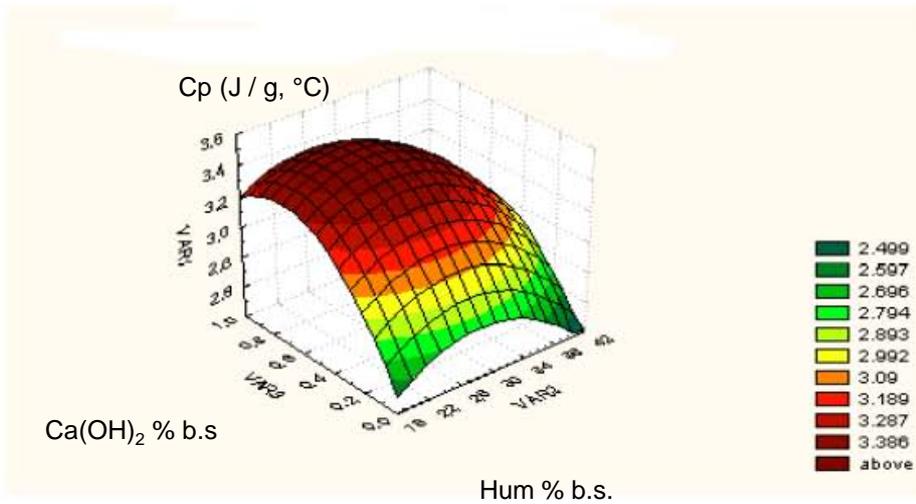


Figura B.6.13. Superficie de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

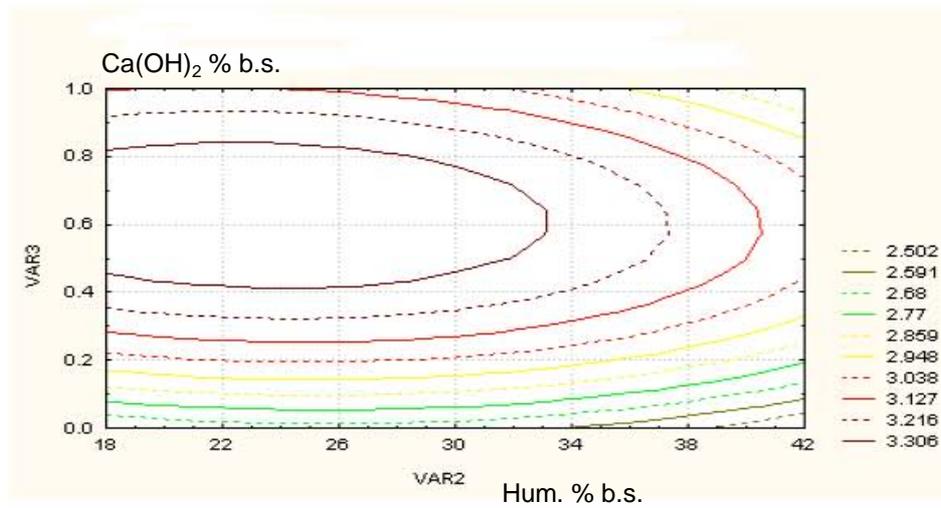


Figura B.6.14. Contorno de respuesta para la variación del calor específico a presión constante (C_p , $J g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) de almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

APÉNDICE B.7

ESTUDIOS DE LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES EN ALMIDÓN COMERCIAL DE MAÍZ “EXTRUDIDO TERMOALCALINAMENTE”

Tabla B.7.1. Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente (Primer análisis)

MUESTRA	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (DUPLICADO)	ABSOR-BANCIA (nm)	ABSOR-BANCIA (nm), DUPLICADO	AZÚCARES REDUCTORES (gML ⁻¹)	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹), DUPLICADO	AZÚCARES REDUCTORES (g mL ⁻¹), PROMEDIO
	A	B	A	B			A	B	
C1H1	9.54	9.22	0.1000	0.1004	0.0333	0.0310	0.0000540	0.0000465	0.0005030
C2H1	10.52	9.86	0.1012	0.1000	0.0410	0.0610	0.0000791	0.0001441	0.0001116
C3H1	9.54	10.16	0.1014	0.1016	0.0601	0.0520	0.0001412	0.0001148	0.0001280
C1H2	9.93	10.16	0.1016	0.1012	0.1450	0.1340	0.0004174	0.0003816	0.0003995
C2H2	9.54	9.99	0.1012	0.1045	0.1200	0.1600	0.0003361	0.0004662	0.0004011
C3H2	9.91	10.10	0.1004	0.1082	0.1920	0.1600	0.0005703	0.0004662	0.0005183
C1H3	10.12	10.01	0.1004	0.1013	0.2861	0.2864	0.0008765	0.0008774	0.0008770
C2H3	10.04	9.76	0.1002	0.1065	0.2844	0.2865	0.0008709	0.0008778	0.0008744
C3H3	10.22	10.24	0.1003	0.1000	0.3114	0.3062	0.0009588	0.0009419	0.0009503
Control ext. sin cal	10.05	10.19	0.1005	0.1006	0.0333	0.0310	0.0000540	0.0000465	0.0000503
Control nixt. sin cal	10.65	10.64	0.1023	0.1007	0.0361	0.0367	0.00006311	0.0000655	6.4092E-05
Almidón com. crudo	10.11	10.02	0.1006	0.1054	0.0333	0.0310	0.0000540	0.0000465	0.0000503
ENDOSPERMO "nixt"	10.25	10.1200	0.1078	0.1052	0.0348	0.0346	0.000059	0.000058	0.0001

Tabla B.7.2. Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

SEGUNDO ANÁLISIS													
MUESTRA	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	ABSOR-BANCIA (nm)	ABSOR-BANCIA (nm)	ABSOR-BANCIA (nm)	AZUCARES REDUC-TORES (g/mL)	AZUCARES REDUC-TORES (g/mL)	AZUCARES REDUC-TORES (g/mL)	AZUCARES REDUC-TORES (g/mL)
	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	PROMEDIO
C1H1	9.2600	9.2500	9.2800	0.1071	0.1027	0.1017	0.130	0.154	0.143	0.00037	0.00045	0.00041	0.00041
C2H1	8.8800	8.7500	8.7200	0.1028	0.1007	0.1042	0.146	0.162	0.162	0.00042	0.00047	0.00047	0.00046
C3H1	8.9500	8.8800	8.9500	0.1031	0.1014	0.1033	0.178	0.185	0.180	0.00053	0.00055	0.00053	0.00054
C1H2	11.6500	10.9000	11.1200	0.1007	0.1047	0.1031	0.182	0.211	0.200	0.00054	0.00063	0.00060	0.00059
C2H2	9.0200	8.9800	8.9500	0.1018	0.1004	0.1011	0.224	0.218	0.220	0.00068	0.00066	0.00066	0.00066
C3H2	10.5000	10.5300	10.4800	0.1052	0.1071	0.1022	0.263	0.224	0.250	0.00080	0.00068	0.00076	0.00075
C1H3	9.9300	9.7000	9.9200	0.1042	0.1034	0.1031	0.294	0.280	0.262	0.00090	0.00086	0.00080	0.00085
C2H3	8.9200	88.8700	8.8700	0.4053	0.1022	0.1045	0.301	0.322	0.310	0.00093	0.00099	0.00096	0.00096
C3H3	10.0900	11.0000	11.1300	0.1017	0.1046	0.1048	0.328	0.361	0.341	0.00101	0.00112	0.00106	0.00106
Control ext. sin cal	9.7400	9.6800	9.6800	0.1014	0.1045	0.1041	0.174	0.172	0.181	0.00051	0.00051	0.00054	0.00052
Control nixt. sin cal	10.1450	10.0870	10.0740	0.1052	0.1098	0.1078	0.185	0.172	0.173	0.00055	0.00051	0.00051	0.00052
Almidón com. crudo	11.9000	11.8100	11.2000	0.1017	0.1019	0.1062	0.090	0.090	0.092	0.00024	0.00024	0.00025	0.00024
ENDOSPERMO "nixt"	10.5000	10.4780	9.8970	0.1088	0.1084	0.1021	0.123	0.104	0.104	0.00035	0.00028	0.00028	0.00030

Tabla B.7.3. Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

	AZÚCARES		X	Y	X ²	Y ²	XY
	REDUCTORES	INCERTIDUMBRE	HUM	CONCENT			
	PROMEDIO	±	%	Ca(OH) ₂			
			B.S.				
C1H1*	0.000444467	4.68855E-05	20	0.1	400	0.01	2
C2H1*	0.000341142	0.000172163	20	0.5	400	0.25	10
C3H1*	0.000380640	0.000203579	20	0.9	400	0.81	18
C1H2*	0.000518551	9.49747E-05	30	0.1	900	0.01	3
C2H2*	0.000558543	0.000131621	30	0.5	900	0.25	15
C3H2*	0.000650425	8.446E-05	30	0.9	900	0.81	27
C1H3*	0.000843459	3.84238E-05	40	0.1	1600	0.01	4
C2H3*							
	0.000918596	2.4224E-05	40	0.5	1600	0.25	20
C3H3*							
	0.001023541	5.30157E-05	40	0.9	1600	0.81	36
Control ext. sin cal							
	0.000361960	0.000233771					
Control nixt. sin cal							
	0.000145599	9.85916E-05					
Almidón crudo							
	0.000181729	0.000231409					
ENDOSPERMO "nixt"	0.000000000	0					

Tabla B.7.4. Análisis de la varianza para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

HUMEDADES % B.S		CONCENTRACIONES			TOTAL	MEDIAS
		Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3		
		0.1	0.5	0.9		
H1	20	0.000444	0.000341	0.000381	0.00117	0.00039
H2	30	0.000519	0.000559	0.000650	0.00173	0.00058
H3	40	0.000843	0.000919	0.001024	0.00279	0.00093
TOTAL		0.002	0.002	0.002	0.006	
MEDIAS		0.001	0.001	0.001		
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones				
	F=	3.58391E-06	ScC=			1.3062E-08
Suma de cuadrados de la Humedades		Grados de libertad			GI C=	2
	ScH=	4.50759E-07	Suma de Cuadrados Total =			5E-07
Grados de libertad		GI H=	ScT=			
		2	Grados de libertad			GI T= 8
Suma de cuadrados del error		CUADRADOS MEDIOS				
	Sce=	1.78819E-08	CM Concentraciones=			6.531E-09
Grados de libertad		GI e=	CM Humedades=			2.2538E-07
		4	CM Error =			4.4705E-09
RELACIONES DE VARIACIÓN		Concentraciones				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	1.460909899	>	6.94	Si		
5.00%	1.460909899	>	18.00	Si		
RELACIONES DE VARIACIÓN		Humedades				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	50.4151293	>	6.94	Si		
5.00%	50.4151293	>	18.00	Si		
DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA		t= 4.064 PARA 4 GI en el error				
DMS=	0.000042698	Todas las muestra superan este valor				
		Es decir presentan diferencia mínima significativa				

Tabla B.7.5. Análisis de la regresión múltiple para los datos de la Tabla B.7.4

Model fitting results for: 0.0003 0.0004 0.00043 0.0006 0.00066 0.00078 0.001 0.

Variable independiente	coeficiente	error estandar	t-valor	nivel de significancia
CONSTANTE	0.000078	0.000142	0.5498	0.6208
20 20 20 30 30 30 40 40 40	1.020833E-6	9.587874E-6	0.1065	0.9219
0.1 0.5 0.9 0.1 0.5 0.9 0.1 0.5	0.000092	0.000131	0.6998	0.5344
400 400 400 900 900 900 1600 160	5.833333E-7	1.573802E-7	3.7065	0.0341
0.01 0.25 0.81 0.01 0.25 0.81 0.	0.00001	0.000098	-0.1059	0.9223
2 10 18 3 15 27 4 20 36	4.375E-6	2.782115E-6	1.5725	0.2139

R-SQ. (ADJ.) = 0.9953 SE= 0.000022 MAE= 0.000010 DurbWat= 3.251
previo: 0.0000 0.000000 0.000000 0.000

9 observaciones computadas, or 0

R² = 0.998226 Error estandar estimado. = 2.22569E-5

R² (Ajustada para grados 8 de libertad = 0.995269 Durbin-Watson Estadístico = 3.2514
95 % de intervalos de confianza para coeficientes estimados

	Error estandar estimado	Limite inferior	Limite inferior
CONSTANT	0.00008	0.00014	-0.00037 0.00053
20 20 20 30 30 3	0.00000	0.00001	-0.00003 0.00003
0.1 0.5 0.9 0.1	0.00009	0.00013	-0.00033 0.00051
400 400 400 900	0.00000	0.00000	0.00000 0.00000
0.01 0.25 0.81 0	0.00001	0.00010	-0.00032 0.00030
2 10 18 3 15 27	0.00000	0.00000	0.00000 0.00001

Residual

Numero de observaciones = 9 (0 valores excluidos)
Promedio residual= 8.43268E-20
Varianza residual = 4.9537E-10
Error estandar residual = 2.22569E-5

Coefficiente de sesgo = 0.149826 Valor estandarizado= 0.183499
Coeficiente de Kurtosis= -0.364953 Valor estandarizado = -0.223487
Durbin-Watson Estadístico = 3.2514

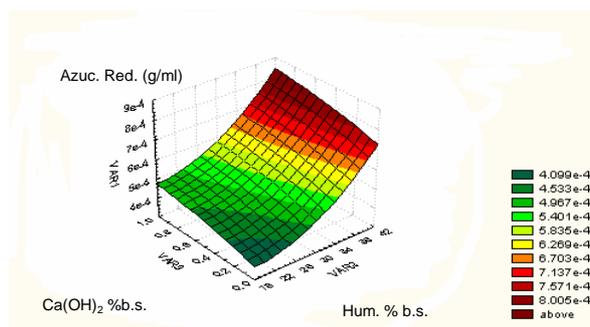


Figura B.7.1. Superficie de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

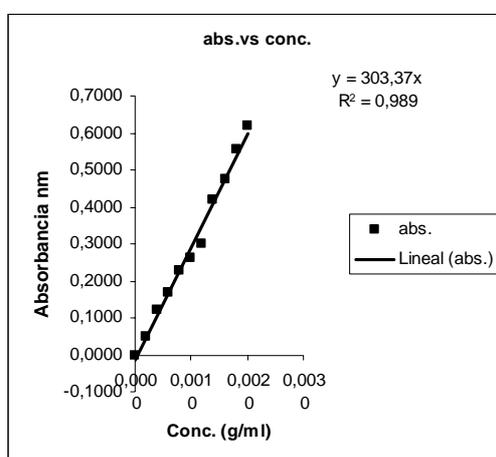


Figura B.7.2. Curva patrón para determinar azúcares reductores

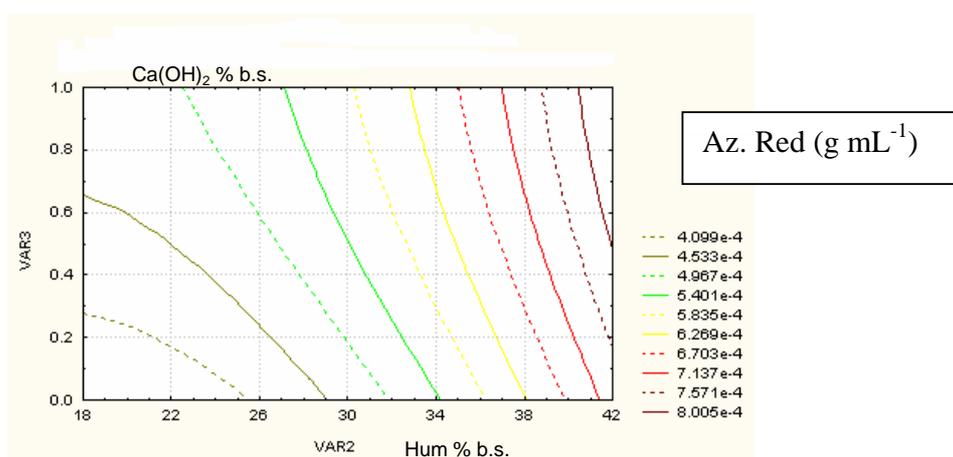


Figura B.7.3. Contorno de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores de almidón comercial de maíz extrudido termoalcalinamente

APÉNDICE B.8

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES PARA LOS EXPERIMENTOS DE NIXTAMALIZACIÓN (TRATAMIENTO TÉRMICOALCALINO DE ALMIDÓN DE GRANOS DE MAÍZ Y DE ALMIDÓN COMERCIAL)

Tabla B.8.1. Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz nixtamalizado

PRIMER ANÁLISIS													
MUESTRA	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	ABSOR- BANCIA (nm)	ABSOR- BANCIA (nm)	ABSOR- BANCIA (nm)	AZÚCARES REDUC- TORES (g mL ⁻¹)			
	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	PROMEDIO
ANC1H1*	9.5800	9.6600	9.8400	0.1046	0.1019	0.1081	0.130	0.1410	0.1390	0.00037	0.00052	0.00051	0.00047
ANC2H1*	10.8000	10.6100	10.8800	0.1031	0.1036	0.1054	0.161	0.1510	0.1500	0.00047	0.00055	0.00055	0.00053
ANC3H1*	8.8400	88.8600	8.7700	0.1064	0.1020	0.1036	0.161	0.1700	0.1620	0.00047	0.00062	0.00060	0.00056
ANC1H2*	8.8500	8.8900	8.6400	0.1021	0.1084	0.1021	0.170	0.1700	0.1680	0.00050	0.00062	0.00062	0.00058
ANC2H2*	8.7500	8.8000	8.3800	0.1011	0.1016	0.1035	0.180	0.1810	0.1900	0.00053	0.00066	0.00070	0.00063
ANC3H2*	7.9800	8.1600	7.9900	0.1012	0.1064	0.1025	0.190	0.1910	0.1720	0.00056	0.00070	0.00063	0.00063
ANC1H3*	8.0600	8.2400	8.3600	0.1026	0.1047	0.1030	0.230	0.2140	0.2300	0.00069	0.00079	0.00084	0.00078
ANC2H3*	8.2800	8.2800	8.4100	0.1028	0.1090	0.1001	0.240	0.2200	0.2400	0.00073	0.00081	0.00088	0.00081
ANC3H3*	9.5000	9.5400	9.5200	0.1001	0.1074	0.1022	0.262	0.2370	0.2480	0.00080	0.00087	0.00091	0.00086
Control ext. sin cal	9.8600	9.9940	9.7700	0.1006	0.1015	0.1003	0.167	0.1730	0.1640	0.00049	0.00064	0.00060	0.00058
Control nixt. sin cal	10.1450	10.0870	10.0740	0.1052	0.1098	0.1078	0.185	0.172	0.173	0.00055	0.00051	0.00051	0.00052
Almidón crudo	11.9000	11.8100	11.2000	0.1017	0.1019	0.1018	0.106	0.0900	0.0920	0.00029	0.00033	0.00034	0.00032
ENDOSPERMO "nixt"	10.1450	10.0870	10.0740	0.1052	0.1098	0.1078	0.185	0.172	0.173	0.00055	0.00051	0.00051	0.00052

Tabla B.8.2. Variación del contenido de azúcares reductores en almidón de almidón comercial de maíz nixtamalizado

SEGUNDO ANÁLISIS													
MUESTRA	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	% HUMEDAD B.S.	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	ABSOR-BANCIA (nm)	ABSOR-BANCIA (nm)	ABSOR-BANCIA (nm)	AZÚCARES REDUC-TORES (g mL ⁻¹)			
	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	PROMEDIO
ANC1H1"	9.580	9.660	9.840	0.1046	0.1017	0.1026	0.156	0.154	0.130	0.00045	0.00045	0.00037	0.00042
ANC2H1"	10.800	10.610	10.880	0.1031	0.1036	0.1033	0.162	0.161	0.161	0.00047	0.00047	0.00047	0.00047
ANC3H1"	8.840	8.860	8.770	0.1064	0.1020	0.1029	0.170	0.168	0.172	0.00050	0.00049	0.00051	0.00050
ANC1H2"	8.850	8.890	8.640	0.1011	0.1084	0.1021	0.188	0.183	0.160	0.00056	0.00054	0.00047	0.00052
ANC2H2"	8.750	8.800	8.380	0.1010	0.1016	0.1034	0.191	0.187	0.180	0.00057	0.00055	0.00053	0.00055
ANC3H2"	7.980	8.160	7.990	0.1026	0.1064	0.1025	0.208	0.196	0.195	0.00062	0.00058	0.00058	0.00060
ANC1H3"	8.060	8.240	8.360	0.1038	0.1049	0.1061	0.261	0.224	0.217	0.00080	0.00068	0.00065	0.00071
ANC2H3"	8.280	8.280	8.410	0.1088	0.1090	0.1022	0.221	0.250	0.250	0.00067	0.00076	0.00076	0.00073
ANC3H3"	9.500	9.540	9.520	0.1001	0.1079	0.1003	0.246	0.271	0.261	0.00075	0.00083	0.00080	0.00079
Control ext. sin cal	9.860	9.940	9.770	0.1006	0.1015	0.1018	0.267	0.102	0.164	0.00082	0.00028	0.00048	0.00052
Control nixt. sin cal	10.1450	10.0870	10.0740	0.1052	0.1098	0.1078	0.185	0.172	0.173	0.00055	0.00051	0.00051	0.00052
Almidón crudo	11.900	11.850	11.800	0.1017	0.1019	0.1018	0.167	0.173	0.092	0.00049	0.00051	0.00025	0.00041
ENDOSPERMO "nixt"	10.1450	10.0870	10.0740	0.1052	0.1098	0.1078	0.185	0.172	0.173	0.00055	0.00051	0.00051	0.00052

