

23 300627  
54



# Universidad La Salle

ESCUELA DE QUIMICA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS  
PRODUCTOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA  
TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL  
Que para obtener el Titulo de  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
P r e s e n t a  
CAROLINA RUBIN ALCALA

Director de Tesis  
Q. Ana Victoria Galindo L.

México, D. F. Junio, 1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Esta tesis fue realizada en el Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la M. en C. Yoja T. Gallardo Navarro.

INDICE DE CUADROS	
INDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
OBJETIVO	4
Objetivos Particulares	4
ANTECEDENTES	5
IMPORTANCIA DEL MAIZ EN MEXICO	5
Aspectos Económicos del Maíz en México	5
Aspectos Culturales del Maíz en México	9
COMPOSICION Y DISTRIBUCION DE LOS COMPONENTES DEL GRANO DE MAIZ	10
INDUSTRIALIZACION DEL GRANO DE MAIZ	13
PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA	16
Proceso Casero para la Elaboración de la Tortilla	16
Proceso de Elaboración de la Tortilla en la Pequeña Industria	17
PROPIEDADES DE TEXTURA	22
Definición de Textura	22
Determinación de la Fuerza de Punción	24
Determinación de la Fuerza de Compresión-Extrusión	27
Determinación de la Fuerza de Corte	31
Determinación de Textura en Maíz y sus Productos	31
Textura en Maíz	34
Textura en Nixtamal	35
Textura en Masa	35
Textura en Tortilla	36
MATERIALES Y METODOS	38
EQUIPO	38
METODOS ANALITICOS	38
Porcentaje de Impurezas	38
Humedad en los Granos de Maíz	38
Humedad en Nixtamal, Masa y Tortilla	38
DESARROLLO EXPERIMENTAL	39

MONTAJE DE TECNICAS PARA LA DETERMINACION DE TEXTURA EN EL MAIZ, NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA	39
Medición de Textura en Maíz	39
Materia Prima	39
Fuerza de Corte	39
Fuerza de Compresión-Extrusión	40
Fuerza de Penetración	43
Medición de Textura en Nixtamal	45
Materia Prima	45
Fuerza de Compresión-Extrusión	45
Medición de Textura en Masa	47
Materia Prima	47
Fuerza de Compresión-Extrusión	47
Celda de Extrusión Inversa	47
Celda Ottawa	49
Medición de Textura en Tortilla	51
Materia Prima	51
Fuerza de Corte	51
Fuerza de Compresión-Extrusión	53
ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA	55
EFECTO DEL TIPO DE CAL Y TIEMPO DE NIXTAMALIZACION EN LA TEXTURA DEL NIXTAMAL MASA Y TORTILLA	55
Selección del Molino	55
Proceso	55
ESTUDIO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS PRODUCTO DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUE- ÑA INDUSTRIA	56
Materia Prima	56
Selección de Molinos	56
Evaluación de Textura	59
ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS	59
RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	61
MONTAJE DE TECNICAS PARA LA DETERMINACION DE TEXTURA EN EL MAIZ, NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA	61
Medición de Textura en Maíz	61
Fuerza de Corte	61
Fuerza de Compresión-Extrusión	62
Fuerza de Penetración	64
Medición de Textura en Nixtamal	69
Fuerza de Compresión-Extrusión	69
Medición de Textura en Masa	72
Fuerza de Compresión-Extrusión	72
Celda de Extrusión Inversa	72
Celda Ottawa	74

	PAGINA
Medición de Textura en Tortilla	78
Fuerza de Corte	78
Fuerza de Compresión-Extrusión	79
ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA	83
ESTUDIO DEL EFECTO DE CAL DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA	86
ESTUDIO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS PRODUCTO DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA	92
Evaluación de la Calidad Física de los Granos de Maíz y Características de Humedad de Nixtamal, Masa y Tortilla	92
Análisis Físico de los Granos de Maíz	92
Características de Humedad de Nixtamal, Masa y Tortilla	93
Estudio de las Variaciones de la Textura del Maíz y sus Productos, en cada una de la Industrias	
Durante el Proceso de Elaboración de la Tortilla	94
Industria A	94
Industria B	96
Industria C	98
Industria D	100
Evaluación de la Textura entre Industrias en el Maíz, Nixtamal, Masa y Tortilla en los Tres Lotes	103
Maíz	103
Nixtamal	104
Masa	105
Tortilla	106
Límites de Textura del Maíz, Nixtamal, Masa y Tortilla en la Pequeña Industria	107
Maíz	109
Nixtamal	115
Masa	121
Tortilla	127
Efecto de la Textura del Maíz en la Textura del Nixtamal, Masa y Tortilla	133
CONCLUSIONES	135
BIBLIOGRAFIA	136