Tabla B.8.3. Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

	AZÚCARES		X	Y	X ²	Y ²	XY
	REDUCTORES PROMEDIO	INCERTIDUMBRE ±	Concent. Ca(OH) ₂	Hum. % B.S.			
ANC1H1*	0.000444624	0.000021280	20	0.1	400	0.01	2
ANC2H1*	0.000498199	0.000027080	20	0.5	400	0.25	10
ANC3H1*	0.000531295	0.000031946	20	0.9	400	0.81	18
ANC1H2*	0.000551255	0.000029106	30	0.1	900	0.01	3
ANC2H2*	0.000591548	0.000040082	30	0.5	900	0.25	15
ANC3H2*	0.000614337	0.000018354	30	0.9	900	0.81	27
ANC1H3*	0.000741566	0.000033748	40	0.1	1600	0.01	4
ANC2H3*	0.000767106	0.000038659	40	0.5	1600	0.25	20
ANC3H3*	0.000825302	0.000034965	40	0.9	1600	0.81	36
Control ext. sin cal	0.000549992	0.000025887					
Control nixt. sin cal	0.000521281	0.000000000					
Almidón crudo	0.000367355	-0.000047303					
ENDOSPERMO "nixt"	0.000521281	0.000000000					

Tabla B.8.4. Análisis de la varianza para los datos del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz "nixtamalizado"

HUMEDADES		CONCENTRACIONES				
		ANCI	Ca(OH) ₂ ANC2	% B.S. ANC3	TOTAL	MEDIAS
		0.1	0.5	0.9		
H1	20	0.000445	0.000498	0.000531	0.00147	0.00049
H2	30	0.000551	0.000592	0.000614	0.00176	0.00059
H3	40	0.000742	0.000767	0.000825	0.00233	0.00078
	TOTAL	0.002	0.002	0.002	0.006	
	MEDIAS	0.001	0.001	0.001		
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones				
	F=	3.44131E-06	ScC=	9.09E-09		
			Grados de libertad		Gl C=	2
Suma de cuadrados de la Humedades		Suma de Cuadrados Total =			1.376E-	
	ScH=	1.28021E-07	ScT=		07	
Grados de libertad	Gl H=	2	Grados de Libertad		Gl T=	8
Suma de cuadrados del error		<u>CUADRADOS MEDIOS</u>				
	Sce=	4.62388E-10	CM Concentraciones=	4.54E-09		
Grados de libertad	Gl e=	4	CM Humedades=	6.4E-08		
			CM Error =	1.16E-10		
<u>RELACIONES DE VARIACIÓN</u>						
		Concentraciones				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	39.30777687	>	6.94	Si		
5.00%	39.30777687	>	18.00	Si		
<u>RELACIONES DE VARIACIÓN</u>						
		Humedades				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	553.7392519	>	6.94	Si		
5.00%	553.7392519	>	18.00	Si		
<u>DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA</u>						
		t= 4.064 PARA 4 Gl en el error				
DMS=	0.0000	Todas las muestra superan este valor				
Es decir presentan diferencia mínima significativa						

**Tabla B.8.5. Análisis de la regresión múltiple para los datos de la Tabla B.8.3.
Promedio de la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial
de maíz "nixtamalizado"**

Resultados del modelo					0.0005	0.00057	0.0006	0.00064	0.00067	0.0007	0.00085	
Independent variable					Coeficiente		Error estandar					
Valor t										Nivel de significancia		
CONSTANT					0.000561	0.000106	5.2908	0.0132				
20 20 20 30 30 30 40 40 40					-0.000013 7	0.179696E-6	-1.8165	0.1669				
0.1 0.5 0.9 0.1 0.5 0.9 0.1 0.5					0.000138	0.000098	1.4018	0.2555				
400 400 400 900 900 900 1600 160					5E-7	1.178511E-7	4.2426	0.0240				
0.01 0.25 0.81 0.01 0.25 0.81 0.					-1.22664E-21	0.000074	0.0000	1.0000				
2 10 18 3 15 27 4 20 36					-1.25E-6	2.083333E-6	-0.6000	0.5908				
R-SQ. (ADJ.) = 0.9873					SE=	0.000017	MAE=	0.000008	DurbWat= 2.607			
Previously: 0.9953					0.000022	0.000010	3.251					
9 observations fitted, forecast(s) computed for 0 missing val. of dep. var.												
R-squared = 0.995254					Std. error of est. = 1.66667E-5							
R-squared (Adj. for d.f.) = 0.987345					Durbin-Watson statistic = 2.60667							
95 percent confidence intervals for coefficient estimates												
					Estimate	Standard error	Lower Limit					
Upper Limit												
CONSTANT					0.00056	0.00011	0.00022	0.00090				
20 20 20 30 30 3					-0.00001	0.00001	-0.00004	0.00001				
0.1 0.5 0.9 0.1					0.00014	0.00010	-0.00017	0.00045				
400 400 400 900					0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
0.01 0.25 0.81 0					0.00000	0.00007	-0.00023	0.00023				
2 10 18 3 15 27					0.00000	0.00000	-0.00001	0.00001				
Residual Summary												
Number of observations = 9 (0 missing values excluded)												
Residual PROMEDIO = 1.32514E-19												
Residual variance = 2.77778E-10												
Residual standard error = 1.66667E-5												
Coeff. of skewness = 6.01448E-13 standardized value = 7.3662E-13												
Coeff. of kurtosis = -1.60229 standardized value = -0.981196												
Durbin-Watson statistic = 2.60667												

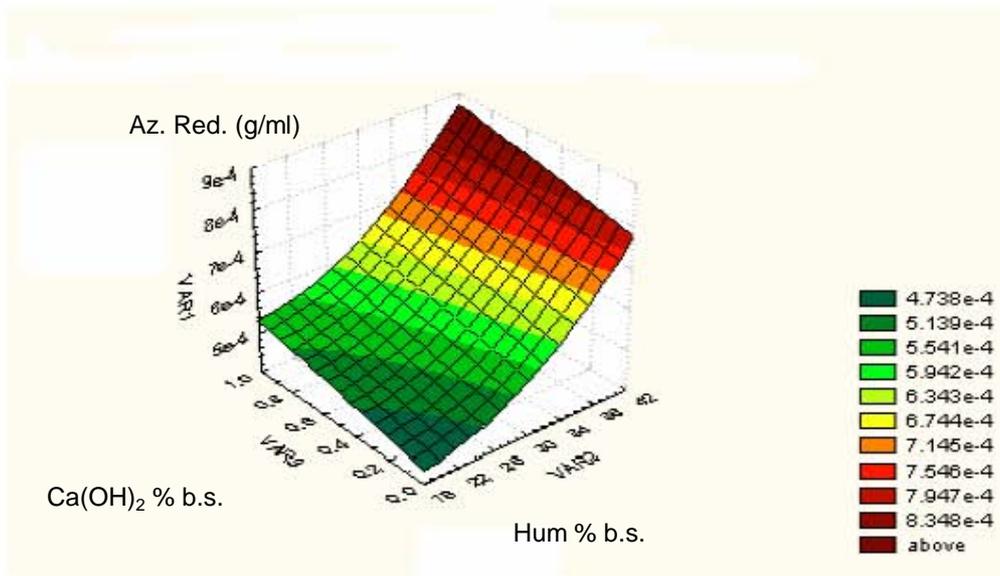


Figura B.8.1. Superficie de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz “nixtamalizado”

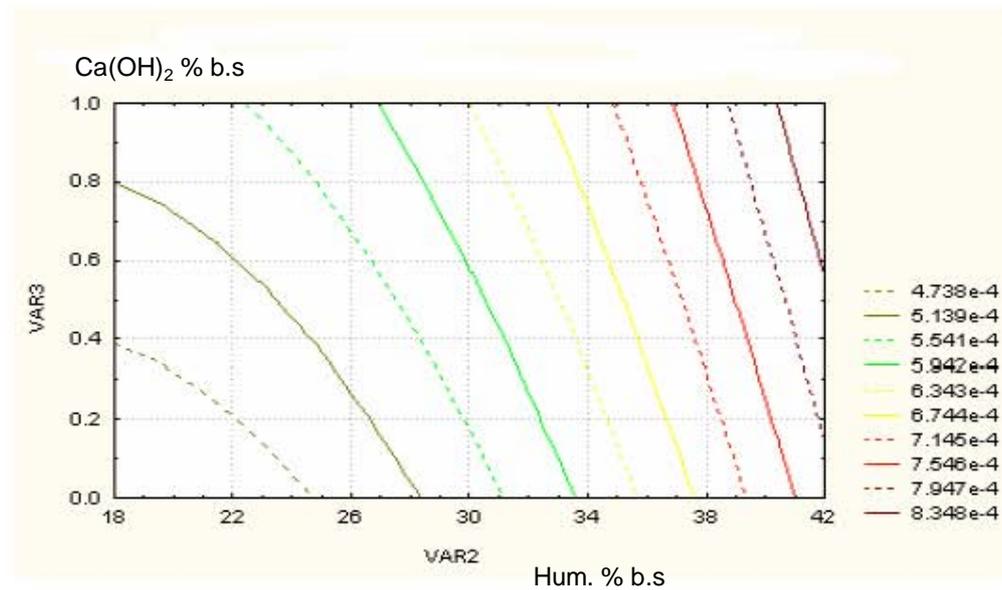


Figura B.8.2. Contorno de respuesta para la variación del contenido de azúcares reductores en almidón comercial de maíz “nixtamalizado”

APÉNDICE C

METODOLOGÍAS PARA LA SELECCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS Y ANÁLISIS DE PRODUCTOS TERMINADOS

C.1. Determinación del grosor del pericarpio

Esta técnica requiere del siguiente material:

- 1.- Vernier
- 2.- Bisturí

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Se seleccionan semillas sanas que no estén contaminadas por hongos, insectos o tengan roturas.
- 2.- Se debe remojar de 20 a 30 minutos para aflojar el pericarpio sin que penetre el agua al endospermo.
- 3.- Se toman 10 pericarpios y se toma el promedio del grosor evaluado por desviación estándar.

C.2. Peso de 1000 granos

Esta técnica requiere de

- 1.- Balanza:

Los pasos a seguir de esta técnica son:

- 1.- Se toman 20 muestras aleatorias en diferentes zonas de un saco de 60.0 kg.
- 2.- Se toman 100 gramos de cada muestra descartando previamente aquellos infectados por hongos, o insectos que estén rotos o cortos.
- 3.- Se pesan las muestras y se multiplican por diez. El resultado se justifica por desviación estándar.

C.3. Peso hectolítrico

Esta técnica requiere de

- 1.- Balanza hectolítrica:

Los pasos a seguir en esta técnica son:

- 1.- Se toman 20.0 muestra de 1.5 kg aleatorias de diferentes zonas de un saco de 60.0 kg de maíz.
- 2.- Se introducen al cilindro de una balanza hectolítrica agitándolo para reducir al mínimo el desperdicio de espacio.
- 3.- Se toman las lecturas y se justifica por desviación estándar.

C.4. Densidad aparente

Esta técnica requiere de

- 1.-Balanza
- 2.-Probeta de 500.0 mL
- 3.-Tolueno.

Los pasos a seguir en esta técnica son:

- 1.- Se pesan 250.0 mL de grano seco entero en una probeta de 500.0 mL.
- 2.- Se llena el espacio vacío con un líquido inerte por ejemplo: Tolueno; que no sea absorbido por el maíz.
- 3.- La fase líquida se decanta y se mide el volumen en una probeta.
- 4.- La densidad aparente del grano se calcula por la fórmula:

$$D = \frac{\text{Peso.del.grano}}{\text{Volumen.del.grano} - \text{Volumen.del.líquido}}$$

El resultado se justifica por desviación estándar.

C.5. Determinación del porcentaje de impurezas

Esta técnica requiere de

- 1.-Balanza:

Los pasos a seguir de esta técnica son:

- 1.-Se toman 20 muestras aleatorias en diferentes zonas de un saco de 60.0 kg.
- 2.- Se toman 100 gramos de cada muestra y se separan aquellos infectados por hongos o insectos que estén rotos o cortos (menores al 50.0% del diámetro promedio). Se retira además: excremento y pelo de roedores, insectos, larvas, ramas y pajas así como variedades de otros maíces o granos de otras semillas diferentes.
- 3.-Se pesan las muestras y se determina el porcentaje por diferencia.
- 4.- El porcentaje de impurezas se determina por la fórmula:

$$\% \text{ de impurzas} = \frac{\text{Peso.de.las.impurezas}}{\text{Peso.de.la.muestra}} \times 100$$

C.6. Humedad absoluta (AOAC, 14-02-1984)

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 en una “termo balanza” y mantener una temperatura constante; por lo que se deberán ensayar los tiempos en los cuales las muestras ya no presentan pérdida de humedad y a la vez no se queman o sufren desnaturalización.

En una ciudad como México D.F., donde en temporada de lluvias se registran humedades relativas hasta de un 100.00% por las mañanas y 40.0% en las tardes, debe de cuidarse que las muestras se analicen a las mismas temperaturas tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo, para lo cual habrá que auxiliarse de la carta de humedad (o un higrómetro).

El porcentaje de humedad se determina mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}}$$

C.7. Determinación de cenizas (AOAC, 14.006-1984)

Como una aproximación de la cantidad de minerale, las cenizas se determinarán por medio del peso constante, cuyos pasos a seguir son:

1. Poner 5 crisoles por cada muestra en la estufa a 120.0°C durante 24 horas.
2. Una vez enfriados en un desecador poner en ellos una muestra de un gramo de harina en base húmeda considerando las condiciones de humedad relativa.
3. Desecar en estufa durante 4.0 horas y determinar la humedad por diferencia de pesos y compararla con las obtenidas por el método de termo balanza.
4. Calcinar en una mufla a 550.0°C (no a mayor temperatura para evitar la evaporación de los cloruros), por dos horas y determinar el porcentaje de cenizas mediante la fórmula

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol con muestra húmeda}) - (\text{Peso del crisol con cenizas secas})}{(\text{Peso del crisol} + \text{Peso de la muestra})}$$

C.8. Determinación del extracto etéreo (AOAC, 7.062-1984)

Se requiere del aparato de extracción etérea “Soxhlet” o bien “Goldfish”. El mismo funciona con base en la extracción de las grasas de muestras alimenticias por medio del reflujo de un solvente orgánico a través de la muestra contenida en un cartucho poroso. Los pasos a seguir son lo siguientes:

1. Mantener a peso constante en estufa a 110.0°C los vasos “Goldfish” conteniendo además algunas piedras de ebullición.
2. Pesar una cantidad de muestra en base húmeda, teniendo en cuenta las condiciones de humedad relativa.
3. Empacar la muestra en un cartucho y taponarlo con algodón desengrasado.

4. Añadir a los vasos 50.0 mL de éter etílico o éter de petróleo.
5. Colocar los vasos en el aparato de reflujo por 45.0 a 240 minutos hasta que dé prueba negativa el papel filtro (poniendo una gota del residuo y que no deje restos de aceite).
6. Mantener en un desecador y determinar por diferencia de peso el extracto etéreo.

La fórmula para calcular la porción grasa es:

$$\% \text{ de extracto} = \frac{(\text{peso del crisol con extracto} - \text{peso del crisol sin extracto})}{(\text{peso de la muestra sin extracto})} \times 100$$

C.9. Determinación de proteína o técnica de nitrógeno Kjeldahl (AOAC (8) N° 960.52 o mét. 12.1.07 -16a Ed. (1984), Vásquez-Reyes y col., 1996)

Esta técnica requerirá de los siguientes reactivos:

- 1.- Acido sulfúrico al 98.0% de pureza
- 2.- Óxido de mercurio libre de nitrógeno
- 3.- Acido sulfanílico
- 4.- Sulfuro de potasio (40.0 g disueltos en 1 L de agua).
- 5.- 400.0g de hidróxido de sodio disuelto en 1 L de agua
- 6.- Granalla de zinc
- 7.- Rojo de metilo
- 8.- Hidróxido de sodio 0.1N
- 9.- Solución estándar de ácido clorhídrico o ácido bórico 0.1N

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

Los pasos de esta técnica son los siguientes:

1. Pesar de 1.0 a 2.0 g de muestra libre de grasa y añadir 0.7g de HgO o 0.65g de Hg además de 15g de K₂SO₄ y 25 g 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 200.0 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 de 3 a 4 gotas de indicador y se ponen las muestras a destilar para obtener 20 mL de destilado para posterior titulación.
- 6.- Titular con ácido bórico 0.1N hasta desaparición del color.

El porcentaje de nitrógeno se calcula como:

$$\% N = \frac{(\text{mL de ácido estd.} \times \text{Norm. ac.}) - (\text{mL de NaOH estd.} \times \text{Norm. NaOH})}{\text{g de muestra}} \times 1.4007$$

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

% de proteína = % de nitrógeno x 5.7

C.10. Determinación del contenido de almidón, técnica de gravimetría (Gómez y col., 1992)

Esta técnica requerirá de los siguientes reactivos:

Ácido nítrico 1.0 N
Hidróxido de sodio 1.0 N.
Alcohol etílico
Muestra sin extracto etéreo “Post-Goldfish”

Requiere del siguiente material

1. Molino
2. Balanza analítica (diezmilésimas de gramo)
3. Bisturí
4. Microscopio de disección

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Determinar previamente el peso de 100 granos cuidando que el maíz estén libres de impurezas. Obtener la media y la desviación estándar eliminando aquellos que se salgan de la misma.
2. Partir los granos por la mitad usando un bisturí.
3. Realizar la extracción etérea por el método de “Goldfish”.
4. A las mitades de granos sin aceite se les retira el ENDOSPERMO y el pericarpio con un bisturí apoyándose en un microscopio de disección. Se deja solamente el endospermo almidonoso y se pesa.

$$\frac{\text{Peso.del.almidón}}{\text{Peso.del.grano}} \times 100 = \% \text{ de.almidón}$$

C.11. Determinación de amilosa: Técnica de yodometría (Ott, 1992)

Esta técnica requerirá de los siguientes reactivos:

Ácido sulfúrico 1.0 N
Hidróxido de sodio 1.0 N
Solución yodo- yoduro 0.1N
Alcohol etílico
Muestra sin extracto etéreo "Post- Goldfish"
Estándar de amilosa grado analítico

Se requiere del siguiente material

1. Molino
2. Espectrofotómetro con celdas de cuarzo
3. Matraces aforados de 50.0 mL
4. Tubos de ensaye de 10.0 mL

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Las muestras desengrasadas son molidas finamente.
2. Se pesan 0.1 g de muestra y se colocan en un matraz aforado de 50.0 mL.
3. Se añaden 25.0 mL de agua destilada.
4. Se añade 1.0 mL de solución yodo-yoduro.
5. Se aforan a 50.0 mL con agua destilada.
6. Se toma una alícuota y se lee en el espectrofotómetro.

Se elabore una curva patrón de la siguiente forma:

1. Se pesan 0.1 g de amilosa grado analítico
2. Se añaden 25.0 mL de agua destilada
3. Se añaden 1.0 mL de solución yodo-yoduro
4. Se aforan a 50.0 mL con agua destilada
5. Se toma una alícuota de 20.0 mL
6. De esta alícuota se distribuyen en 5 matraces aforados de 10.0 mL 1.0 , 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 mL, respectivamente, aforando a 10.0 mL con agua destilada. Se calcula la concentración de amilosa en cada matraz y se correlaciona con la absorbancia que dé en el espectrofotómetro. Se incluyen dos testigos de agua destilada
8. Se leen las muestras a 540 nanómetros de longitud de onda
9. Se determina la línea de absorbancia versus concentración

C.12. Metodología para análisis viscoamilográfico en un viscoamilógrafo marca Brabender (RFA) tipo PT-100 ICC “Standard No. 126/ ISO 7973 AACC No. 22-10 (Muller, 1979)

Se pesan muestras de 50.0 g de harinas a las que se les añade la cantidad necesaria de hidróxido de calcio para alcanzar los porcentajes: 0.0, 0.1, 0.5, 0.8 y 1.0% en base seca y se colocan en el cilindro del aparato; se añade a cada muestra 450.0 mL de agua destilada a $25.0 \pm 5.0^\circ\text{C}$ y se colocan en el equipo al cual se ha prefijado una velocidad de calentamiento de 1.5 a 2.5°C . El aparato está calibrado para ir realizando la curva de aumento de la viscosidad aparente o curva de gelatinización conforme va mezclando la muestra y calentando y al llegar a la viscosidad máxima de gelatinización comienza a enfriar a la misma velocidad en que fue prefijado para el calentamiento rindiendo la curva descendente o de retrogradación. El aparato grafica en un papel con coordenadas especiales llamadas coordenadas “Brabender” donde se registran los tiempos de operación. La temperatura se registra en el termómetro del aparato.

C.13. Metodología para la “nixtamalización” de granos enteros (Illescas, 1943)

Esta técnica requerirá de los siguientes reactivos:

1. Hidróxido de calcio al 98.0% de pureza
2. Agua destilada
3. Granos sanos y limpios de maíz

Requiere del siguiente material

1. Baño de temperatura controlada

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Por cada kg de maíz limpio y libre de impurezas se deberán pesar 10.0 gramos de hidróxido de calcio al 98.0% de pureza.
- 2.- Se miden 1,100.0 mL de agua por cada kg de maíz y se colocan en el baño de temperatura controlada para su cocimiento a temperatura de ebullición durante 40.0 minutos.
- 3.- Se deja enfriar a temperatura ambiente y se deja en reposo durante doce horas. Al final se elimina el exceso de agua residual y se elimina la cascarilla con “agua de la llave”, lavando perfectamente.
- 4.- Los granos “nixtamalizados” pueden congelarse de inmediato, deshidratarse a $10.0 \pm 1.0\%$ b.s. en una estufa a 60°C o bien molerse para obtener masas que pueden “tortillarse” de inmediato adicionándole a la masa molida la cantidad de agua que requiera para tener la maleabilidad necesaria.

C.14. Metodología para la nixtamalización de almidón de maíz (Adaptación de la metodología de Illescas, 1943)

Esta técnica requerirá de los siguientes reactivos:

1. Hidróxido de calcio al 98.0% de pureza
2. Agua
3. Almidón de maíz

Requiere del siguiente material:

1. Baño de temperatura controlada
2. Tubos de ensayo de 25.0 mL
3. Cartuchos de 5mL de papel filtro “Whatman” 40
4. Hidróxido de calcio grado analítico
5. Agua destilada

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Por cada 10.0g de almidón comercial de maíz deberá pesarse la cantidad requerida en gramos de hidróxido de calcio al 98.0% de pureza preestablecida en el diseño experimental.
- 2.- Se miden 11.0 mL de agua por cada 10.0g de almidón de maíz a los que se les añade la cal y se prepara una “lechada” en cada tubo de ensayo.
- 3.- El almidón de maíz se empaca en los cartuchos de papel filtro “Whatman” y se colocan dentro de los tubos con “lechada” los cuales se colocan en “Baño María” en el baño de cocimiento durante 40.0 minutos.
- 3.- Se deja enfriar a temperatura ambiente y se deja en reposo durante doce horas.
- 4.- Una vez fríos deben congelarse o deshidratarse a $10.0 \pm 1.0\%$ de humedad en base seca de inmediato o someterse a proceso de análisis de inmediato para evitar su descomposición.

C.15. Metodología para la extrusión de granos de maíz enteros (Sánchez-Tovar, 1993)

Tras una experimentación de ensayo y error, se instrumentó esta metodología en el Laboratorio de Desarrollo de Tecnologías más Limpias del PIQAYQA de la Facultad de Química de la UNAM. El método consiste en los siguientes pasos:

1. Una vez seleccionado el maíz y libre de impurezas debe molerse en un molino de martillos o de piedras hasta malla número 40.
2. Por cada muestra de harina a extrudirse en el extrusor a bajo costo tipo “CIATECH”, se prepara una “lechada” de hidróxido de calcio en agua de acuerdo con lo establecido en el diseño experimental.
3. Se mezcla durante 10 minutos en una mezcladora de aspas tipo “Komax” o bien en una mezcladora tipo V (“pantalón”) hasta que desaparecen los “grumos” y se observan los “finos”.
4. La mezcla anterior se alimenta directamente por la tolva al extrusor, el cual ha sido

prefijado con las siguientes condiciones de operación:

120.0°C en zona de cocimiento
63.0°C en zona de precalentamiento
750.0 rpm de rotación en el tornillo
70.0 kg/h de alimentación en la tolva
9.5 bar de presión absoluta
0.75 mm de apertura de la boquilla
7.5 s de tiempo de residencia

C.16 Metodología para la extrusión de almidón de maíz (Sánchez-Tovar, 1993)

Tras una experimentación de ensayo y error, se instrumentó esta metodología en el Laboratorio de Desarrollo de Tecnologías más Limpias del PIQAYQA de la Facultad de Química de la UNAM. El método consiste en los siguientes pasos:

1. Una vez seleccionado el almidón de maíz y libre de impurezas debe asegurarse un tamaño de partícula malla número 40.
2. Por cada muestra de almidón de maíz a extrudirse en el extrusor a bajo costo tipo "CIATECH" se prepara una "lechada" de hidróxido de calcio en agua de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental.
3. Se mezcla durante 10 minutos en una mezcladora de aspas tipo "Komax" o bien en una mezcladora tipo V ("pantalón") hasta que desaparecen los "grumos" y se observan los "finos".
4. La mezcla anterior se alimenta directamente al extrusor por la tolva el cual ha sido prefijado a las condiciones de operación:

120.0°C en zona de cocimiento
63.0°C en zona de precalentamiento
750.0 rpm de rotación en el tornillo
70.0 kg/h de alimentación en la tolva
9.5 bar de presión absoluta
0.75 mm de apertura de la boquilla
7.5 s de tiempo de residencia

C. 17 Determinación de los índices de absorción y solubilidad en agua (IAA, ISA) (Pérez y Rodríguez, 1988)

Esta técnica permite medir indirectamente el grado de gelatinización del almidón al cuantificar los sólidos solubles en agua y el agua que puede ser retenida, respectivamente.

Equipo requerido:

- 1.- Cápsulas de porcelana o cajas de "Petri"
- 2.- Agitador mecánico
- 3.- Tubos de centrífuga

- 4.- Balanza analítica
- 5.- Estufa

Los pasos a seguir en esta técnica son:

1. En un tubo de centrífuga se coloca una muestra de harina de 0.5 a 2.5 gramos según la capacidad de los mismos y se le añaden 50.0 mL de agua.
2. La suspensión se agita durante 30.0 minutos a 30.0°C.
3. La suspensión se centrifuga a 3000 rpm durante 10 minutos.
4. El sobrenadante se evapora en estufa durante seis horas a 80.0°C, hasta obtener el residuo de evaporación.

Los índices se calculan mediante la fórmula:

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

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

C.18. Determinación del contenido de azúcares reductores o metodología 80-60 de la AACC (1976, 1983)

Esta técnica permite medir indirectamente el grado de daño mecánico del almidón al cuantificar los sólidos solubles en agua que contengan grupos aldehídos reductores.

Equipo requerido:

1. Matraces aforados de 50.0 mL
2. Matraz aforado de 1.0 L
3. Balanza analítica
4. Espectrofotómetro
5. "Baño María".
6. Tubos de ensaye de 5.0 a 10.0 mL

Los reactivos requeridos son

1. Reactivo "DNS" (ácido dinitro-salicílico)
2. Solución acuosa de NaOH 2.0 N
3. Tartrato doble de sodio y potasio

Modo de preparación:

1. En un matraz aforado de 1.0 L, se disuelve un gramo de ácido 3-5-dinitro-salicílico en 50.0 mL de agua.
2. Se añaden a la solución anterior 20.0mL de solución acuosa de NaOH 2.0 N
3. Se añaden a la solución anterior 30.0g. de tartrato doble de sodio y potasio
4. Se mezcla bien y se lleva a 1000.00 mL con agua desionizada y se guarda a 4.0°C protegido de la luz.

Los pasos de esta técnica son los siguientes:

1. Se prepara una solución acuosa con 1.0 g de muestra en 100.0 mL de agua desionizada y se agita por 10 minutos. Se preparan también dos blancos de agua desionizada.
2. Se eliminan los sólidos no solubles por filtración de así requerirse.
3. Se toma 1.0 mL de solución de muestra en un tubo de ensaye y se le añade 1.0 mL de solución DNS.
4. Se colocan a desarrollar color en “baño maría” durante 10.0 min.
5. Una vez frío se lee en el espectrofotómetro a 540 nm de longitud de onda.

Para determinar el contenido de azúcares reductores se elabora la curva patrón:

- a) Preparar una solución con glucosa disolviendo un gramo en un litro de agua desionizada lo que equivale a 1.0 mg/mL.
- b) Realizar las siguientes diluciones colocando la cantidad de solución indicada y aforando a 10.0 mL.
- c) Leer la absorbancia a 540 nm para cada muestra y graficarla vs concentración de azúcar reductor.

C.19. Determinación de almidón modificado o dañado por digestibilidad enzimática “in vitro” por el método de la AACC-76-30-a, (AACC, 1976, 1983)

Este método detecta el porcentaje de almidón en una harina que es susceptible a la digestibilidad con alfa-amilasa.

Esta técnica requiere de los reactivos siguientes:

1. Solución amortiguadora de acetato: Diluir 4.1 g de acetato de sodio anhidro con 3.9 mL de ácido acético glacial y aforar a un 1.0 litro de agua con agua desionizada o destilada para obtener un pH de 4.6 a 4.8.
2. Solución de ácido sulfúrico: Añadir 100.0 mL de ácido sulfúrico grado reactivo en 100.0mL de agua destilada diluidos y aforar a 1.0 litro. Esto da una normalidad final de $3.68 \pm 0.5N$.
3. Solución de tungstato de sodio: Se disuelven 12.0 g de $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ en 50.0 mL de agua y se aforan a 100.0 mL.
4. Solución de alfa-amilasa: Se disuelve 1.0g alfa-amilasa (de origen fungal, 5,000.00 SKB de unidades por gramo) en 450 mL de solución amortiguadora de acetato (el reactivo deberá usarse en no más de dos horas después de preparado).

Procedimiento:

1. Mantener la solución de alfa-amilasa en baño de agua a 30.0°C
2. Pesar 0.1g de almidón (Máxima humedad, 14.0% b.s.) y colocar en un tubo de ensaye
3. Añadir 4.5 mL de solución de alfa-amilasa
4. Incubar con agitación a 30.0°C durante 15.0 minutos
5. Añadir 0.3 mL de solución de ácido sulfúrico y 0.2 mL de solución de tungstato de sodio
6. Filtrar en papel "Whatman" No. 4 descartando las primeras 3 a 4 gotas de filtrado
7. Tomar 1.0 mL de la muestra y determinar azúcares reductores por medio del método AACC 80-60 (AACC, 1976, 1983).

C.20. Metodología para el análisis por calorimetría diferencial de barrido (ASTM, 2005. Redes)

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se muele finamente una muestra en un mortero de porcelana
2. Se coloca dentro de una microcápsula de aluminio como la especifica el fabricante del equipo a usar
3. Se pesan dentro de la cápsula 0.1g de muestra en la balanza analítica
4. Se coloca la tapa de la cápsula y se comprimen con una prensa hasta sellado hermético
5. Se coloca la cápsula usando unas pinzas de disección en el compartimiento de la cápsula
6. Se calienta a velocidad constante (5.0°C / min)
7. Se obtienen las curvas de manera automatizada y se interpretan

BIBLIOGRAFÍA

AACC. 1976. *Methods of Analysis*. American Association of Cereal Chemists. Ed. Washington, D.C. EEUUA.

AACC. 1983. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 8ª Ed. Aprobados en septiembre de 1978, revisados en octubre 1982. St. Paul, MN, EEUUA.

Acevedo, A.E. 2004. Almidón aislado de maíces pigmentados nixtamalizados: caracterización parcial. En Memorias del 1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización: Del maíz a la tortilla. Ref009. Querétaro, Qro. México.

Anadha-Raho, M. 1998. *Rheology of Fluids and Semisolids*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. P. 116. San Antonio, Texas, EEUUA.

Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeiffer, V.F., Griffin, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*. 14(1):5-13.

AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUUA.

ASTM. 1999. Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry. **ASTM Book of Standards, General Test Methods, 14.02. Washington, DC, EEUUA.**

Baduí-Dergal, S. 1988. *Química de los alimentos*. Ed. Alhambra Mexicana. Pp. 97-101. Madrid, España.

Barbosa-Cánovas, G., Welti, J. 1995. *Food preservation by moisture control. Fundamentals and applications*. Technomic Publishing Co. Inc. Pp. 62-125. Lancaster, PA, EEUUA.

Barros-Neto, B., Scarminio, I.S., Bruns, R.E. 1995. *Planejamento e otimização de experimentos*. Editora da Unicamp, Pp.80-112. Campinas, Brasil.

Battacharya, M., Hanna, M.A. 1987a. Influence on process and product of variables on extrusion energy and pressure requirements. **J. Food Eng.** 52(6):153-163.

Battacharya, M., Hanna, M.A. 1987b. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. **J. Food Eng.** 52:764-766.

Bedolla, S., De Palacios, M.G., Rooney, L.W., Ciehl, K.C., Khan, M.N. 1983. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chem.* 60:263-268.

Benz, B.F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Revista Arqueología Mexicana. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.* 5(25):16-23.

Beveridge, G.S.G., Schechter, R.S. 1970. *Optimization: Theory and Practice*. McGraw-Hill. P. 54. Nueva York, EEUUA.

BIOSA. 1996. *Boletín de Información Oportuna del Sector Alimentario*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI y Comisión Nacional de Alimentación, CONAL. Núm. 121. México D.F. México.

Bonfil, G. Editor. 1987. *El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana*. Museo Nacional de las Culturas Populares. SEP, Dirección General de Culturas Populares. G.V. Editores, S.A. ISBN 968-29-0326-2. P. 22. México D.F. México.

Bourne, M.C. 1980. *Food texture and viscosity concepts and measurements*. Academic Press. P. 325. Nueva York, EEUUA.

Box, G.P.G., Hunter, W.G., Hunter, J.S. 1999. *Estadística para investigadores*. Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Ed Reverté, S.A. Pp. 525-550. Barcelona, España.

Braham, J.E., Bressani, R. 1966. Utilization of calcium from home treated maize. *Nutr. Bromatol. Toxicol.* **5**(1):14-19.

Bressani, R. 1972. *La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países*. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Pub. INCAP, L-3, p. 5-30. Guatemala, Guatemala.

Bressani, R., Paz-y-Paz, R., Scrimshaw, N.S. 1958. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agric. Food Chem.* **6**:770-777.

Brenner, P.E., Richmond, P., Smith, A.C. 1986. Aqueous dispersion rheology of extrusion-cooked maize. *J. Texture Studies.* **17**(1):51-60.

Bull, B.H. 1971. *An Introduction to the Physical Biochemistry*. 2ª Ed. F.A. Davis Co. Cap. 17. Pp. 425-445. Philadelphia, PA, EEUUA.

Burros, B.C., Young, L.A., Carroad, P.A. 1987. Kinetics of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. *J. Food Sci.* **52**:13-72.

Burton, K.W.C., Nickless, G. 1987. Optimization Via Simplex. Part I. Background, definitions and a simple application. *Chemometrics Intell. Lab. Syst.* **1**:135-149.

Cabrera, L. 2002. *Diccionario de Aztequismos*. 5ª. Ed. Colofón, S.A. ISBN 968-867-038-3. México D.F. México.

Cabrera, E., Durán-de-Bazúa, C., Pineda, J. C., Segurajáuregui, J. S., Vernon, E. J. 1986. Estudio de la difusión acuosa y grado de dextrinización en almidones de maíz sujetos a cocción. *Rev. Acad. Nal. Ing. (Méx.)* **5**(3):83-88.

Camacho, M.E., Nieto-Villalobos, Z., Morales-de-León, J., Durán-de-Bazúa, C. 1998. *Estudios in vivo de dietas de harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz, sorgo y mezclas 60:40 maíz:sorgo con diferentes concentraciones de calcio*. Informe de proyecto de investigación. MA-SO-01-98. Pp. 12-20. UNAM, Facultad de Química. México D.F. México.

Camacho, M.E., Nieto-Villalobos, Z., Morales-de-León, J., Durán-de-Bazúa, C. 2002. *Estudios in vivo de dietas de harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz, sorgo y mezclas 60:40 maíz:sorgo con diferentes concentraciones de calcio* / In vivo studies of diets made with “nixtamalized” and extruded corn, sorghum and mixtures 60:40 corn:sorghum diets with different calcium concentrations. *Industria Alimentaria*. 24(6):4-5, 7-10, 12, 15-21.

Camacho-Parra, M.E. 1999. *Estudio para evaluar el efecto de la concentración de calcio presente en harinas extrudidas y nixtamalizadas de maíz, sorgo y sus mezclas empleando ratas Wistar*. Tesis profesional (QFB, Tecnología de Alimentos). Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K. 1990. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Crit. Revs. Food Sci. Nutr.* 29(1):35-57.

Camacho, M.E., Nieto-Villalobos, Z., Morales-de-León, J., Durán-de-Bazúa, C. 2002. Estudios *in vivo* de dietas de harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz, sorgo y mezclas 60:40 maíz:sorgo con diferentes concentraciones de calcio / *In vivo* studies of diets made with “nixtamalized” and extruded corn, sorghum, and mixtures 60:40 corn:sorghum diets with different calcium concentrations. *Industria Alimentaria*, 24(6):4-5,7-10,12,15-21.

Cárdenas, R., Caroti, A., Grosclaude, G., Lerat, L. 1993. *Instrumentation d'un extruder bi vis*. INRA. Servicio de Estudios de Realizaciones Tecnológicas. Pp. 72-80. Nantes, Francia.

Charbonniere, R., Duprat, P., Guilbot, A. 1973. Changes in various starches by cooking extrusion processing. II. Physical structure of extruded products. *Cereal Sci. Today*. 18(5):280-286.

Chen, J., Serafin, F.L., Pandya, R.N., Henryk, D. 1991. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *J. Food Sci.* 56(1):27-33.

Chiang, B.Y., Johnson, J. A. 1977. Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chem.* 54:436-443.

Chiang, B.Y., Wang, S.S. 1998. *Advances in Extrusion Technology*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 15-112. San Antonio, Texas, EEUUA.

Colonna, P., Doublier, J.L., Melcion, J.P., Demonredon, F., Mercier, C. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, physical and macromolecular modifications. *Cereal Chem.* 61:538-543.

Cravioto, R., Cervantes, M. 1965. Eficiencia proteica de la harina de masa enriquecida con harina de soya y de la adicionada con proteínas de ajonjolí. *Ciencia*. 24:159-161.

Cravioto, Y.O., Cravioto, R., Huerta, R., Guzmán, J. 1950. Comparación del valor biológico de las proteínas del maíz, tortillas y tortilla-soya. *Ciencia*. **10**:145-148.

Crowley, P.R. 1975. *Evaluation of low cost extrusion-cooker for use in less developed countries*. Comunicación personal. UNAM. México D.F. México.

Díaz-León, M.A., Cruz-León, A. Compiladores. 1998. *Nueve mil años de agricultura en México. Homenaje a Efraím Hernández Xolocotzi*. 1ª. Ed. Grupo de Estudios Ambientales, A.C. Pub. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN 968-884-514-0. Chapingo, Méx. México.

Díaz-Núñez, M.C. 1999. Estudio de prefactibilidad técnico-económica de una línea de extrusión alcalina para harinas y/o masas precocidas de maíz para tortillas. **Tesis profesional (Ingeniería Química)**. Facultad de Química, UNAM. Pp. 15-59. México D.F. México.

Diosady, L., Paton, D., Rosen, N., Rubin, L.J., Athanassoulis, C. 1985. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Mechanic-Kinetic breakdown of cooked starch. *J. Food Sci.* **50**:1697-1699.

Dowschrak, E. 1981. Nonenzymatic browning and its effect on protein nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **13**:1.

Durán, C. 1972. *Proyecto de investigación interno: Extrusión de maíz / Internal Research Project: Corn extrusion*. Departamento de Ciencias de la Nutrición. Universidad de California. Berkeley, 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, Méx. México.

Durán, C. 1978. *Procedimiento para cocer maíz por medio de extrusión*. Pat. 173038. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Departamento de Patentes. Dirección General de Invencciones y Marcas. México D.F. México.

Durán, C. 1987. *Reaprovechamiento de los efluentes de la industria del maíz*. Informe final de Proyecto. Pub. UNAM- PNUMA. Impresora Azteca, S.A de C.V. ISBN 968-36-1644-5. México D.F. México.

Durán, C., 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. (Méx.)*. **5**(6):4-16.

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

Durán-de-Bazúa, C. 1986. Design basis for rotational biological reactors used in aerobic wastewater treatment systems. En Proceedings *III World Congress of Chemical*

Engineering. Japan Society of Chemical Engineers. Septiembre 21-25. Pp. 819-822. Tokio, Japón.

Durán-de-Bazúa, C. 1987. Effluents of the food industry in Mexico: Environmental impacts on soil and water resources and possible solution using the biotechnological approach. Case problem: The corn industry. En **Biotechnology Applied to Environmental Problems. Global Bioconversions**. Ed. D.L. Wise. Vol. II. Chapter 4. Pp. 75-119. Ed. D.L. Wise. CRC Press Inc. ISBN 0-8493-4509-x. Boca Raton, FL. EEUUA.

Durán-de-Bazúa, C. 1988. Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. **Monografía Tecnológica No. 2**. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. O.E.A. 71 pags. Pub. UNAM-Proy. Multinal. Tecnol. Alimentos. ISBN 968-36-0576-1. México D.F. México.

Durán-de-Bazúa, C. 1998. Concepts on energy savings in the agroindustry-food chain. Sustainable agriculture for food, energy, and industry: strategies towards achievement. En. Proceedings of the International Joint Conference Held in Braunschweig, RFA. Panel session "**Energizing the food production chain for the attainment of food security**". Eds. N. El Bassam, R.K. Behl, B. Prochnow. Vol. 2, pp. 722-725. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Society of Sustainable Agriculture and Resource Management, Hisar, India, Federal Agricultural Research Center, Braunschweig, RFA. Junio 22-28, 1997. James X James Sci. Pub. Ltd. ISBN 1 873936 76 1. Londres, Inglaterra.

Durán-de-Bazúa, C., Rangel-Silva, J. M., Maya-Jasso, A., Gaitán-Zamora, N. 2004. Patentes del PIQAYQA, propuestas de ayuda social de la UNAM. En **Exposición Sobre Inventiones E Innovaciones Tecnológicas IMPI-UNAM**. Pabellón Banamex. Secretaría de Economía. Noviembre 1-5. México D.F., México.

Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. 1987. **Die biologische Behandlung und Verwertung von Abwässern der Maisverarbeitung in Mexiko**. Reihe 15: Umwelttechnik. Nr. 51. VDI Verlag. Düsseldorf, Alemania.

Eiras, S.P., Cuelbas, C.J., de Andrade, J.C. 1994. Um Estudo Comparativo sobre a Eficiência de Estratégias Quimiométricas de Otimização. **Química Nova**. 16:216-219.