## INDICE DE CUADROS

CUADROS	PAGINA
1 Producción, comercio y consumo aparente de maíz, 1965-1986. (Promedios quinquenales)	6
2 Maíz: demanda interna total, 1985-1987	7
3 Distribución de los componentes del grano.	12
4 Diferentes condiciones reportadas para la obtención de nixtamal y del tratamiento térmico alcalino.	19
5 Determinación de la resistencia al corte del grano de maíz con las cuchillas triangulares de corte.	62
6 Determinación de la resistencia a la compresión-extrusión del grano de maíz en la celda Kramer para dos variedades de maíz.	63
7 Determinación de textura en maíz amarillo con punzones de 1, 2 y 3 milímetros de diámetro.	64
8 Determinación de la textura en seis diferentes variedades de maíz con punzón de 1 mm de diámetro.	65
9 Condiciones de operación del Instron en la prueba de textura en maíz.	67
10 Condiciones de operación del Instron en la prueba de textura en nixtamal.	72

11	Determinación de la resistencia a la compresión-extrusión de masa de maíz blanco y amarillo, en la celda de extrusión inversa.	73
12	Determinación de textura en masa de maíz blanco y de maíz amarillo en celda Ottawa de láminas y de orificio.	74
13	Condiciones de operación del Instron en la determinación de textura en masa.	76
14	Determinación de la textura en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo con cuchillas de corte triangulares.	78
15	Determinación de la Textura en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo en celda Kramer.	79
16	Condiciones de operación del Instron en la determinación de textura en tortillas.	81
17	Efecto del tiempo de nixtamalización en la respuesta de textura de nixtamal de maíz amarillo con diferentes tipos de cal.	87
18	Efecto del tiempo de nixtamalización en la respuesta de textura de masa de maíz amarillo con diferentes tipos de cal.	90
19	Efecto del tiempo de nixtamalización en la respuesta de textura de tortillas de maíz amarillo diferentes tipos de cal.	91
20	Análisis físico de los granos de maíz en las cuatro industrias.	92

21	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura en el nixtamal, masa y tortilla en la industria A.	94
22	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura en el nixtamal, masa y tortilla en la industria B.	96
23	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura en el nixtamal, masa y tortilla en la industria C.	98
24	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura en el nixtamal, masa y tortilla en la industria D.	100
25	Evaluación de la textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla en la pequeña industria.	102
26	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura entre las industrias A, B, C y D.	103
27	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura del nixtamal entre las industrias A, B, C y D.	104
28	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura de la masa entre las industrias A, B, C y D.	105
29	Comparación del efecto por lote de maíz en la respuesta de textura de la tortilla entre las industrias A, B, C y D.	106

	PAGINA
30	Comparación de la textura entre industrias en el maíz, nixtamal, masa y tortilla en los tres lotes. 108
31	Comparación de la textura del maíz en la industria A, en los lotes 1, 2 y 3. 109
32	Comparación de la textura del maíz en la industria B, en los lotes 1, 2 y 3. 110
33	Comparación de la textura del maíz en la industria C, en los lotes 1, 2 y 3. 111
34	Comparación de la textura del maíz en la industria D, en los lotes 1 y 2. 112
35	Comparación de la textura del nixtamal en la industria A, en los lotes 1, 2 y 3. 115
36	Comparación de la textura del nixtamal en la industria B, en los lotes 1, 2 y 3. 116
37	Comparación de la textura del nixtamal en la industria C, en los lotes 1, 2 y 3. 117
38	Comparación de la textura del nixtamal en la industria D, en los lotes 1 y 2. 118
39	Comparación de la textura de la masa en la industria A, en los lotes 1, 2 y 3. 121
40	Comparación de la textura de la masa en la industria B, en los lotes 1, 2 y 3. 122
41	Comparación de la textura de la masa en la industria C, en los lotes 1, 2 y 3. 123