Elwood, F., Caldwell, R.B., Fast, Ch., Lauhoff, R., Miller, C. 1989. **Unit operation and equipment in blending and cooking in breakfast cereal and how they are made**. Caldwell Eds. AACC. Pp. 35-120. St Paul, Minnesota, EEUUA.

Fabila, G.R. 1991. **Métodos numéricos en diseño de experimentos industriales**. Apuntes de la Cátedra de Diseño de Experimentos impartida por el Ing. Gilberto Fabila, Profesor "A" del Posgrado en Ciencias de Alimentos (Ingeniería). Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química. Pp. 80-102 UNAM, México D.F. México.

Fisher, R.A. 1935. **The Design of Experiments**. Oliver & Boyd. Pp. 25-110. Edimburgo, Gran Bretaña.

Fito, P., Ortega-Rodríguez, E., Barbosa-Canovas, G. 1998. **Food Engineering**. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 60-78. San Antonio, Texas, EEUUA.

Flory, P.J. 1971. *Principles of Polymer Chemistry*. Cornell University Press. Pp.86-118. Ithaca, NY, EEUUA.

Frame, N.D. 1998. *Technology of Extrusion Cooking*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 96-114. San Antonio, Texas, EEUUA.

Fryer, P.J., Pyle, D.L., Rielley, D.C. 1998. *Chemical Engineering for the Food Industry*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 92-104. San Antonio, Texas, EEUUA.

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

Gómez, M.H., Aguilera, J.M. 1984. A physicochemical model in extrusion of corn starch. *J. Food. Sci.* **49**:40-43.

Gómez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W., Waniska, R.D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* **54**:330-336.

Gómez, H.M., Waniska, R.D., Rooney, L.W. 1992. Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* **69**: 275-279.

González-Dávalos, M.L., Rojas-Molina, J.L., Fernández-Muñoz, J.L., Rodríguez García, M.E. 2004. Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y tiempo de reposo sobre la calidad nutrimental de harinas de maíz elaboradas mediante el proceso tradicional de nixtamalización. En Memorias del 1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización: Del maíz a la tortilla. Ref 073. Querétaro, Qro. México.

Harma, S.K., Mulvaney, S.J., Rizvi, S.H. 1998. *Food Process Engineering*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 74-145. San Antonio, Texas, EEUUA.

Harper, J.M. 1981. *Extrusion of foods*. CRC Press Inc. Pp.10-185. Boca Ratón, Florida, EEUUA.

Harper, J.M. 1988. Effects of extrusion processing on nutrients. En *Nutritional Evaluation of Food Processing*. Eds. Karmas, E., Harris, R.S. Ed. Avi Book Van Nostrand Reinhold Co. Pp. 10-185. Nueva York, EEUUA.

Hartel, R.W., Howell, T.A., Hyslop, D.B. 1998. *Math Concepts for Food Engineering*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 10-150. San Antonio, Texas, EEUUA.

Heldman, D.R., Singh, R.P. 1981. *Food Processing Engineering*. Avi Pub. Co. Pp. 82-189. Westport, CN, EEUUA.

Hernández-Ayala, E., Nieto-Villalobos, Z., Durán de Bazúa, C. 1996. Determinación del efecto de la nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutricio en tortillas de maíz y sorgo, parte II: Contenido de triptofano y niacina. *Industria Alimentaria*. **18**(3):45-48.

Hernández-Xolocotzi, E. 1990. Comunicación personal. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Méx. México.

Hsieh, F., Peng, I.C., 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):65-70.

Illescas, R. 1943. La teoría química de la formación del nixtamal. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* (Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural). **4**(3-4):129-136.

Johnson, B.A., Rooney, L.W., Khan, M.N. 1980. Tortilla-making characteristics of micronized sorghum and corn flours. *J. Food Sci.* **45**:671-674.

Jugenheimer, R.W. 1981. *Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. Limusa. ISBN 968-1221-2. Pp. 12-25. México D.F. México.

Khan, M.N., Desrosiers, M.C., Rooney, L.W., Morgan, R.G., Sweat, V.E. 1982. Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures. *Cereal Chem.* **59**:279-284.

Kokini, J.L., Chi-Tang Ho, Makun-Kwar, V. 1998. *Food Extrusion Science and Technology*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 116-164. San Antonio, Texas, EEUUA.

Labuza, T.P. 1972. Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. *Crit. Rev. Food Technol.* **9**(1):217-218.

Legret, M., Divet, L. 1988. Application of factorial-designs in optimization of the determination of lead by electrothermal atomization. *Analysis*, **16**:97-106.

Levenspiel, O. 1982. *Chemical Reactions Engineering*. John Wiley and Sons. Pp. 20-110. Nueva York, EEUUA.

Levenspiel, O. 1998. *Ingeniería de las reacciones químicas*. Ed. Reverté. Pp. 103-173, Barcelona, España.

Linko, P., Linko, Y.-Y., Olkku, J. 1983. Extrusion cooking and bioconversions. *J. Food Eng.* **2**:24.

López-Munguía, A., Segurajáuregui, J. 1986. Efecto de la variedad de maíz en la cinética de nixtamalización. *Tecnol. Aliment. (Méx)*. **21**(5):20-24.

Lund, D., Wirakartaksumah, M.A. 1984. Model of starch gelatinization phenomena. En *Engineering and Food*. Vol. 1. Engineering Science in the Food Industry. Ed. McKenna, B.M. Institution of Engineers of Ireland. Agricultural Engineering Division. Pp. 25-92. Republic of Ireland.

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

- Malli, E., Grossmann, M.V.E. 2001. Preparation of acetylated distarch adypates by extrusion. **Lebsmn-Wiss. u.-Technol**, **34**:384-389.
- Matthey F.P., Milfor, A.H. 1997. Physical and functional properties of twin-screw extruded whey protein, concentrate-corn starch blends. **Lebsmn-Wiss. u.-Technol**, **30**:359-366.
- Matz, A.S. 1962. **Food Texture**. The AVI Pub. Co. Inc. Pp. 46-80. Wesport, CN, EEUUA.
- Mercier, C., Feuillet, P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. En **Polysaccharides in Foods**. Eds. Blanchard, J.M., Mitchel, J.R. P. 100. Butterworths, Londres, Gran Bretaña.
- Mercier, C., Charboniere, R., Gallandt, D., Guilbot, A. 1979. Structural modification of various starches by extrusion cooking with a twin screw French extruder. En **Polysaccharides in Foods**. Eds. Blanchard, J.M., Mitchel, J.R. P. 153. Butterworths, Londres, Gran Bretaña.
- México, Enciclopedia de. 1978. **Tomo VIII (Maíz), Tomo XII (Tortillas)**. 3ª. Ed. Porrúa, México D.F. México.
- Miller, R.C. 1985. Moisture extrusion: Effects of cooking moisture in food characteristics. **J. Food Sci.** **50**:249-253.
- Molina, M.R., Letona, M. y Bressani, R. 1977. Drum-drying for the improved production of instant tortilla flour. **J. Food Sci.**, **42**:1432-1434.
- Montañez, C.H. 1991a. **El maíz, política institucional y crisis agrícola**. Banco de México, Organismo para la Difusión de la Agricultura. No. de clasificación SB191. M2/M65. Pp. 10-35. México D.F. México.
- Montañez, C.H. 1991b. **Cultivos de maíz y frijol en México, participación del FIRA (Fondo Institucional de Recursos Agrícolas) en su producción**. Banco de México, Organismo para la Difusión de la Agricultura. No. de clasificación SB191. M2/M68. Pp. 42-54. México D.F. México.
- Moreira, T., Lo, R.G., Catell, R., Pérez, E. 1999. Rheological properties of corn meal dough. **Food Sci. Technol. Intl.** **5**(1):59-65.
- Moshenin, N.N. 1973. **Physical properties of plants and animal materials**. Vol.1. Part II. Gordon & Breach Inc. Pp. 26-54. Nueva York, EEUUA.
- Muller, H.G. 1979. **Uses of the amylograph in the baking industries**. Artículo de origen industrial incluido en el manual del uso del viscoamilógrafo Brabender por el fabricante. Duisburg, Alemania.
- Nelder, J.A., Mead, D.R. 1965. A simplex method for function minimization. **Computer J.** **7**:308-312.

NOM-F46-S-1980. Sepafin. 1980. Norma Oficial Mexicana para harina de maíz nixtamalizado. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. México D.F. México.

NOM. 2003. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1-2001. Diario Oficial de la Federación. México D.F. México.

Norad, M.N., Iskander, F.Y., Rooney, L.W., Erp, C.F. 1986. Physico-chemical properties of alkali-cooked corn using traditional and presoaking procedures. *Cereal Chem.* 63:255-259.

Owusu-Anasah, J., Van de Voort, F.R., Stanley, D.W. 1983. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. *Cereal Chem.* 60:319.

Ott, D. B. 1992. *Manual de laboratorio de ciencia de alimentos*. Práctica 3: Amilosa/amilopectina - Gelatinización y gelificación. P. 64. AMV Ediciones, Madrid, España.

Padmanabhan, M., Bhattacharya, M. 1993. Effect of ingredients on the rheological properties of extruded corn meal. *J. Food Eng.* 18(4):335-349.

Pedrero D.L., Pangborn, R.M. 1989. *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos*. Ed. Alhambra. Madrid, España. 1ª. Ed. Pp.113-152. México D.F. México.

Pérez, R., Rodríguez, J. 1988. Estudio de las características reológicas de tortillas de maíz sorgo y sus mezclas. *Tesis profesional (QFB, Tecnología de alimentos)*. Facultad de Química, UNAM. Pp. 10-94 México D.F. México.

Porter, R.S., Casale, A. 1995. Recent studies of polymer reactions caused by stress. *Polymer Eng. Sci.* 25:129-156.

Pravisani, C.I., Califano, A.N., Calvelho, A.A. 1985. Kinetics of starch gelatinization in potato. *J. Food Sci.* 50:657-660.

Raffi, J.J., Agnel, J.L. 1993. Influence of the physical structure of irradiated starches and their electron spin resonance kinetics. *J. Phys. Chem.* 87:2369-2373.

Rangel, M., Durán-de-Bazúa, C. 1992. **Sistema mecánico para procesar semillas gramíneas**. Registro: Sept. 18, 1992. Cesión irrestricta de derechos a la UNAM. Patente Núm. 178789. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México.

Rangel-Silva J. M. 1996. Diseño de un sistema de máquinas para el procesamiento de granos y semillas. estudio de caso: La semilla de amaranto. *Tesis profesional* (Diseñador Industrial). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, UNAM. Febrero 9. México D.F. México.

Rangel-Silva, J. M., Calderón Villagómez, H. E., Durán-de-Bazúa, C. 1996. Diseño de una máquina limpiadora, acondicionadora y reventadora de granos. En **Taller Cuba-México. Potencialidades y usos del amaranto**. Universidad de La Habana, Cuba y UNAM, México. Abril 11-12. La Habana, Cuba.

Rangel-Silva, J.M., Cruz-Chávez, A., Calderón-Villagómez, H.E., Durán-de-Bazúa, M. C. 1995. Procesamiento de maíz, sorgo y amaranto para la elaboración de alimentos reventados tradicionales. *Informe Técnico de Proyecto MA-AM-01-95*. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. 153 pags. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Rangel-Silva, J.M., Sánchez-Tovar, S.A., Calderón-Villagómez, H.E., Durán-de-Bazúa, M.C. 1992. Procesamiento de amaranto y maíz para la elaboración de alimentos tradicionales. *Informe Interno de Trabajo MA/AM-01-92*. UNAM-PIQAYQA. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. 57 pags. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Rangel-Silva, M., Sánchez-Tovar, S.A., Durán-de-Bazúa, C. 1994. El maíz (*tlaolli*) y el amaranto (*huautli*), dos granos vitales para los mexicanos: su procesamiento usando tecnologías más limpias. En **Primer Congreso Mexicano de Etnobiología**. Asociación Etnobiológica Mexicana, A.C. y Universidad Autónoma del Estado de México. Agosto 10-12. Toluca, Mex., México.

Reguera, E., Mendoza S., Martínez B. R., Ortiz P., De la Luz, M.J. 2001. Kinetic Approach to Nixtamalization of Corn Pericarp. *Cereal Chem.* **78**(2):107-110.

Reguera, E., Valor, A., González, R., Ortiz, P., Fernández, J., Hernani, Yee. 2004. On the physicochemical changes in the corn grains during its cooking in an aqueous solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. En Memorias del **1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización: del Maíz a la Tortilla**. Ref 005, Querétaro, Qro. México.

Reyes-Castañeda, P. 1986. *Fitogenética básica aplicada*. Limusa. ISBN-968-4653-02102. Pp. 14-31. México D.F. México.

Reyes-Castañeda, P. 1990. *El maíz y su cultivo*. Limusa. ISBN-968-MZ R495. Pp. 13-28. México D.F. México.

Ríaz, N. M. 1998. *Extruders in Food Applications*. Ed. Culinary and Hospitality Industry Publication Services. Pp. 116-194. San Antonio, Texas, EEUUA.

Rizvi, S.S.H., Mittal, G.S. 1993. *Experimental Methods in Food Engineering*. Van Nostrand-Reinhold. Pp. 100-154. Nueva York, EEUUA.

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

Robles, R.R., Murray, E.D., Paredes-López, O. 1988. Physico-chemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making. *J. Food Sci.* **23**:91-98.

Rojas, E. Gutiérrez-Cortés, J., Pons, L., Rodríguez, M. E. 2004. Composición nutrimental de harinas de maíz QPM, en función de la temperatura de cocimiento y el tiempo de reposo. En Memorias del **1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización: del Maíz a la Tortilla**. Ref 012. Querétaro, Qro. México.

Routh, M.W., Swartz, P.A., Denton, M.B. 1977. Performance of the super modified simplex. *Anal. Chem.* **49**:1422-1428.

Rubio, M.J. 1972a. *Tortilla and process using epichlorohydrin*. US Patent 3,690,893. Washington, DC, EEUUA.

Rubio, M.J. 1972b. *Tortilla and process using carboxylic acids and their anhydrides*. US Patent 3,694,224. Washington, DC, EEUUA.

Rubio, M.J. 1973. *Tortilla and process using hydrophylic inorganic gels*. US Patent 3,709,696. Washington, DC, EEUUA.

Rubio, M.J. 1974a. *Tortilla and process using sorbic acid and its salts*. US Patent 3,853,997. Washington, DC, EEUUA.

Rubio, M.J. 1974b. *Tortilla and process using methyl, ethyl, butyl and propyl esters of parahydroxy benzoic acid*. US Patent 3,853,998. Washington, DC, EEUUA.

Rubio, M.J. 1975. *Tortilla and process using acetic and propionic acid*. US Patent 3,859,449. Washington, DC, EEUUA.

Saldaña, G., Brown, H.E. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J. Food Sci.* **49**:1202-1203.

Saldaña-Morales, M.V. 1987. Comparación química y biológica de mezclas de maíz y sorgo nixtamalizadas y extrudidas. *Tesis profesional (QFB, Tecnología de alimentos)*. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.

Sánchez-Tovar, S. 1993. Estudio del uso de modelos de superficie de respuesta para correlacionar características sensoriales y de textura de masas y tortillas elaboradas con harinas de maíz extrudidas alcalinamente. México D.F. *Tesis de Maestría en Ciencias de los Alimentos (Ingeniería de Alimentos)*. Facultad de Química, UNAM. Pp. 1-110. México D.F. México.

Sánchez-Tovar, S.A., Calderón, H.E., Durán-de-Bazúa, C. 1997. Alkaline extrusion of cornmeals for tortilla production: Rheological and sensory relationships. En *ENGINEERING AND FOOD, ICEF 7*. R. Jowitt, Ed. Pp. H57-60. Parte 2. International Association for Engineering and Food, European Society of Agricultural and Mechanical Engineers. ISBN 1-85075-814-X. Sheffield, Inglaterra.

Sánchez-Tovar, S., Calderón-Villagómez, H., Durán-de-Bazúa, C. 1993. *Extrusión alcalina de maíz blanco y amarillo, evaluaciones reológicas y sensoriales de masas y tortillas*. Vol. 3. Serie: Tecnologías más limpias. Pub.Prog. Ing. Quim. Amb. Pp- 20-184. Facultad de Química, UNAM. ISBN 968-36-3322-6. México D.F. México.

Sánchez-Tovar, S., Díaz-Nuñez, C., Durán-de-Bazúa, C. 2001. Factibilidad económica de una línea de producción de harina de maíz para tortillas usando extrusión termoalcalina. *Rev. IMIQ (Méx)*, **42**(1-3):24-33.

Sánchez-Tovar, S., Díaz-Nuñez, C., Durán-de-Bazúa, C. 1999. Evaluación técnico-económica de una línea de producción de harinas y masas para tortillas de maíz elaboradas por extrusión termoalcalina. Presentado en la **XXXIX Convención Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos**. Sesiones Técnicas. IMIQ, Directiva Nacional. Octubre 6-8. León, Gto., México.

Sánchez-Tovar, S., Durán-de-Bazúa, C. 1998. Modelos de superficie de respuesta para determinar la calidad molinera y reológica de las harinas de maíz extrudidas alcalinamente. En: Memorias del **XIX Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería**. Pp. 24-31. Acapulco, Guerrero, México.

Sánchez-Tovar, S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, C. 2005. *Proceso por extrusión termoalcalina y/o ácida de granos y esquilmos agroindustriales para producir sémolas y/o harinas precocidas en forma de hojuelas para la elaboración de masas y tortillas y de otros productos alimenticios*. Patente. Solicitud de Registro: Junio 16, 2005. IMPI. PA/a/2005/006459 (En trámite). México D.F. México.

Sánchez-Tovar, S.A., Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, M. 2004. Viscoamylographic studies on *zea mays* corn starch (mexican white tuxpeño maize) partial gelatinization with calcium hydroxide. *Starch-Stärke*. **56**(11):526-534.

Sánchez-Tovar, S.A., Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, C. 2000. Cinética de reacción para la gelatinización bajo tratamiento térmico alcalino del almidón de maíz en un extrusor considerado como un reactor continuo de flujo de tipo pistón. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*. **15**(2):90-99.

Schweizer, T.F., Reimann, S., Solms, J., Eliasson, A.C. 1986. Influence of drum drying and twin screw extrusion in wheat carbohydrates. A comparison between of wheat starch and extractions of different flours. *Cereal Sci*. **4**:249-260.

Seethammraju, K., Bhattacharya, M. 1994. Effect of ingredients on the rheological properties of extruded cornmeal. *J. Rheol.* **38**(4):1029-1044.

Senouci, A., Smith, A.C. 1988. An experimental study of food melt rheology. I. Shear viscosity using a slit die viscometer and a capillary rheometer. *J. Rheol. Acta*. **27**(5):546-554.

Spendley, B. W., Hext, G.R., Himsforth, F.R. 1962. Sequential application of simplex designs in optimization and evolutionary operation. *Technometrics*. **4**:441-461.

Trejo-González, A. 2004. Nuevos aportes científicos sobre el proceso de nixtamalización, sus modificaciones y aplicaciones. Memorias del **1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización: Del maíz a la tortilla**. Ref 074. Querétaro, Qro. México.

Trejo-González, A., Feria-Morales, A., Wild-Altamirano, C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Adv. Chem. Ser.* **198**:245-263.

Ureta-Barrón, E. 1989. *Polímeros, estructura, propiedades y aplicaciones*. Pp. 8-54. Limusa. México D.F. México.

Uribe-Velasco, M. 1985. *Los polímeros (Síntesis y caracterización)*. Noriega Editores. Pp. 45-79. México D.F. México.

Vásquez-Reyes, V.M., Martínez, L., Durán de Bazúa, C. 1996. Determinación del efecto de la nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutritivo en tortillas de maíz y sorgo, parte I: Contenido de tiamina, niacina y riboflavina. *Industria Alimentaria*. **18(2)**:24-25,28-29,31-34.

Vázquez, L. F., Ramírez, W. B., Cinco, M. F. J., Mercado, R. J. N. 2001. **Efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre la textura de la masa de la tortilla de maíz.** *Biociencia (Hermosillo, Mex.)*. **2(3)**:98-102.

Vergnes, B., Villemare, J.P. 1993. *Étude du comportement visqueux de l'amido fondu en phase peu hydratée*. Centre de Mise en Forme des Matèriux, UA 852. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Pp.152. Valbonne, Francia.

Vidal, Q. R. I. 2001. Role of oil on physical properties of corn masa flours and sensory characteristics of corn tortillas. *Food Proc. Preserv.* **25**:1-14.

Villegas, E., Ortega, E., Bauer, R. 1990. *Métodos químicos usados en CIMMYT para determinar la calidad proteínica y nutricional de los cereales*. Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. Pp. 4-30. El Batán, Méx. México.

Wankhede, D., Umadevi, S. 1987. Determination of some physicochemical properties of pyrodextrines of rogi, wheat, jowar, and rice starches. *Starch/Staerke*. **34**:162-165.

Wellhausen, E.J., Roberts, L.M., Hernández-Xolocotzi, E., con la colaboración de Mangelsdorf, P.C. 1951. *Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución*. Folleto Técnico No. 5. SAG, OEE. 237 pags. México D.F. México.

Zurima, G., Pérez, E. 2002. Evaluation of lentil starches modified by microwave irradiation and extrusion cooking. *Food Research International*. **35(5)**:415-420.

CITAS DE REDES INTERNACIONALES (INTERNET)

Anónimo. 2006a. Molécula de amilosa (www.um.es/molecula/gluci05.htm)

Anónimo. 2006b. Molécula de amilopectina (www.cepis.ops-oms.org/eswww/.../anexo4.html)

ARCRIDE. 1997. Excelente bactericida contra el “*Vibrio cholerae*”. En experimentos de campo y de laboratorio se encontró que el hidróxido de calcio, mejor... <http://www.arcride.edu.ar/servicios/comunica/vibrio.htm>

ASTM. 2005. Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry (Modificado de 1999). <http://webstore.ansi.org/ansidocstore/product.asp?sku=ASTM+E1269%2D05>

Barron, C., Buleon A., Colonna, P., Del Valle, G. 2000. Structural modifications of low hydrated pea starch subjected to high thermomechanical processing. Unité de Recherches

sur Polysaccharides leurs Org. Institute National de la Recherche Agronomique, Nantes, Francia. Carbohydrate Polymers, 43, 171-181. Elsevier, www.elsevier.com/locate/Carbpol

Calderón, G., Domínguez, S. 1997. Extrusión de una mezcla de maíz-salvado, selección de los parámetros de operación mediante superficies de respuesta. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Ingeniería Bioquímica. México D.F.

<http://bios.encb.ipn.mx/server/publica/analencb/analencb/bespa.htm>

Cremana. 1997. División Industrial (70% Productos Presentaciones (Division C...)). **Summary:** DIVISION CREMENA, CREMENA, FÉCULA DE MAÍZ NATURAL 1/20 /750 **URL:** http://imsa.com.mx/con_cre_prod.html

Escher, F. 1995. (Thermodynamic Investigation on Thermoplastic Starch, NSC Food Starch Division: Starch Bases. NSC Food Division Starch Bases Applications Starch Bases. Infoseek, Eurospider Information Retrieval System). <http://www.foodstarch.com/Ie.htm>

FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana (Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISBN 92-5-303013-5 1 . Maíz 2. Nutrición humana I. Título II. Serie Código FAO: 86 AGRIS: S01 <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm>

Gutiérrez-Díaz, L.J., Güemes, M.J. 1997. (Manejo poscosecha del maíz en el Estado de Morelos). <http://tztzal.dcaa.unam.mx/-pual01/notitec3/.html>

Nabehima, E., Grossmann, M.V.E. 2001. Functional properties of pregelatinized and cross linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate. Carbohydrate Polymers, 45, 2001, 347-353, Elsevier, www.elsevier.com/locate/Carbpol

Peña-Hurtado, S. 1997a. (Maíz el alimento de los Dioses, considerado por los indígenas de México como planta sagrada. El teocinte). <http://www.elsalvador.com/hpedhlow/turismo/low/gastro/1/maíz1.htm>

Peña-Hurtado, S. 1997b. (El maíz en México. La conquista de México permitió poner a las órdenes del mundo algunas especies agrícolas de... <http://www.udg.mx:81/Ingles/UdG/Red/CUCBA/maíz1.htm>

Steeneken, P.A.M., Wortman, A.J., Sanders, P. 1995. (Starch granule, structure and reactivity. NSC Food Starch Division: Starch Bases Applications / Netherlands Institute for Carbohydrate Research, Infoseek, Eurospider Information Retrieval System). <http://www.foodstarch.com/Ie.htm>

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA (no citada en el texto)

Fletcher, S.I., Richmond, P., Smith, A.C. 1985. An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *J. Food Eng.* **4**(4):291-312.

Fletcher, S.I., McMaster, T.J., Richmond, P., Smith, A.C. 1985. Physical and rheological assessment of extrusion cooked maize. *Thermal processing and quality of foods*. FSTA 17 G4A9. European Cooperation in Scientific and Technical Research (Thermal Processing Symposium). ARC Food Res. Inst., Colney Lane, 1984, Pp. 223-234. Norwich, Reino Unido.

Janssen, L.P.B.M., Van Zuilichem, D.J. 1980. *Rheology of reacting biopolymers during extrusion*. Lab. Phys. Technol., Delft Univ. Technol., Delft, Neth. Rheol., (Proc. 8th Int. Congr.). Eds. Astarita, G., Marrucci, G., Nicolais, L. Vol. 3. Pp. 711-714. Code: 44JVAK. Pub. Plenum Press. Nueva York, NY, EEUUA.

MATERIAL ADICIONAL

PATENTE

1 **NOMBRE DE LA INVENCION**

2 PROCESO POR EXTRUSION TERMOALCALINA Y/O ACIDA DE GRANOS Y OTROS ESQUILMOS
3 AGROINDUSTRIALES PARA PRODUCIR SEMOLAS Y/O HARINAS PRECOCIDAS EN FORMA DE
4 HOJUELAS PARA LA ELABORACION DE MASAS Y TORTILLAS Y DE OTROS PRODUCTOS
5 ALIMENTICIOS

6
7 **CAMPO DE APLICACION DEL CONOCIMIENTO**

8 La presente invencion es un proceso, el cual se ubica en la Ciencia Química en el campo de la Ingeniería
9 Química con su aplicación a la Ingeniería Alimentaria y Agroindustrial. Es el resultado de la aplicación de las
10 investigaciones realizadas en la Universidad Nacional Autónoma de México, por el Grupo de Desarrollo de
11 Tecnologías más Limpias del Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental de la
12 Facultad de Química de la UNAM.

13
14 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

15 La presente invencion se llevó a cabo con base en la problemática descrita a continuación y es el resultado de
16 investigaciones realizadas a nivel de laboratorio, de escala de banco y de escala prototipo, así como en
17 algunas industrias cooperantes.

18
19 **Problemática por resolver a través de la presente invención**

20 En México se producen y consumen una gran variedad de productos con base en el maíz y otros granos, como
21 el sorgo, el arroz, el frijol, etc. En la mayor parte de los procesos de elaboración de estos alimentos se
22 consumen energía e insumos que incrementan su costo y generan problemas ambientales. Por ejemplo, para el
23 maíz, el grano con el mayor cultivo en México, cuyo consumo más extendido es en forma de tortillas, aunque
24 hay otros productos como los tamales, el atole, el pozole, los tlacoyos, dulces como gelatinas y
25 "temblorosos", utiliza el proceso de nixtamalización tradicional, el cual genera grandes cantidades de aguas
26 residuales y consume cantidades muy importantes de energía. Tomando como otro ejemplo al segundo grano
27 más cultivado en México, el sorgo, grano que llegó al país en la década de los setenta en el Siglo XX y que se
28 emplea para consumo pecuario, en su lugar de origen es un grano para consumo humano, por lo que puede
29 procesarse como el maíz para producir tortillas y otros productos similares a los del maíz si el proceso es
30 adecuado. Asimismo, las leguminosas como el frijol conocido como "diente de burro" o *Canavalia ensiformis*
31 puede contener de manera natural sustancias tóxicas, las cuales impiden que pueda ser aprovechado como
32 alimento, tanto para animales como para los humanos. Los esquilmos agroindustriales como el salvado de
33 arroz no pueden aprovecharse de manera integral como ocurre en otros países ya que las condiciones
34 climatológicas hacen que se deteriore muy rápidamente, por lo que se convierte en residuo en vez de ser un
35 subproducto útil.

36
37 Esta invención se basa en la cocción de las partículas de los granos o esquilmos en presencia de cal y/o ácido
38 clorhídrico o muriático cuando es impuro y agua, por medio del calor generado, ya sea por la fricción
39 mecánica de ellas contra las paredes metálicas del equipo utilizado, conocido como extrusor, o adicionando
40 además calor por medio de resistencias eléctricas y/o vapor de agua y/o gases de combustión.

41
42 Este proceso produce masas y/o sémolas y/o harinas precocidas que tienen características químicas y
43 nutrimentales similares a las de sus contrapartes procesadas por métodos tradicionales con la ventaja de
44 requerir menos energía y menos insumos como agua, vapor y otros.

45
46 Tomando el ejemplo del maíz para producir tortillas, este proceso novedoso de extrusión alcalina es similar,
47 desde el punto de vista químico, al proceso tradicional de nixtamalización del maíz.

48
49 **Ventajas del proceso de extrusión alcalina y/o ácida**

50 Tomando el ejemplo de la extrusión alcalina del grano de maíz, las ventajas de este proceso son las siguientes:

- 51
52 1. Ahorro de agua, ya que solamente se consume la estequiométricamente necesaria para las reacciones
53 químicas de gelatinización parcial de los almidones del grano y de la desnaturalización parcial de las
54 proteínas que forman la cubierta de los gránulos de almidón.
55

- 1 2. Generación nula de aguas residuales de la cocción, ya que solamente el agua que forma parte del
2 producto cocido es la que se utiliza y no un exceso en el que deben cocerse los granos y que se
3 contamina con parte de los productos del grano que se lixivian a ella.
- 4
- 5 3. Ahorro de tiempo ya que solamente se consume el tiempo necesario para realizar las reacciones de
6 los puntos anteriores en partículas pequeñas y no se necesita un tiempo largo para realizar las
7 reacciones de difusión de masa y calor a través de un grano entero.
- 8
- 9 4. Ahorro de energía ya que se da solamente la energía necesaria para realizar estas reacciones y no
10 para calentar una masa excesiva de agua que, después, debe eliminarse.
- 11

12 Para los otros granos y subproductos agroindustriales se tienen ventajas similares a las descritas
13 anteriormente.

14 **Trabajos de investigación que dieron origen a la presente invención**

15 Tomando el ejemplo de la nixtamalización como proceso tradicional para la cocción del maíz para consumo
16 humano directo, desde 1978 se solicitó la patente de un procedimiento que realizara las mismas reacciones
17 químicas que el proceso tradicional de nixtamalización, presentada por: Durán-Domínguez, en 1978. Este
18 procedimiento se basó en los resultados de un proyecto de investigación que se inició en 1969 para generar
19 tecnologías apropiadas para el procesamiento del maíz y otros granos, no solamente en las ciudades para las
20 zonas suburbanas y urbanas sino también en el campo buscando reducir las pérdidas post-cosecha y
21 minimizar los efectos de negativos de la falta de almacenamiento adecuado. Los resultados están plasmados
22 en las conferencias presentadas por: Durán, en 1972 y 1977 y Bazúa, en 1978a,b, 1979 y 1989. Este proyecto,
23 que aún continúa, desembocó de varios paquetes tecnológicos, tanto para generar una tecnología más limpia
24 para producir harinas precocidas y masas listas para preparar tortillas y otros productos alimenticios, como
25 para minimizar la generación de aguas residuales de las tecnologías tradicionales y aprovechar los residuos y
26 esquilmos de los procesos agroindustriales, presentados por Bazúa y Guerra, 1980; Bazúa y col., 1976, 1979;
27 Durán-de-Bazúa, 1987, 1988a,b, 1989, 1996, 1998; Durán-de-Bazúa y col., 1991; Durán-de-Bazúa y Pedroza,
28 1985; Saldaña-Morales, 1987 y otros.

29

30 La extrusión alcalina se ha propuesto para sustituir el cocimiento tradicional del maíz para producir tortillas,
31 tanto a escala industrial como en molinos urbanos y suburbanos y empresas familiares. Para cocer
32 leguminosas como el frijol endurecido y aquéllas que contienen sustancias tóxicas como la *Canavalia*
33 *ensiformis*, grano conocido como “diente de burro”, inactivando los compuestos tóxicos, se utiliza la
34 extrusión ácida. Esta última también se usa para estabilizar subproductos como el salvado de arroz que se
35 descompone en cuestión de minutos por la presencia de enzimas que degradan los ácidos grasos presentes en
36 el salvado y que hacen imposible su aprovechamiento para extraer aceite de calidad nutritiva excelente a
37 partir de este subproducto. Para aprovechar el sorgo que solamente se utiliza como grano forrajero cuando
38 podría usarse para consumo humano directo para producir tortillas de la misma calidad que las hechas con
39 maíz, se utiliza la extrusión alcalina. Información sobre estas aplicaciones está presentada por Alarcón y col,
40 1985; Calderón y col., 1997; Calderón-Villagómez y col., 1995; Camacho y col., 1998; Díaz-Núñez, 1999;
41 Díaz-Núñez y col., 1999, 2001; Guerra y col., 1983; Hernández-Ayala y col., 1996; Nieto y Durán-de-Bazúa,
42 1988; Nieto y col., 1986; Pérez y Rodríguez, 1988; Rangel-Silva y col., 1994; Sánchez-López y col., 1999;
43 Sánchez Tovar y col., 1993, 1997, 2000, 2004; Solís y Durán-de-Bazúa, 1990; Solís-Fuentes y col., 1998;
44 Vara-Flores y col., 1997; Vásquez-Reyes y col., 1990, 1996.

45 **OTRAS PATENTES DE EXTRUSIÓN PARA PRODUCIR MASAS O SÉMOLAS**

46

47 En el Banco Nacional de Patentes, en la página electrónica “Internet” del Instituto Mexicano de la Propiedad
48 Industrial, www.impi.gob.mx, y en la dirección electrónica de la Oficina Europea de Patentes,
49 correspondiente al portal de “Internet” de la Oficina para España
50 <http://es.espacenet.com/search97cgi/s97.cgi.exe?Action=FormGen&Template=es/ES/home.hts>
51 se encontraron más de 250 patentes relacionadas con la extrusión para la producción de cereales instantáneos
52 para el desayuno así como para productos de granos dextrinizados o pastas para sopa. Con respecto a la
53 “masa” o a la “nixtamalización” del primer ejemplo sobre el maíz se encuentran más de 200. La lista de estas
54 patentes se muestra impresa directamente del portal mencionado en el Apéndice A-2. Algunas de ellas tiene
55

1 algunas secciones parecidas a esta innovación, pero ninguna se acerca a la presente invención. Dentro de las
2 más relacionadas con alguna de las partes de la presente invención se tienen las siguientes:

3
4 La patente US4985269, “Continuous extrusion for tortilla chip production”, proceso patentado en el año 1991,
5 define un proceso de extrusión termoalcalina que incluye pocas condiciones de ingeniería, particularmente
6 consumo energético y tiempo de residencia, y que ha sido utilizado por Frito Lay para producir “totopos”
7 triangulares, nombre derivado del náhuatl, que significa "cosa caliente y esponjada" por medio de un extrusor
8 co-rotativo o de doble tornillo; sin embargo, no define si las condiciones de operación son aplicables a
9 cualquier tipo de maíz, ni menciona tampoco otro producto para el que se tenga como fin esta invención
10 además de los totopos. Esta patente utiliza grano entero quebrado y únicamente le es útil el extrusor de doble
11 tornillo o co-rotativo, sus temperaturas de extrusión están por arriba de los 125°C y por debajo de los 200°C,
12 no se definen la presión; pero define la potencia de 300 a 550 Watt hora/kg y esfuerzos cortantes de 70 a 130
13 s⁻¹ que pueden considerarse como muy altos esfuerzos. Se menciona que se utilizan concentraciones de
14 hidróxido de calcio Ca(OH)₂ para alcalinizar del 0.1 al 2.5% produciéndose valores de pH entre 6 y 7, lo cual
15 podría ser un error ya que estos valores de cal darían potenciales hidrógeno mayores en condiciones similares.
16 Estos valores ácidos o neutros podrían deberse a errores del método de medición de pH que utilizaron. En
17 nuestra invención, con concentraciones de 0.5% de Ca(OH)₂ para alcalinizar se obtienen valores por encima
18 de 8 para el pH de las mezclas. La humedad inicial de las materias primas que se alimentan al extrusor
19 tampoco se define. Puede definirse como un proceso de ALTA TEMPERATURA Y ALTO ESFUERZO
20 CORTANTE.

21
22 La patente USSS 5532013 del CINVESTAV-IPN, México, de julio de 1996, “Method for the preparation of
23 instant fresh corn dough or masa” la cual es una patente EXPIRADA por falta de pago, según la información
24 de la Página consultada, reivindicó la producción directamente de MASA FRESCA PARA USO
25 INMEDIATO EN TORTILLADORAS, sin mencionar otros productos como sémolas u hojuelas que pueden
26 conservarse ni usarse para otros fines, como lo plantea nuestra invención. El proceso menciona intervalos de
27 humedades del 25 al 60% sin definir si son en base húmeda o en base seca; cabe mencionar que lo que se
28 define como una verdadera masa no se presenta sino en humedades por arriba del 45% b.s. cuestión que debió
29 haberse comprobado experimentalmente. Al igual que la patente anterior se habla también de utilizar
30 concentraciones de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ para alcalinizar del 0.1 al 2.5% produciéndose valores de pH
31 entre 6 y 7.5 lo cual es también pudiera tener errores de medición, ya que estos valores son ácidos o neutros y
32 con el Ca(OH)₂ para alcalinizar se obtienen valores por encima de 8, cuando se adiciona en concentraciones
33 de 0.5% en base seca o mayores. Se mencionan temperaturas de entre 45 y 60 con máximos de 60 a 95°C. No
34 se definen los valores de los esfuerzos cortantes ni de la presión a que deben operar. Mencionan tiempos de
35 residencia de entre 1.5 a 7 min con las operaciones combinadas de extrusión y enfriamiento. No mencionan
36 cuál es el tiempo promedio de extrusión. Tampoco definen si estas condiciones son aplicables a cualquier
37 tipos de maíz de endospermo duro o tipo criollo, que es el más usado para producir masas y harinas
38 precocidas para tortillas.

39
40 Este grupo también presentó en septiembre de 1996 una segunda patente, la USSS 5558886, “Extrusion
41 apparatus for the preparation of instant fresh corn dough or masa”, la cual repite exactamente todo lo mismo a
42 la anterior, inclusive con las mismas condiciones de operación mencionadas en la anterior. Sin embargo, en la
43 parte de las reivindicaciones, éstas se dirigen a proteger un extrusor diseñado por el grupo, mas no por el
44 proceso.

45
46 El método para producir frituras de tortillas de maíz, Patente US56522010, pretende patentar un proceso
47 precolombino como es la “nixtamalización tradicional”, en una sola línea en extremo ortodoxa. Puede
48 comentarse que este proceso milenario no está completamente definido y que varía inclusive por regiones
49 etnogeográficas. Para mayores referencia consultar a Bressani, 1972; Bressani y col., 1958; Díaz-León y
50 Cruz-León, 1998; Hernández-Xolocotzi, 1990; Illescas, 1943; Wellhausen y col., 1951.

51
52 Con lo que respecta al proceso de esta invención, a diferencia de los anteriores, se tienen características
53 propias que lo hacen versátil y efectivo y, sobre todo, mucho mejor a los ya patentados, ya que no se limita a
54 maíz, sino que pueden procesarse con esta invención sorgo, frijol, otras leguminosas como *Canavalia*
55 *ensiformis*, e incluso, esquilmos agroindustriales, como el salvado de arroz. Se ha probado a nivel de
56 laboratorio, a escala de banco, a nivel prototipo e incluso se han hecho corridas a nivel industrial, lo que ha

1 permitido mostrar su bondad. Se describen en el apartado siguiente sus características pero antes, en los
2 siguientes párrafos, se presentan algunas patentes relacionadas con los otros granos diferentes al maíz para
3 ubicar la originalidad de esta invención que presenta diferencias importantes con respecto de las anteriores
4 patentes, ya que es un proceso de ALTA TEMPERATURA, CORTO TIEMPO DE RESIDENCIA, BAJA
5 HUMEDAD inicial, en b.s., ALTA PRESIÓN Y ALTO ESFUERZO CORTANTE, además de poder operar
6 con humedad suficiente para también producir masas listas para proceso.

7
8 La patente **WO9717858** describe el proceso para producir frijoles refritos instantáneos usando un extrusor de
9 doble tornillo co-rotativo donde el fríjol previamente molido se humidifica por adición de agua potable del 25
10 al 40% de humedad dentro del mismo extrusor y se eleva temperatura hasta 180°C. El uso del extrusor
11 corrotativo es para reducir el esfuerzo cortante en la boquilla o “dado” y así mantener intacta la estructura del
12 gránulo de almidón en la masa final de fríjol, para después proceder al secado. En el proceso presentado en
13 esta invención no es necesario usar un extrusor de doble tornillo ni elevar la temperatura hasta niveles tan
14 altos, que pueden modificar negativamente las características nutritivas de las proteínas de origen vegetal, ya
15 que el contenido de agua adicionado es menor.

16
17 Sobre la extrusión ácida y/o alcalina de esquilmos agroindustriales no se encontraron patentes en la búsqueda
18 realizada, por lo que en esta parte, esta invención es también original.

19 20 **BIBLIOGRAFÍA**

21 Alarcón, A.L., Guerra, R., Pedroza-de-Brenes, R., Nieto-de-Meléndez, Z., Durán-de-Bazúa, C. 1985. Mezclas
22 nixtamalizadas de maíz y sorgo. Evaluaciones en masas y tortillas. Pruebas reológicas y sensoriales. *Tecnol.*
23 *Aliment. Mex.*, **20**, 1, 6-11.

24
25 Bazúa, C.D. de. Global Responsible. 1978a. Corn and Sorghum Tortillas: Chemical and Physical Evaluations.
26 Presentado en Sixth International Cereal and Bread Congress. American Society of Cereal Chemists.
27 Winnipeg, Canadá.

28
29 Bazúa, C.D. de. Global Responsible. 1978b. Opaque-2 Corn Tortillas: Processing Conditions for the Alkaline
30 Cooking Traditional Method. Presentado en Sixth International Cereal and Bread Congress. American Society
31 of Cereal Chemists. Winnipeg, Canadá.

32
33 Bazúa, C.D. de. Global Responsible. 1979. Biological and rheological evaluations for corn-sorghum tortillas.
34 Presentado en **ICEF-2**, Second International Congress on Engineering and Food. Segundo Congreso
35 Internacional Sobre Ingeniería y Alimentos,. American and European Societies of Agricultural Engineers.
36 Agosto. Helsinki, Finlandia.

37
38 Bazúa, C.D. de. Global Responsible,. 1989. Corn and sorghum alkaline extrusion-cooking. A promising
39 technology to solve the food problems of some Latin American countries. Presentado en **ICEF-5**, Fifth
40 International Congress on Engineering and Food. German Federal Research Center for Nutrition. Mayo 29-
41 Junio 2. Colonia, RFA.