	PAGINA
42	Comparación de la textura de la masa en la industria D en los lotes 1 y 2. 124
43	Comparación de la textura de la tortilla en la industria A, en los lotes 1, 2 y 3. 127
44	Comparación de la textura de la tortilla en la industria B, en los lotes 1, 2 y 3. 128
45	Comparación de la textura de la tortilla en la industria C, en los lotes 1, 2 y 3. 130
46	Comparación de la textura de la tortilla en la industria D, en los lotes 1 y 2. 130
47	Por ciento de correlación de la textura del maíz con la textura del nixtamal, masa y tortilla. 133

# INDICE DE FIGURAS

FIGURAS		PAGINA
1	Diagrama de sección longitudinal del grano de maíz.	11
2	Proceso de elaboración de la tortilla en descrito por Rafael Illescas (1945).	18
3	Cinco curvas típicas de fuerza-distancia obtenidas de una prueba de punción.	25
4	Muestra esquemática de una prueba de punción en un alimento.	26
5	Esquema de una celda simple de compresión-extrusión.	28
6	Curva típica de fuerza distancia obtenida en prueba de compresión-extrusión.	29
7	Muestra esquemática de una prueba de corte en un alimento.	32
8	Curva típica de fuerza distancia obtenida en una prueba de corte.	33
9	Prueba de resistencia al corte del maíz con cuchillas triangulares.	41
10	Prueba de compresión-extrusión de maíz en celda Kramer.	42
11	Prueba de penetración del grano de maíz con punzón de punta plana de 1 mm de diámetro.	44
12	Prueba de compresión-extrusión de nixtamal en celda Kramer.	46

13	Prueba de compresión-extrusión de masa en celda de extrusión inversa.	48
14	Prueba de compresión-extrusión de masa en la celda Ottawa de lámina y orificio.	50
15	Prueba de corte de la tortilla con las cuchillas de corte triangulares.	52
16	Prueba de compresión-extrusión de la tortilla en la celda Kramer.	54
17	Desarrollo experimental del estudio de la textura del maíz y sus producto durante el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria.	57
18	Textura de diferentes variedades de maíz, en el Instron en una prueba de penetración con un punzón de punta plana de 1 mm de diámetro.	66
19	Curva típica del Instron en una prueba de penetración para el maíz con un punzón de punta plana de 1 mm de diámetro.	68
20	Textura de dos variedades diferentes de maíz nixtamalizado en en Instron, en una prueba de corte-extrusión en celda Kramer.	70
21	Curva típica del Instron en una prueba de compresión-extrusión para nixtamal en celda Kramer.	71

22	Textura de masa de maíz blanco y de maíz amarillo amarillo en el Instron, en una prueba de compresión-extrusión en la celda Ottawa de láminas.	75
23	Curva típica del Instron en una prueba de compresión-extrusión para masa en la celda Ottawa de láminas.	77
24	Textura de tortilla de maíz blanco y de maíz amarillo en el Instron, en una prueba de compresión-extrusión en la celda Kramer.	80
25	Curva típica del Instron en una prueba de compresión-extrusión para tortilla en celda Kramer.	82
26	Proceso actual de elaboración de la tortilla en la pequeña industria.	84
27	Efecto del tiempo de nixtamalización y del tipo de cal, en la textura del nixtamal de maíz amarillo.	88
28	Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la industria A en los tres lotes.	95
29	Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la industria B en los tres lotes.	97
30	Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la industria C en los tres lotes.	99
31	Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la industria D en los dos lotes.	101
32	Límites de textura del maíz en las industrias A, B, C y D.	114

33	Límites de textura del nixtamal en las industrias A, B, C y D.	120
34	Límites de textura de la masa en las industrias A, B, C y D.	126
35	Límites de textura de la tortilla en las industrias A, B, C y D.	132

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el de comparar los diferentes procesos de elaboración de la tortilla que utiliza actualmente la pequeña industria, y como estos afectan la textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla.

La textura de los diferentes productos, se determinó en el Texturómetro Universal Instron con diferentes aditamentos. Se midió la dureza del maíz, nixtamal, masa y tortilla como un parámetro de textura, ya que la textura se considera uno de los principales atributos para la aceptación de un producto por el consumidor.