42
43 Bazúa, C.D. de, Guerra, R. 1980. Los centros de investigación y educación superior y el desarrollo de
44 agroindustrias. Dos problemas tipo. Parte II. Nuevos productos agrícolas procesados. *Tecnol. Aliment. Mex.*,
45 **15**, 6, 4-16.

46
47 Bazúa, C.D. de, Guerra, R., Rodríguez, A. 1976. High-lysine corn traditional Mexican products. Presentado
48 en **ICEF-1**, First International Congress on Engineering and Food. American Society of Agricultural
49 Engineers. Agosto. Boston, Massachusetts, EEUUA.

50
51 Bazúa, C.D. de, Guerra, R., Sterner, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime-heat corn flour for
52 tortilla preparation. *J. Food Sci.*, 44, 3, 940-941.

- 1 Bressani, R. 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. En R.
2 Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Pub. INCAP L-3, p. 5-30.
3 Guatemala, INCAP.
4
- 5 Bressani, R., Paz y Paz, R., Scrimshaw, N.S. 1958. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. J.
6 Agric. Food Chem., 6:770-77
7
- 8 Calderón, H., Durán-de-Bazúa, C., Nieto, Z., Pedroza, R., Solís, J. 1997. Alkaline extrusion cooking applied
9 to better food processing. Case histories: Beans, maize, and rice by-products. **Achema 97, International**
10 **Meeting on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology**. Deutsche Gesellschaft
11 für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V. Junio 9-14. Frankfurt, RFA.
12
- 13 Calderón-Villagómez, H.E., Castellanos-Hernández, M.T., Durán-de-Bazúa, C., Luna-Pabello, V.M., Paredes,
14 L., Pedroza-Islas, R., Rojano, F.I., Rosas, C., Rullán, A., Sánchez, A., Solís-Fuentes, J.A., Yamamoto, A.
15 1995. Handling, stabilization and disposal of agroindustrial residues. Case problems: maize, rice, and coffee
16 industries / Manejo, estabilización y disposición de residuos agroindustriales. Casos tipo: Industrias del maíz,
17 el arroz y el café. En Proceedings of the **THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WASTE**
18 **MANAGEMENT PROBLEMS IN AGRO-INDUSTRIES**. Germán Buitrón, Ed. Pub. ISSSTE. Pp. 252-263.
19 México D.F. México.
20
- 21 Camacho, M.E., Nieto-Villalobos, Z., Morales-de-León, J., and Durán-de-Bazúa, C. 1998. Estudios *in vivo* de
22 dietas de harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz, sorgo y mezclas 60:40 maíz:sorgo con diferentes
23 concentraciones de calcio. Informe de proyecto de investigación. MA-SO-01-98. UNAM, Facultad de
24 Química. México D.F. México.
25
- 26 Díaz-León, M.A., Cruz-León, A. Compiladores. 1998. **Nueve mil años de agricultura en México.**
27 **Homenaje a Efraim Hernández Xolocotzi**. 1ª. Ed. Grupo de Estudios Ambientales, A.C. Pub. Universidad
28 Autónoma Chapingo. ISBN 968-884-514-0. Chapingo, Méx. México.
29
- 30 Díaz-Núñez, M.C. 1999. Estudio de prefactibilidad técnico-económica de una línea de extrusión alcalina para
31 harinas y/o masas precocidas de maíz para tortillas. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México
32 D.F. México.
33
- 34 Díaz-Núñez, M.C., Sánchez-Tovar, S.A. Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, C. 1999.
35 Evaluación técnico-económica de una línea de producción de harinas y masas para tortillas de maíz
36 elaboradas por extrusión termoalcalina. Presentado en la Convención Nacional del Instituto Mexicano de
37 Ingenieros Químicos. León, Guanajuato, México.
38
- 39 Díaz-Núñez, M.C., Sánchez-Tovar, S.A. Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, C. 2001.
40 Factibilidad económica de una línea de producción de harina de maíz para tortillas usando extrusión
41 termoalcalina. Revista IMIQ **Méx**, **42**, 1-3, 24-33.
42
- 43 Durán, C. 1972. Extrusion of corn, *Zea mays*, for "tortilla" preparation. Proyecto de investigación interno.
44 Departamento de Ciencias de la Nutrición. Universidad de California. Berkeley, EEUUA.
45
- 46 Durán, C. 1977. Sorgo como fuente potencial de alimentos: Mezclas de maíz-sorgo como productos
47 tradicionales. Informe interno de investigación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SARH.
48 Chapingo, Méx., México.
49
- 50 Durán-de-Bazúa, C. 1987. Effluents of the food industry in Mexico: Environmental impacts on soil and water
51 resources and possible solution using the biotechnological approach. Case problem: The corn industry. En
52 **"BIOTECHNOLOGY APPLIED TO ENVIRONMENTAL PROBLEMS. GLOBAL BIO-**
53 **CONVERSIONS"**. VOL. II. Chapter 2. Pp. 75-119. CRC Press Inc. ISBN 0-8493-4509-x. Boca Raton, FL.
54 EEUUA.
55

- 1 Durán-de-Bazúa, C. 1988a. Recycling of corn processing wastes / Reaprovechamiento de efluentes de la
2 industria del maíz. C. *Informe Final de Proyecto .1987.*, 100 pags. Pub. UNAM/UNEP. ISBN 968-36-1644-
3 5. Impresora Azteca, S.A de C.V. México D.F. México.
4
- 5 Durán-de-Bazúa, C. 1988b. Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. *Monografía*
6 *Tecnológica No. 2.* Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. O.E.A. 71 pags. Pub.
7 UNAM-Proy. Multinal. Tecnol. Alimentos. ISBN 968-36-0576-1. México D.F. México.
8
- 9 Durán-de-Bazúa, C. 1996. La extrusión alcalina, una tecnología útil para procesar granos. *Industria*
10 *Alimentaria*, **18.6.**:20,22,24-25,28-29.
11
- 12 Durán-de-Bazúa, C. 1998. Concepts on energy savings in the agroindustry-food chain. **Sustainable**
13 **agriculture for food, energy, and industry: strategies towards achievement.** Proceedings of the
14 International Joint Conference, Braunschweig, RFA. Panel session “*ENERGIZING THE FOOD*
15 *PRODUCTION CHAIN FOR THE ATTAINMENT OF FOOD SECURITY*”. Eds. N. El Bassam, R.K. Behl y
16 B. Prochnow. Vol. 2, pp. 722-725. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Society of
17 Sustainable Agriculture and Resource Management, Hisar, India, Federal Agricultural Research Center,
18 Braunschweig, RFA. Junio 22-28, 1997. James X James Sci. Pub. Ltd. ISBN 1 873936 76 1. Londres,
19 Inglaterra.
20
- 21 Durán-de-Bazúa, C., Pedroza, R. 1985. Laboratory performance of a rotating biological contactor RBC, for
22 nejayote corn processing wastewater, biological degradation. Presentado en **ICEF 4, FOURTH**
23 **INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD.** Universidad de Alberta. Julio 4-11.
24 Edmonton, Canadá.
25
- 26 Durán-de-Bazúa, C., Pedroza, R., Peña, S., Solís, J., Almaraz, Y., Burgos, A.I., Calderón, H.E., Jiménez,
27 R.R., Nájera, H., Rullán, A., Yamamoto, A., Zapata, V. 1991. Food extrusion, applications for foods and
28 feeds in third world countries *Canavalia ensiformis*, rice bran, microbial protein,. Presentado en **8th World**
29 **Congress of Food Science and Technology.** Canadian Institute of Food Science and Technology,
30 International Union of Food Science and Technology. Sept. 30-Oct. 4. Toronto, Canadá.
31
- 32 Durán-Domínguez, Carmen. 1978. **PROCEDIMIENTO PARA COCER MAÍZ POR EXTRUSIÓN.**
33 Registro: Abril 7, 1978. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de
34 Patrimonio y Fomento Industrial. México. Núm. Registro Patente 172126. México D.F. México.
35
- 36 Guerra, R., Rodríguez, A., Durán-de-Bazúa, C. 1983. Extrusion of high-lysine corn and applications in
37 Mexican foods. *Trans. ASAE*, 26.2,:618-623.
38
- 39 Hernández-Ayala, E., Nieto-Villalobos, Z., Durán-de-Bazúa, C. 1996. Determinación del efecto de la
40 nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutricio en tortillas de maíz y sorgo, parte II:
41 CONTENIDO DE TRIPTOFANO Y NIACINA. *Industria Alimentaria*, **18.3.**:45-48.
42
- 43 Hernández-Xolocotzi, E. 1990. Comunicación personal. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo,
44 Méx. México.
45
- 46 Illescas, R. 1943. La teoría química de la formación del nixtamal. *Revista de la Sociedad Mexicana de*
47 *Historia Natural*, 4, 3-4, 129-136.
48
- 49 Nieto, Z., Durán-de-Bazúa, C. 1988. Protein quality evaluations of sorghum products for human consumption
50 using biological tests, NPU and PER. *Chimica Oggi*, 6, 3, 55-58.
51
- 52 Nieto, Z., Durán-de-Bazúa, C., Laso, F., Núñez, V. 1986. Calidad molinera de mezclas de maíz y sorgos
53 perlado e integral. *Tecnol. Aliment. Mex.*, **21**, 2, 17-21.
54

- 1 Pérez, R., Rodríguez, J. 1988. Estudio de las características reológicas de tortillas de maíz, sorgo y sus
2 mezclas. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México. Premio IMIQ-México,
3 1988.
4
- 5 Rangel-Silva, M., Sánchez-Tovar, S.A., Durán-de-Bazúa, C. 1994. El maíz, *Tlaolli*, y el amaranto, *Huautli*,
6 dos granos vitales para los mexicanos: Su procesamiento usando tecnologías más limpias. Presentado en el
7 **Primer Congreso Mexicano de Etnobiología**. Asociación Etnobiológica Mexicana, A.C. y Universidad
8 Autónoma del Estado de México. Agosto 10-12. Toluca, Mex., México.
9
- 10 Saldaña-Morales, M.V. 1987. Comparación química y biológica de mezclas de maíz y sorgo nixtamalizadas y
11 extrudidas. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
12
- 13 Sánchez-López, L., Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, C. 1999. La estabilización del salvado de arroz
14 mediante tratamiento combinado químico dieléctrico. *Industria Alimentaria*, **21**, 6, 13,15-18,20.
15
- 16 Sánchez-Tovar, S., Calderón-Villagómez, H. y Durán-de-Bazúa, C. 1993. Extrusión alcalina de maíz blanco y
17 amarillo, evaluaciones reológicas y sensoriales de masas y tortillas. Vol. 3. Serie: Tecnologías más limpias. Pub.
18 Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental. Facultad de Química. UNAM. ISBN 968-
19 36-3322-6. 184 p. México D.F. México.
20
- 21 Sánchez Tovar, S.A., Calderón, H.E., Durán-de-Bazúa, C. 1997. Alkaline extrusion of cornmeals for tortilla
22 production: Rheological and sensory relationships. Presentado en **ICEF-7, SEVENTH INTERNATIONAL**
23 **CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD / SÉPTIMO CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE**
24 **INGENIERÍA Y ALIMENTOS**. International Association for Engineering and Food, European Society of
25 Agricultural and Mechanical Engineers. Abril 13-17. Brighton, Inglaterra.
26
- 27 Sánchez-Tovar, S.A. Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, C. 2000. Cinética de reacción
28 para la gelatinización bajo tratamiento térmico alcalino de almidón de maíz en un extrusor considerado como
29 un reactor continuo de flujo tipo pistón. *Tecnol. Ciencia Ed. IMIQ, México*, 15, 2, 94-103.
30
- 31 Sánchez-Tovar, S.A., Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., Durán-de-Bazúa, C. 2004. Viscoamylographic
32 studies on *Zea mays* corn starch [Mexican white Tuxpeño maize] partial gelatinization with calcium
33 hydroxide. *Starch-Stärke*, 56, 11, 526-534.
34
- 35 Solís, J.A., Durán-de-Bazúa, C. 1990. Estudio del efecto de la extrusión sobre la estabilidad y calidad nutricia
36 de esquilmos agropecuarios y subproductos agroindustriales. Caso tipo: Extrusión de salvado de arroz. En
37 Memorias de la **XXX Convención Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos**. Pub. IMIQ.
38 Eds. A. Anaya, O. Canales, H. Gómez, J. Bellido, L. Miramontes. Guadalajara, Jal. Tomo I. Pp. 86-94.
39
- 40 Solís-Fuentes, J.A., Castellanos-Hernández, M.T., Jiménez-Bermúdez, M., Méndez-Dauzón, J., Rojano-
41 Hernández, F.I., Sánchez-López, L., Durán-de-Bazúa, C. 1998. Residuos agroindustriales, su potencialidad de
42 uso, cinco ejemplos. *Vol. 4, Serie: TECNOLOGÍAS más LIMPIAS*. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím.
43 Amb. 154 pags. Facultad de Química, UNAM. ISBN 968-36-6748-1. México D.F. México.
44
- 45 Vara-Flores, E., Nieto-Villalobos, Z., Durán-de-Bazúa, C. 1997. Extrusión alcalina de frijol endurecido, usos
46 potenciales en la industria alimentaria. *Industria Alimentaria*, **19**, 6, 12-18.
47
- 48 Vásquez-Reyes, V.M., Durán-de-Bazúa, C., Gallardo-Navarro, Y., Jiménez-García, E. 1990. Estudio sobre el
49 efecto del procesamiento térmico-alcalino en el contenido de vitaminas tiamina, niacina y riboflavina, en
50 sorgos blanco 86 y rojo decortinado. *Alimentos, CHILE Y LATINOAMÉRICA*, 15, 5, 23-29.
51
- 52 Vásquez-Reyes, V.M., Martínez, L., Durán-de-Bazúa, C. 1996. Determinación del efecto de la
53 nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutricio en tortillas de maíz y sorgo, parte I: Contenido
54 de tiamina, niacina y riboflavina. *Industria Alimentaria*, **18**, 2, 24-25,28-29,31-34.
55

1 Wellhausen, E.J., Roberts, L.M., Hernández-Xolocotzi, E. con la colaboración de Mangelsdorf, P.C. 1951.
2 **Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución.** Folleto Técnico No. 5. SAG, OEE.
3 237 pags. México D.F. México.
4

5 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

6 El presente proceso se realiza con diferentes granos y subproductos y esquilmos agroindustriales. A
7 continuación, por ser el proceso que se ha encontrado en forma más amplia en la bibliografía de patentes
8 consultada, se da el ejemplo del maíz y, específicamente, del conocido como “maíz criollo”, el más apto para
9 realizar la elaboración de tortillas, *Zea mays*., de endospermo duro, el cual contiene de 25 a 35% de amilosa y
10 el resto del almidón está presente como amilopectina. En éste se presenta la opción de utilizar un cereal, el
11 segundo en orden de importancia en México, el sorgo como posible grano para producir tortillas. También se
12 dan dos ejemplos adicionales sobre una leguminosa que posee compuestos antinutricios y del salvado de arroz
13 un subproducto del beneficio del arroz. El proceso general se describe a continuación. En el Anexo se muestra
14 los diagramas de flujo en las Figuras 1,2 y 3.
15

16 **PROCESO PARA PRODUCIR HOJUELAS EXTRUDIDAS TERMOALCALINAMENTE A PARTIR** 17 **DE MAIZ INTEGRAL Y/O DE MEZCLAS DE MAIZ INTEGRAL-SORGO AL 70-30 Y 80-20% EN** 18 **PROPORCIÓN PESO A PESO, RESPECTIVAMENTE O, INCLUSO, DE SORGO AL 100%:** 19

20 El Paso 1 consiste en limpiar el maíz y/o el sorgo por medio de una cernidora de cualquier marca,
21 representada por CE-101, para eliminar “tamo”, granos rotos y cualquier clase de grano dañado o de basura.
22 Ya limpio el grano se alimenta en una tolva dosificadora, también de cualquier marca, representada por TV-
23 101.
24

25 El paso 2 consiste en introducir el grano después de la tolva para a un molino donde se reduce a una malla de
26 200-250 en un molino de discos, tambor o martillos MD-101, de cualquier marca. Se le determina su
27 humedad en base seca. Esta sémola integral de maíz o de sorgo o de sus mezclas es la que se alimenta al
28 extrusor una vez realizado el pasos 3.
29

30 El paso 3 consiste en preparar una “lechada de cal” apagada, hidróxido de calcio con agua, Ca(OH)_2 , del 0.1
31 al 0.9% b.s., según el tipo de maíz, usando agua con la que “humedece” la sémola integral de maíz para
32 asegurar un contenido de humedad entre 24.0% y 30.0%, en base seca, y un contenido de hidróxido de calcio
33 entre 0.1% y 0.5%, en base seca, dependiendo también del tipo de maíz que se use. Esta suspensión se
34 dosifica a la salida del molino por medio de una bomba dosificadora, de diafragma o peristáltica, de cualquier
35 marca, representadas por FA-101 y BD-101, homogeneizando la mezcla con una mezcladora de cualquier tipo
36 o marca, durante 5 a 10 minutos dependiendo de la cantidad de agua que se adicione.
37

38 El paso 4 consiste en transportar la sémola o harina húmeda y alcalinizada por medio de un transportador de
39 gusano o banda, de cualquier tipo o marca, representado por TC-101, o incluso manualmente a un extrusor, de
40 cualquier tipo o marca, de un solo tornillo o de dos tornillos. Tomando el ejemplo de un extrusor de bajo
41 costo, tipo CIATECH de un solo tornillo, que procesa entre 50 y 100 kg/h, cuyo tornillo gira a 550-850 rpm,
42 que cuenta con resistencias de banda para tener una fuente de calor homogénea que dé un precalentamiento a
43 50-60°C y una temperatura a la salida en la boquilla o “dado”, de 105-125°C. Se tienen tiempos de residencia
44 en el reactor o extrusor de 30 a 50 segundos. La abertura de la salida o “dado” considerado, que es del tipo de
45 cono truncado, es de 0.5-1.0 cm.
46

47 El paso 5 consiste en obtener del proceso de extrusión hojuelas de 0.01 a 5.0 cm x 0.01 a 1.0 cm de espesor,
48 aproximadamente. Estas hojuelas tienen una humedad en base seca entre 16.0 y 21.0% b.s. Estas hojuelas
49 pueden secarse hasta una humedad en base seca de $10.0 \pm 1.0\%$ b.s. por cualquier método de secado y en
50 cualquier tipo de secador y, posteriormente, remolerse a tamaños de malla 200-250 para almacenarse y
51 después utilizarse para producir masas y tortillas, como sigue.
52

53 El paso 6 consiste en humedecer la harina precocida entre 45.0 y 60.0% b.s., dependiendo del tipo de grano
54 del que se obtuvo para que tenga características similares a la masa de maíz nixtamalizado.
55

1 El paso 7 consiste en tortear la masa para preparar tortillas y cocerlas en un comal, palabra de origen náhuatl
2 para designar a las superficies calientes sobre las cuales se cuecen las tortillas o emplear cualquier tipo de
3 máquina tortilladora manual o automática para hacer tortillas y cocerlas. Con las masas pueden prepararse
4 otros productos de maíz como tamales, atole, etc., que ahora podrán tener una proporción de sorgo desde cero
5 hasta 100 por ciento, sin importar que este grano sea muy pequeño ya que el proceso permite su
6 aprovechamiento integral, especialmente de las variedades con bajo contenido de taninos y polifenoles,
7 desarrolladas en México.

8
9 La Figura 1 es representativa de este proceso.

10
11 Ahora se presenta otro ejemplo de la aplicación de esta invención, tomando ahora a un grano tipo leguminosa.

12 13 **PROCESO PARA PRODUCIR HARINA DE FRIJOL PRECOCIDO A PARTIR DE FRIJOL TIPO** 14 ***Canavalia ensiformis* EXTRUDIDO**

15
16 El paso 1 consiste en limpiar el frijol canavalia por medio de una cernidora, CE-101, de cualquier tipo y/o
17 marca, para eliminar “tamo” de basura. Ya limpio se alimenta en una tolva dosificadora de cualquier tipo y/o
18 marca, representada por TV-101.

19
20 El paso 2 consiste en moler el grano en cualquier tipo y/o marca de molino que permita obtener sémolas y/o
21 harinas determinando la humedad de la sémola molida para definir el siguiente paso de humidificarla
22 previamente al paso de alimentarla al extrusor.

23
24 El paso 3 consiste en preparar una solución de ácido clorhídrico en agua con la que se “humedece” la sémola
25 o harina de frijol para asegurar un contenido de humedad del 25.0% al 30.0% en base seca y un contenido de
26 HCl del 0.1% al 0.5% en base seca, dependiendo del tipo de frijol que se use. Esta suspensión se dosifica a la
27 salida del molino por medio de una bomba dosificadora de diafragma o peristáltica, representada por: FA-
28 101. La mezcla se homogeniza con cualquier tipo de mezcladora durante 5 a 10 minutos, dependiendo del tipo
29 de frijol empleado.

30
31 El paso 4 consiste en transportar la sémola o harina de frijol por medio de un transportador de gusano de
32 cualquier marca y/o tipo, TC-101, a un extrusor de cualquier tipo y/o marca, de uno o dos tornillos,
33 representado por EX101. Tomando el ejemplo de un extrusor de bajo costo, tipo CIATECH que procese entre
34 50 y 100 kg/h, cuyo tornillo gira a 650 rpm, que cuenta con resistencias de banda para tener una fuente de
35 calor homogénea, que dé un precalentamiento a 60°C y que permita una temperatura a la salida, en la boquilla
36 o “dado” de 105-120°C. Se tienen tiempos de residencia en el reactor o extrusor de 30 a 35 segundos. La
37 abertura de la salida o “dado”, de tipo de cono truncado, considerada es de 0.5 a 1.0 cm.

38
39 El paso 5 consiste en realizar el secado y remolienda de las hojuelas obtenidas del proceso de extrusión, del
40 que se obtienen hojuelas de 0.01 cm x 2.0cm de largo y ancho respectivamente y de aproximadamente 0.01 a
41 1.0 cm de espesor, aproximadamente. Estas hojuelas tienen una humedad en base seca entre 18.0 y 20.0%. y
42 pueden secarse hasta una humedad en base seca de 10.0±1.0% por cualquier método de molienda y secado
43 empleando cualquier marca o tipo de equipos.

44
45 El paso 6 consiste en almacenar las harinas en bolsas de papel encerado o plástico inocuo para su posterior
46 preparación en mezclas con maíz, sorgo u otros cereales produciendo tortillas o tamales tipo *tlacoyo* o
47 *tlatlaoyo*, palabras de origen náhuatl que significan una especie de empanada hecha de una tortilla gruesa de
48 forma oblonga o triangular que se rellena con masa de frijol y/o yerbas comestibles o para utilizarse en
49 piensos o forrajes de animales como una fuente de proteína y carbohidratos, ya sin los compuestos tóxicos.
50 Para otras variedades de leguminosas que tengan problemas de endurecimiento este proceso es especialmente
51 benéfico ya que su consumo de energía por unidad de masa es muy bajo y permite obtener sémolas precocidas
52 de excelente calidad.

53
54 La Figura 2 es representativa de este proceso.

1 El último ejemplo que se dará de esta invención es de la estabilización de salvado de arroz para su uso
2 posterior en otros procesos.

3 4 **PROCESO PARA LA ESTABILIZACIÓN A PARTIR DE SALVADO DE ARROZ EXTRUDIDO** 5 **ÁCIDAMENTE**

6
7 El paso 1 consiste en limpiar el salvado de arroz por medio de una cernidora representada por CE- 101, de
8 cualquier tipo y/o marca, para eliminar “tamo” o basuras. Ya limpio se alimenta en una tolva dosificadora,
9 TV-101, de cualquier tipo y/o marca.

10
11 El paso 2 consiste en determinar su humedad en base seca. Este salvado de arroz se humidificará y se
12 alimentará al extrusor de acuerdo con los siguientes pasos.

13
14 El paso 3 consiste en preparar una solución de ácido clorhídrico o muriático, como se conoce industrialmente,
15 en agua con la que se “humedece” el salvado de arroz para asegurar un contenido de humedad del 25.0% al
16 30.0% en base seca y un contenido de HCl del 0.1% al 0.5% en base seca, dependiendo del tipo de salvado de
17 arroz que se use. Esta suspensión se dosifica a la salida del molino por medio de una bomba dosificadora de
18 diafragma o peristáltica, representada por FA-101, de cualquier tipo o marca. La mezcla se homogeniza con
19 una mezcladora de cualquier tipo o marca durante 5 a 10 minutos.

20
21 El paso 4 consiste en transportar el salvado de arroz húmedo y acidificado por medio de un transportador de
22 gusano, representada por TC-101, de cualquier tipo, a un extrusor de cualquier tipo o marca, de un solo
23 tornillo o de dos tornillos. Tomando el ejemplo de un extrusor de bajo costo, tipo CIATECH de 50 a 100 kg/h,
24 cuyo tornillo gira a 650 rpm, que cuenta con resistencias de banda para tener una fuente de calor homogénea
25 que dé un precalentamiento a 60°C y una temperatura a la salida en la boquilla o “dado” de 105-130°C. Se
26 tienen tiempos de residencia en el reactor o extrusor de 30 a 55 segundos. La abertura de la salida o “dado”,
27 que es un cono truncado, considerada es de 0.5-1.0 cm.

28
29 El paso 5 consiste en secar y moler las hojuelas obtenidas del extrusor, que tienen dimensiones de 0.01 a 2.0
30 cm de largo por 0.01 a 1.0 cm de ancho para su procesamiento posterior. Estas hojuelas tienen una humedad
31 en base seca entre 18.0 y 20.00% y pueden secarse hasta una humedad en base seca de 10.0±1.0% por
32 cualquier método de secado, con cualquier equipo comercial.

33
34 El paso 6 consiste en almacenar las harinas para su posterior procesamiento como es la extracción del aceite
35 comestible y/o la preparación de alimentos ricos en vitaminas del complejo B y fibra como galletas, panes
36 “integrales” y otros alimentos o para utilizarse en dietas balanceadas para animales.

37
38 La Figura 3 es representativa de este proceso.

39 40 **REIVINDICACIONES DE LA INVENCION**

41 **Reivindicación 1.** Proceso de extrusión termoalcalina de granos como maíz, sorgo o cualquier semilla
42 comestible, así como la extrusión térmico-ácida de esquilmos agroindustriales como el salvado de arroz y de
43 granos que contienen sustancias tóxicas en forma natural que impiden su consumo humano o forrajero que
44 consta de:

- 45 a) Limpiar mediante una cernidora de cualquier tipo y de cualquier marca los granos enteros y molerlos
46 con cualquier tipo de molino de cualquier marca, hasta obtener un molido de textura fina tipo polvo
47 o harina seca.
- 48 b) Mezclar los granos o harinas molidas con solución alcalina, que puede ser de cal grado alimenticio,
49 usando una mezcladora de cualquier tipo y de cualquier marca o manualmente, según se requiera
50 hasta obtener una harina húmeda que aún conserva sus características granulares.
- 51 c) Acidificar los esquilmos o los granos limpiados previamente con cualquier cernidora de cualquier
52 marca, ya sean enteros o molidos con cualquier tipo de molino de cualquier marca mezclándolos con
53 cualquier tipo de mezcladora de cualquier marca o manualmente, con solución ácida, que puede ser
54 de ácido clorhídrico, y dejarlos reposar el tiempo necesario, según el tipo de producto a elaborar.
- 55 d) Extrudir empleando equipos conocidos como extrusores, siempre y cuando operen a condiciones que
56 permitan tener altos esfuerzos cortantes y presiones altas a la salida del extrusor; además de alta

- 1 temperatura y baja humedad; así como corto tiempo de residencia. En casos especiales que se
2 requiera de obtener masas directamente, se aumentará el contenido de humedad para que éstas salgan
3 con el contenido de agua necesario para procesarlas directamente para otros usos dando un tiempo de
4 proceso mayor dependiendo del contenido de humedad deseable en el producto extrudido.
- 5 e) Obtener hojuelas o conglomerados de baja humedad los cuales se someten a secado por cualquier
6 método para mejorar sus propiedades de conservación.
 - 7 f) Moler las hojuelas o conglomerados extrudidos para producir sémolas o harinas que se pueden
8 almacenar durante varios meses en empaques plásticos o de papel encerado o plastificado en un
9 almacén fresco y a baja humedad ambiental.
 - 10 g) Tomando como ejemplo el maíz como grano preferido, originario de México, y el sorgo, grano de
11 origen extranjero pero ya perfectamente adaptado a las condiciones de México, las hojuelas
12 precocidas y estabilizadas que pueden remolerse e hidratarse para obtener harinas precocidas
13 estables que se utilizan para la elaboración de masas y tortillas. También puede introducirse más
14 agua durante el proceso de extrusión para que se obtengan masas frescas, las cuales pueden utilizarse
15 en forma directa para producir tortillas, tamales y otros productos tradicionales mexicanos. Estos
16 productos pueden ser de maíz 100%, de sorgo 100% o de mezclas de ambos, usando en el caso del
17 sorgo preferentemente los granos mejorados producidos por la investigación mexicana con bajos
18 contenidos de taninos y polifenoles.
 - 19 h) Tomando como ejemplo el frijol, otro grano originario de México, puede procesarse por extrusión
20 ácida para reducir el consumo energético, especialmente cuando el grano está endurecido, generando
21 sémolas que pueden emplearse en productos tradicionales mexicanos. También puede usarse para
22 procesar leguminosas que contengan sustancias tóxicas en forma natural como la canavalina o la
23 canavanina, que se descomponen en este proceso de extrusión ácida y que permiten aprovechar las
24 sémolas resultantes para alimentos balanceados para animales o incluso para consumo humano, al
25 igual que las sémolas de frijol.
- 26

27 **Reivindicación 2.** Proceso de extrusión termoalcalina y/o térmico ácida de acuerdo con la reivindicación 1
28 inciso (d), es térmico ya que aprovecha el calor generado en forma autógena por la fricción y la presión del
29 material introducido al equipo, sobre todo en la etapa de expulsión del equipo, a través de los orificios de
30 salida conocidos como boquillas o “dados”. También se pueden usar sistemas auxiliares para mantener la
31 temperatura del proceso constante, como las resistencias eléctricas de banda de 30 kilowatts o “camisas” a las
32 que se inyecta vapor de agua saturado o sobrecalentado para tener temperaturas de 120 a 130°C. La
33 temperatura puede controlarse digitalmente por medio de sensores o termopares comerciales permitiendo
34 tener un control más preciso de la temperatura de cocción en el equipo. Para garantizar un ahorro de energía,
35 el extrusor comercial debe estar aislado por medio de lana de fibra de vidrio o lana mineral evitando pérdidas
36 de energía por radiación y que éstas sean menores del 1-2% de la energía térmica aplicada, para su máximo
37 aprovechamiento. Incluye dentro del equipo de extrusión una zona de precalentamiento definida por el
38 fabricante del equipo, que puede ser de 25 al 30% de la longitud total del tornillo en la que, por medio de una
39 resistencia eléctrica de banda o una camisa de vapor de agua, se garantiza una temperatura de 30 a 60°C en las
40 harinas o sémolas húmedas que son extrudidas.

41

42 **Reivindicación 3.** Proceso de extrusión termoalcalina de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (b), es alcalino,
43 cuando para aprovechar la ventaja química de tener una base débil, incluye la adición de hidróxido de calcio,
44 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, grado comestible, conocido como grado “nixtamal”, ya que esto reduce costos, aunque puede
45 usarse grado analítico. En cualquier caso debe tener un tamaño de partícula con una malla de 200-250 y con
46 una humedad no mayor a 1% en base seca. Esta adición da variaciones en el valor del potencial hidrógeno de
47 las sémolas, pH, de entre 8 y 14, mejorando su valor nutritivo y sus características de conservación. Los
48 ejemplos presentados son los casos del maíz y el sorgo.

49

50 **Reivindicación 4.** Proceso de extrusión térmica ácida de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (c), es ácido,
51 cuando, para aprovechar la ventaja química de tener un ácido diluido, incluye la adición de ácido clorhídrico
52 conocido comercialmente como muriático, HCl. Esta adición da variaciones en el valor del potencial
53 hidrógeno de las sémolas, pH, de entre 4 y 6, mejorando su valor nutritivo y sus características de
54 conservación. Los ejemplos presentados son los casos del salvado de arroz y el frijol canavalia.

55

1 **Reivindicación 5.** Proceso de extrusión térmico alcalino, de acuerdo a la reivindicación 1 incisos (a) y (b), se
2 utilizan granos integrales de los que no se remueve el pericarpio o cascarilla durante la molienda inicial, la
3 cual se realiza con cualquier tipo de molino de cualquier marca; ya que esto desde el punto de vista nutricio
4 aumenta el contenido de fibra dietética y desde el punto de vista reológico aumenta la plasticidad del flujo
5 granular anterior a la zona de cocimiento y del flujo plástico no newtoniano en la zona de cocimiento del dado
6 o boquilla.

7

8 **Reivindicación 6.** Proceso de extrusión térmica ácida, de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (c), se utilizan
9 esquilmos enteros o molidos o granos tipo leguminosa u oleaginosa de cualquier clase, empleando cualquier
10 tipo de molino de cualquier marca.

11

12 **Reivindicación 7.** Proceso de extrusión térmica alcalina y/o térmica ácida de acuerdo a la reivindicación 1
13 incisos(d), y (e), operando a baja humedad, sean las condiciones de extrusión ácidas o alcalinas. La materia
14 prima que se alimenta al extrusor se humedece entre el 20.0 y 35.0% en base seca dependiendo de las
15 condiciones previas del grano; a manera de que se mantengan como harinas húmedas sin perder su
16 consistencia granular. La humedad de las materias primas por debajo del 20.0%, en b.s., dificultará el flujo en
17 el extrusor y producirá la "fusión" de los gránulos de almidón y la desnaturalización excesiva de las proteínas
18 y grasas formando compuestos secundarios como los de las reacciones de Maillard que darán mal sabor o
19 inducirán la rancidez oxidativa. Una humedad superior al 35.0%, en b.s., en las materias primas daría
20 características plásticas al fluido dentro del extrusor haciéndolo más parecido a una masa, lo que no permitiría
21 alcanzar el grado de gelatinización del almidón adecuado para los usos posteriores de los productos
22 extrudidos en tiempos cortos de residencia en el interior del extrusor, de menos de un minuto. Si se desean
23 obtener masas listas para el siguiente proceso es necesario al aumentar el contenido de humedad aumentando
24 el tiempo de proceso a un poco más de un minuto para lograr el grado de gelatinización deseable en esas
25 masas listas para procesarse. Los esquilmos al ser procesados con contenidos de humedad relativamente
26 bajos, tampoco pierden su estructura de cascarilla húmeda, ni se vuelven pastosos ni con consistencia de una
27 masa ya que en este caso se desea inactivar enzimas indeseables y aumentar la vida de anaquel de los
28 productos extrudidos obtenidos.

29

30 **Reivindicación 8.** Proceso de extrusión termoalcalina y/o térmico-ácida de acuerdo a la reivindicación 1
31 incisos (d) y (e) se considera en lo general, como de EXTRUSIÓN SEMISECA o DE HUMEDAD
32 INTERMEDIA o de HUMEDAD LIGERAMENTE ALTA, modificando el tiempo de proceso en función de
33 la humedad de salida deseable, ya que son directamente proporcionales.

34

35 **Reivindicación 9.** Proceso de extrusión termoalcalina y/o térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1
36 inciso (d), el tiempo de residencia de la materia prima durante la extrusión tanto en la zona de
37 precalentamiento no debe de ser mayor a 30 a 90 segundos y en el dado u orificio de 5 a 15 segundos por lo
38 que se pueden considerar, en lo general, como de EXTRUSIÓN DE CORTO TIEMPO DE RESIDENCIA.

39

40 **Reivindicación 10.** Proceso de extrusión termoalcalina y/o térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1
41 inciso (d), se alcanzan presiones manométricas entre 10 y 20 bares; cuando la humedad inicial es baja, lo que
42 permite desarrollar esfuerzos cortantes entre 180 y 250 s⁻¹, por lo que se pueden considerar en lo general
43 como de EXTRUSIÓN DE ALTA PRESIÓN Y ALTO ESFUERZO CORTANTE. Si se desea aumentar la
44 humedad inicial deberá aumentarse el tiempo de residencia manteniendo una alta presión y un alto esfuerzo
45 cortante.

46

47 **Reivindicación 11.** Proceso de extrusión termoalcalina, de acuerdo a la reivindicación 1 incisos (a), (b) y (e)
48 se producen hojuelas o sémolas extrudidas termoalcalinamente a partir de maíz integral y/o de mezclas de
49 maíz integral-sorgo al 70-30 y 80-20% en proporción peso a peso, respectivamente o, incluso, de sorgo al
50 100%.

51

1 **Reivindicación 12.** Proceso de extrusión termoalcalina, de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (a), se debe
2 limpiar el maíz y/o el sorgo por medio de una cernidora de cualquier marca, representada por CE-101, para
3 eliminar “tamo”, granos rotos y cualquier clase de grano dañado o de basura. Ya limpio el grano se alimenta
4 en una tolva dosificadora, también de cualquier marca, representada por TV-101.
5

6 **Reivindicación 13.** Proceso de extrusión termoalcalina, de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (a) Los granos
7 enteros se muelen en un molino de cualquier tipo o marca, donde se reduce a una malla de 200-250 en un
8 molino de discos, tambor o martillos MD-101, de cualquier marca. Se le determina su humedad en base seca.
9 Esta sémola integral de maíz o de sorgo o de sus mezclas es la que se alimenta al extrusor.
10

11 **Reivindicación 14.** Proceso de extrusión termoalcalina, a la reivindicación 1 inciso (b), se debe preparar una
12 “lechada de cal” apagada, hidróxido de calcio con agua, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, del 0.1 al 0.9% b.s., según el tipo de maíz,
13 usando agua con la que “humedece” la sémola integral de maíz para asegurar un contenido de humedad entre
14 24.0% y 30.0%, en base seca, y un contenido de hidróxido de calcio entre 0.1% y 0.5%, en base seca,
15 dependiendo también del tipo de maíz que se use. Esta suspensión se dosifica a la salida del molino por medio
16 de una bomba dosificadora, de diafragma o peristáltica, de cualquier marca, representadas por FA-101 y BD-
17 101, homogeneizando la mezcla con una mezcladora de cualquier tipo o marca, durante 5 a 10 minutos
18 dependiendo de la cantidad de agua que se adicione.
19

20 **Reivindicación 15.** Para el proceso de la reivindicación 1 incisos (a) y (b) se debe transportar la sémola o
21 harina húmeda y alcalinizada por medio de un transportador de gusano o banda, de cualquier tipo o marca,
22 representado por TC-101, o incluso manualmente a un extrusor, de cualquier tipo o marca, de un solo tornillo
23 o de dos tornillos. Tomando el ejemplo de un extrusor de bajo costo, tipo CIATECH de un solo tornillo, que
24 procesa entre 50 y 100 kg/h, cuyo tornillo gira de 550-850 rpm, que cuenta con resistencias de banda para
25 tener una fuente de calor homogénea que dé un precalentamiento a 50-60°C y una temperatura a la salida en
26 la boquilla o “dado”, de 105-125°C. Se tienen tiempos de residencia en el reactor o extrusor de 30 a 50
27 segundos. La abertura de la salida o “dado” considerado, que es del tipo de cono truncado, es de 0.5-1.0 cm.
28

29 **Reivindicación 16.** Proceso de extrusión termoalcalina, de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (e), se
30 obtienen hojuelas de 0.01 a 5.0 cm x 0.01 a 1.0 cm de espesor, aproximadamente. Estas hojuelas tienen una
31 humedad en base seca entre 16.0 y 21.0% b.s. Estas hojuelas pueden secarse hasta una humedad en base seca
32 de $10.0 \pm 1.0\%$ b.s. por cualquier método de secado y en cualquier tipo de secador y, posteriormente, remolerse
33 a tamaños de malla 200-250 para almacenarse y después utilizarse para producir masas y tortillas.
34

35 **Reivindicación 17.** Proceso de extrusión termoalcalina, de acuerdo a la reivindicación 1 inciso (h), se debe
36 humedecer la harina precocida entre 45.0 y 60.0% b.s., dependiendo del tipo de grano del que se obtuvo para
37 que tenga características similares a la masa de maíz nixtamalizado. También puede alimentarse al extrusor
38 con un mayor contenido de humedad para obtener masas aumentando el tiempo de residencia para garantizar
39 la gelatinización parcial deseable.
40

41 **Reivindicación 18.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se
42 considerará como ejemplo preferido la producción de harina de frijol precocido. El ejemplo que se emplea es el
43 del uso de una leguminosa que contiene sustancias tóxicas en forma natural cuyo nombre científico es
44 *Canavalia ensiformis* del que se produce una sémola o harina extrudida. Puede usarse el proceso para
45 cualquier tipo de leguminosa u oleaginosa.
46

47 **Reivindicación 19.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (a), se debe
48 limpiar el frijol canavalia por medio de una cernidora, CE-101, de cualquier tipo y/o marca, para eliminar
49 “tamo” de basura. Ya limpio se alimenta en una tolva dosificadora de cualquier tipo y/o marca, representada
50 por TV-101.
51

52 **Reivindicación 20.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (a), se debe
53 moler el grano en cualquier tipo y/o marca de molino que permita obtener sémolas y/o harinas determinando
54 la humedad de la sémola molida para definir el siguiente paso de humidificarla previamente al paso de
55 alimentarla al extrusor.
56

1 **Reivindicación 21.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se debe
2 preparar una solución de ácido clorhídrico en agua con la que se “humedece” la sémola o harina de frijol para
3 asegurar un contenido de humedad del 25.0% al 30.0% en base seca y un contenido de HCl del 0.1% al 0.5%
4 en base seca, dependiendo del tipo de frijol que se use. Esta suspensión se dosifica a la salida del molino por
5 medio de una bomba dosificadora de diafragma o peristáltica, representada por: FA-101. La mezcla se
6 homogeneiza con cualquier tipo de mezcladora durante 5 a 10 minutos, dependiendo del tipo de frijol
7 empleado.
8

9 **Reivindicación 22.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (d), se debe
10 transportar la sémola o harina de frijol por medio de un transportador de gusano de cualquier marca y/o tipo,
11 TC-101, a un extrusor de cualquier tipo y/o marca, de uno o dos tornillos, representado por EX101. Tomando
12 el ejemplo de un extrusor de bajo costo, tipo CIATECH que procese entre 50 y 100 kg/h, cuyo tornillo gira a
13 650 rpm, que cuenta con resistencias de banda para tener una fuente de calor homogénea, que dé un
14 precalentamiento a 60°C y que permita una temperatura a la salida, en la boquilla o “dado” de 105-120°C. Se
15 tienen tiempos de residencia en el reactor o extrusor de 30 a 35 segundos. La abertura de la salida o “dado”,
16 de tipo de cono truncado, considerada es de 0.5 a 1.0 cm.
17

18 **Reivindicación 23.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 incisos (e), (f) y
19 (g), se debe realizar el secado y remolienda de las hojuelas obtenidas del proceso de extrusión, del que se
20 obtienen hojuelas de 0.01 cm x 2.0cm de largo y ancho respectivamente y de aproximadamente 0.01 a 1.0 cm
21 de espesor, aproximadamente. Estas hojuelas tienen una humedad en base seca entre 18.0 y 20.0% y pueden
22 secarse hasta una humedad en base seca de 10.0±1.0% por cualquier método de molienda y secado empleando
23 cualquier marca o tipo de equipos.
24

25 **Reivindicación 24.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (g), se deben
26 almacenar las harinas en bolsas de papel encerado o plástico inocuo para su posterior preparación en mezclas
27 con maíz, sorgo u otros cereales produciendo tortillas o tamales tipo "tlacoyo" o "tlatlaoyo", palabras de
28 origen náhuatl que significan una especie de empanada hecha de una tortilla gruesa de forma oblonga o
29 triangular que se rellena con masa de frijol y/o yerbas comestibles o para utilizarse en piensos o forrajes de
30 animales como una fuente de proteína y carbohidratos.
31

32 **Reivindicación 25.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se
33 reivindica el proceso para la estabilización de salvado de arroz extrudido ácidamente u otros esquilmos con
34 características útiles para su procesamiento posterior una vez estabilizados.
35

36 **Reivindicación 26.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se debe
37 limpiar el salvado de arroz por medio de una cernidora representada por CE- 101, de cualquier tipo y/o marca,
38 para eliminar “tamo” o basuras. Ya limpio se alimenta en una tolva dosificadora, TV-101, de cualquier tipo
39 y/o marca.
40

41 **Reivindicación 27.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se debe
42 determinar su humedad en base seca. Este salvado de arroz se humidificará y se alimentará a cualquier tipo de
43 extrusor de alta presión y alto esfuerzo cortante.
44

45 **Reivindicación 28.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (c), se debe
46 preparar una solución de ácido clorhídrico o muriático, como se conoce industrialmente, en agua con la que se
47 “humedece” el salvado de arroz para asegurar un contenido de humedad del 25.0 al 30.0% en base seca y un
48 contenido de HCl del 0.1 al 0.5% en base seca, dependiendo del tipo de salvado de arroz que se use. Esta
49 suspensión se dosifica a la salida del molino por medio de una bomba dosificadora de diafragma o
50 peristáltica, representada por FA-101, de cualquier tipo o marca. La mezcla se homogeneiza con una
51 mezcladora de cualquier tipo o marca durante 5 a 10 minutos.
52

53 **Reivindicación 29.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 inciso (d), se debe
54 transportar el salvado de arroz húmedo y acidificado por medio de un transportador de gusano, representada
55 por TC-101, de cualquier tipo, a un extrusor de cualquier tipo o marca, de un solo tornillo o de dos tornillos.
56 Tomando el ejemplo de un extrusor de bajo costo, tipo CIATECH de 50 a 100 kg/h, cuyo tornillo gira a 650

1 rpm, que cuenta con resistencias de banda para tener una fuente de calor homogénea que dé un
2 precalentamiento a 60°C y una temperatura a la salida en la boquilla o “dado” de 105-130°C. Se tienen
3 tiempos de residencia en el reactor o extrusor de 30 a 55 segundos. La abertura de la salida o “dado”, que es
4 un cono truncado, considerada es de 0.5-1.0 cm.
5

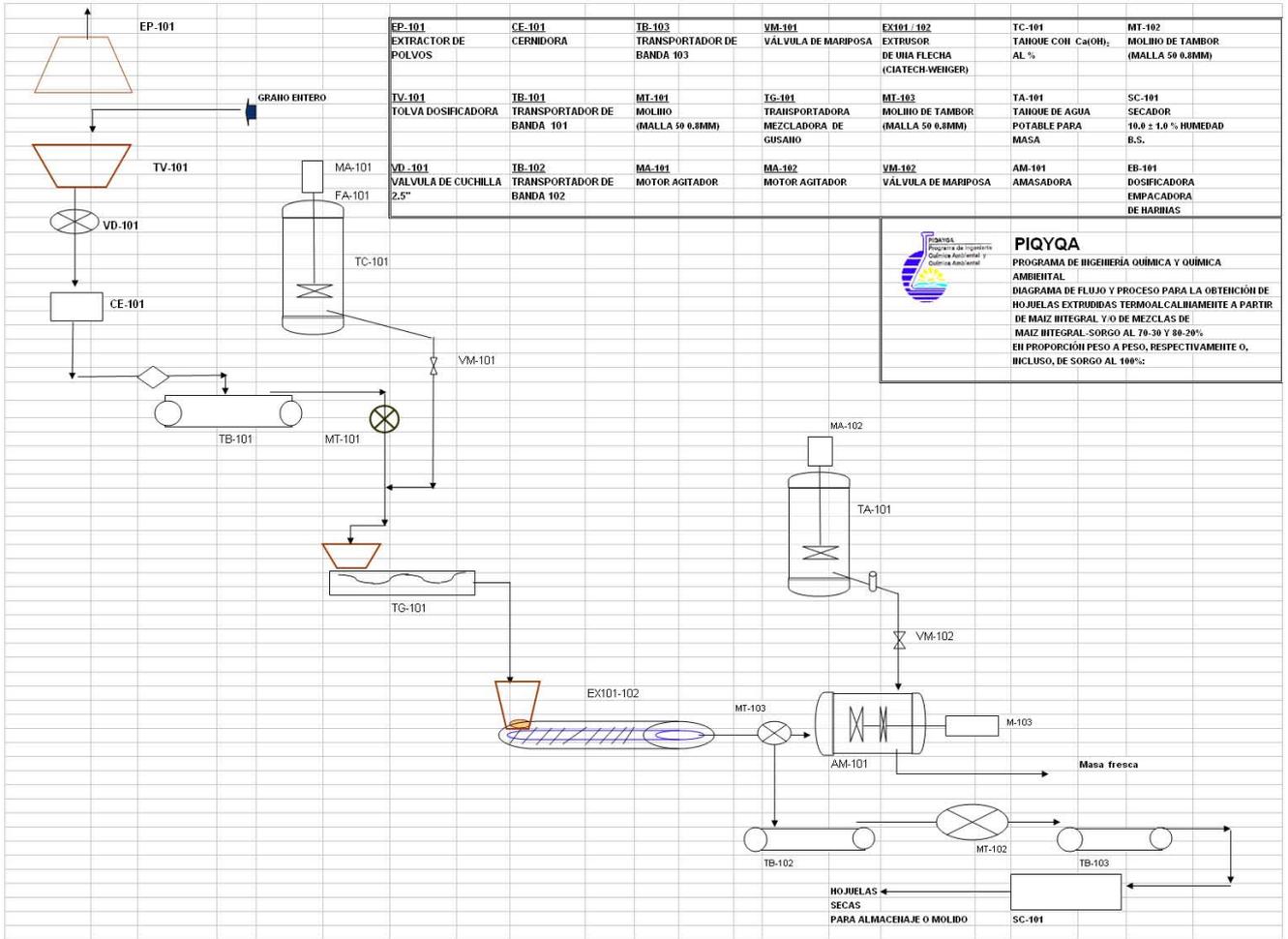
6 **Reivindicación 30.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 incisos (e) y (f), se
7 deben secar y moler las hojuelas obtenidas del extrusor, que tienen dimensiones de 0.01 a 2.0 cm de largo por
8 0.01 a 1.0 cm de ancho para su procesamiento posterior. Estas hojuelas tienen una humedad en base seca entre
9 18.0 y 20.00% y pueden secarse hasta una humedad en base seca de 10.0±1.0% por cualquier método de
10 secado, con cualquier equipo comercial.
11

12 **Reivindicación 31.** Proceso de extrusión térmico-ácida de acuerdo con la reivindicación 1 incisos (f) y (g), se
13 deben almacenar las harinas para su posterior procesamiento, como es la extracción del aceite comestible y/o
14 la preparación de alimentos ricos en vitaminas del complejo B y fibra como galletas, panes "integrales" y
15 otros alimentos o para utilizarse en dietas para animales.
16

1 ANEXO

2

3



4

5

6

7

8

9

10

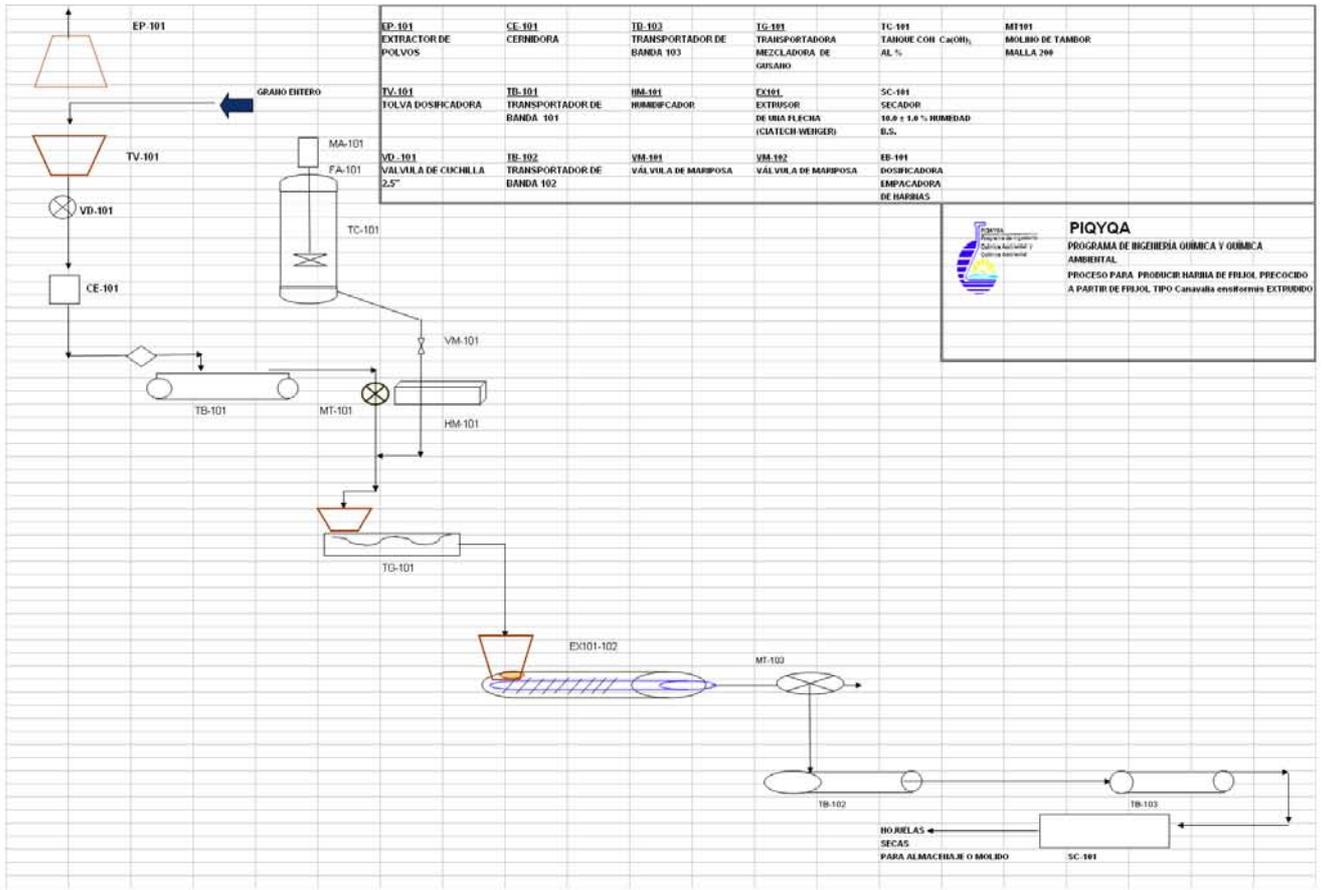
11

12

13

FIGURA 1. Proceso para producir hojuelas extrudidas termoalcalinamente a partir de granos. Ejemplo: Maíz integral y/o de mezclas de maíz integral-sorgo al 70-30 y 80-20% en proporción peso a peso, respectivamente o, incluso, de sorgo al 100%

1



2

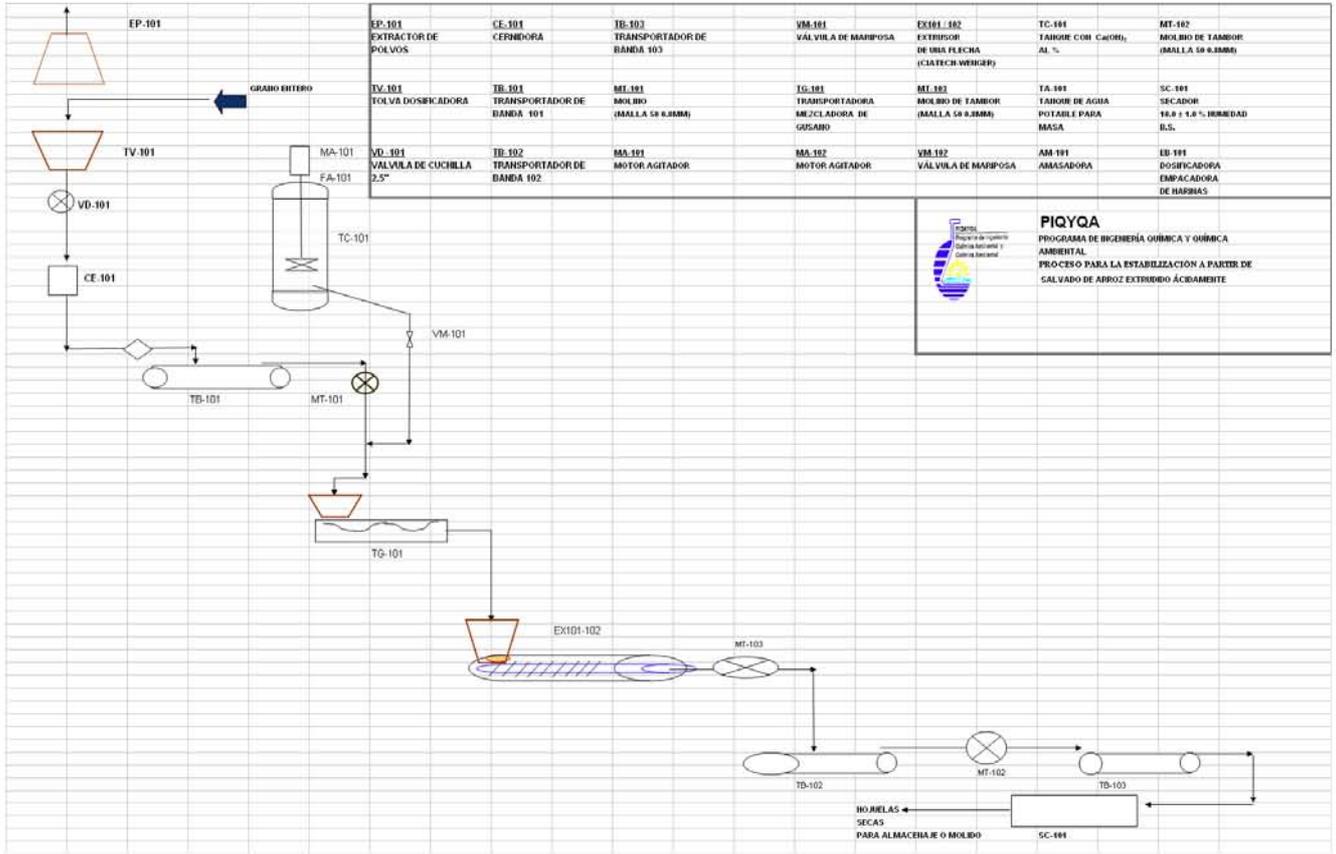
3 **FIGURA 2. Proceso para producir hojuelas extrudadas termoacidamente a partir de granos. Ejemplo:**
 4 **Harina de frijol precocido a partir de frijol tipo *Canavalia ensiformis* extrudido**

5

6

7

1



2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

FIGURA 3. Proceso para producir hojuelas extrudidas termoacidamente a partir de esquilmos agroindustriales. Ejemplo: Estabilización de salvado de arroz para reducir su actividad lipolítica mediante extrusión ácida

MATERIAL ADICIONAL

ARTÍCULO

INTERNACIONAL

Starch/Stärke

International Journal for the Investigation, Processing
and Use of Carbohydrates and their Derivates

www.starch-journal.de

Contents

Volume 56, No. 11, November 2004

Research Papers

- 513 Study of the Thermoplastic Wheat Starch Cationisation Reaction under Molten Condition
A. Ayoub, F. Berzin, L. Tighzert, C. Bliard
- 520 Relation between Viscous Characteristics and Dextrose Equivalent of Maltodextrins
L. Dokic, J. Jakovljevic, P. Dokic
- 526 Viscoamylographic Studies on *Zea Mays* [Mexican White Tuxpeño Maize] Partial Gelatinization with
Calcium Hydroxide
S. A. Sánchez-Tovar, A. Salazar-Zazueta, B. Mena-Iniesta, C. Durán-de-Bazúa
- 535 Physicochemical, Thermal, Morphological and Pasting Properties of Starches from some Indian Black
Gram (*Phaseolus mungo* L.) Cultivars
N. Singh, M. Kaur, K. Singh Sandhu, H. S. Guraya
- 545 The Effects of Plasticizers Containing Amide Groups on the Properties of Thermoplastic Starch
X. Ma, J. Yu
- 552 Book Review
- 553 New Publications
- 557 Patents
- 561 Company News
- 562 Preview of the Next Issue

Access the Journal Starch/Stärke from your desktop. The journal is available through Wiley InterScience at <http://www.interscience.wiley.com>. Articles are published online days or even weeks before the printed issues are mailed, through Wiley InterScience's Early View™ service. A full rate subscription entitles users to online access to full text plus access to the tables of contents and abstracts of hundreds of other Wiley journals.

Speak to your librarian or visit the site for full details. Society members, please contact your society about online access to the journal.



MATERIAL

ADICIONAL

ARTÍCULO

NACIONAL

Cinética de reacción para la gelatinización bajo tratamiento térmico alcalino de almidón de maíz en un extrusor considerado como un reactor continuo de flujo tipo pistón

Salvador Alejandro Sánchez-Tovar*, Alfredo Salazar-Zazueta(1), Baltasar Mena-Iniesta(2) y María del Carmen Durán-de-Bazúa

UNAM. Facultad de Química, Grupo de Tecnologías más Limpias (PIQA y QA)
Ciudad Universitaria. 04510 México D.F. Tels. 5622-5300 al 04. Fax 5622-5303
Correos electrónicos (e-mail): tisalva@ticsa.com.mx . mcduran@servidor.unam.mx

(1) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo. México
(2) UNAM. Instituto de Investigaciones en Materiales. Ciudad Universitaria. 04510 México D.F.

RESUMEN

El pueblo de México ha hecho del maíz su alimento básico desde tiempos precolombinos, obteniendo gran variedad de productos alimenticios como las "tortillas", los "tamales", los "atoles" y bebidas fermentadas como el "teshuino" y el "pozol". La textura de ellos depende principalmente de la gelatinización bajo tratamiento térmico alcalino del almidón de maíz en una reacción que se especula que consiste en la asociación del hidróxido de calcio y el agua por medio de puentes de hidrógeno a los grupos oxhidrilo de las cadenas del almidón de maíz, fenómeno conocido como "nixtamalización" (del Náhuatl o Azteca "nextli", cenizas de cal y "tamalli", masa de maíz cocido). La extrusión bajo tratamiento térmico alcalino ha demostrado ser eficiente energética y ambientalmente, además de que es operacionalmente efectiva para remplazar a la "nixtamalización" tradicional. Considerando al extrusor como un reactor de flujo continuo tipo "pistón", en el presente trabajo se presenta un estudio de la cinética de reacción durante la extrusión bajo tratamiento térmico alcalino de almidón de maíz. Los resultados indican que se tiene una cinética de primer orden.

Palabras clave: *Zea mays*, gelatinización, hidróxido de calcio, extrusión termoalcalina

Key words: *Zea mays*, gelatinization, calcium hydroxide, thermoalkaline extrusion

INTRODUCCIÓN

La "nixtamalización" (del Náhuatl o Azteca "nextli", cenizas de cal y "tamalli", masa de maíz cocido) es un proceso desarrollado varios miles de años antes que los europeos se tropezaran con el continente ahora conocido como América en su viaje al lejano Oriente. Este proceso consiste en cocer el grano de maíz entero con una lechada de cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dejando que se lleven a cabo reacciones de hidrólisis de almidones y matrices proteínicas, que promuevan cambios en la textura y calidad nutritiva del maíz empleando tiempos de proceso que oscilan entre tres y 15 horas (Durán, 1972, 1977, 1978; Durán-de-Bazúa y col., 1979; Durán-de-Bazúa, 1988; Durán y Guerra, 1980; Hernández-Ayala y col., 1996; Saldaña-Morales, 1987; Vásquez-Reyes y col., 1996).

Los gránulos de almidón, compuestos esencialmente de amilosa y amilopectina, son tan variados como especies de gramíneas puedan existir e inclusive cambian dentro de las variedades de una misma especie (Bull, 1971; Camire y col., 1990). Los gránulos de almidón de la gran mayoría de las especies de cereales cuando se someten a un proceso de calentamiento controlado en un exceso de agua presentan el conocido fenómeno de la gelatinización. En su primera etapa se da la disrupción de los puentes de hidrógeno donde el agua penetra y se alcanza la temperatura de transición vítrea (T_g), dándose la pérdida de birrefringencia. Este proceso es prácticamente irreversible. Inmediatamente, en

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia
(Recibido: Noviembre 14, 2000. Aceptado: Diciembre 17, 2000)