Por medio de un análisis estadístico de Varianza y posteriormente, por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se determinaron las diferencias significativas de la textura entre los diferentes productos en los diferentes procesos de elaboración de la tortilla.

El Texturómetro Universal Instron es un equipo sensible y confiable para la determinación de textura. Se encontró que los intervalos de textura en los que actualmente opera la industria son: para maíz de 9.7 a 14.7 Kgf/g, en el nixtamal de 8.3 a 10.3 Kgf/g, en masa de 0.042 a 0.065 Kgf/g, y en la tortilla de 5.5 a 7.3 Kgf/f. No se encontró una correlación positiva entre la textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla. La calidad de la tortilla expresada como textura, depende de los ajustes en las condiciones de proceso reguladas por los operarios en cada industria.

## INTRODUCCION

El maíz ha sido considerado como fundamento cultural, económico y político del pueblo de México. Su principal uso es en la elaboración de la tortilla. En las últimas dos décadas la calidad de la tortilla ha sido fuertemente deteriorada. Al hablar de la calidad de la tortilla el consumidor engloba una serie de atributos como: olor, color, conservación de la suavidad, capacidad de doblarse en dos o enrollarse sin que se rompa, y una textura que hasta la fecha no ha podido ser adecuadamente evaluada por métodos instrumentales, pero que es determinante en el gusto del consumidor.

Han sido varios los factores que han contribuido a este deterioro, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes: no se tiene conocimiento sobre las características de textura del grano de maíz que se correlacionen positivamente con la respuesta al procesamiento ni con la calidad de la textura, por lo tanto, las investigaciones sobre nuevas variedades han sido orientadas a buscar un beneficio agronómico, más que de atributos para la elaboración de la tortilla. Existiendo los antecedentes del alto gusto de la población y por la tortilla elaborada a partir de maíz blanco.

El sistema establecido por la empresa paraestatal (CONASUPO), para la recopilación, centros de acopio, bodegas de almacenamiento y centros de distribución, propicia que una gran variedad de granos se mezcle, siendo en estas condiciones muy difícil de garantizar un proceso adecuado, y por lo tanto, la calidad de la tortilla se ve afectada.

En la década de los cincuentas, se estableció en el país la tecnología para producir harina de maíz nixtamalizado para la elaboración de tortillas. El público consumidor, hasta la fecha no la acepta debido a la baja calidad de las tortillas que se obtienen, sin embargo, por las políticas del Gobierno Mexicano de subsidio a la tortilla, ésta harina nixtamalizada ha sido introducida en el proceso de elaboración de la tortilla.

Otro factor que vino a agravar aún más la calidad de la tortilla es la importación de maíz que nuestro país ha venido realizando desde 1974. El grano se ha importado de Africa, Argentina y Estados Unidos, principalmente. En ninguno de estos países existe la tradición cultural de elaborar la tortilla, por lo que, el maíz que se importa ha afectado el color, sabor, textura y calidad de la tortilla.

Por lo anterior, se considera necesario estudiar la textura de los diferentes productos que se obtienen durante el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria, así como las variaciones del proceso y como estos afectan la calidad de la tortilla.

## OBJETIVO

Estudiar las variaciones del proceso que utiliza actualmente la pequeña industria y como estas afectan la textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla.

## OBJETIVOS PARTICULARES

-Conocer el proceso actual para la elaboración de la tortilla en la pequeña industria.

-Establecer una técnica adecuada para la determinación de textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla.

-Conocer el efecto de las variaciones del proceso de nixtamalización en la textura del nixtamal, masa y tortilla.

-Establecer la calidad física de los granos de maíz y las características de humedad en nixtamal, masa y tortilla en la pequeña industria.

-Estudiar las variaciones de la textura del maíz y sus productos durante el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria.

-Analizar entre las diferentes industrias la textura de maíz, nixtamal, masa y tortilla.

-Determinar los límites de textura para el maíz, nixtamal, masa y tortilla en los que trabaja la pequeña industria.

-Establecer si existe o no una correlación entre la textura del maíz con la textura del nixtamal, masa y tortilla.

-Establecer si existe o no una correlación entre la textura del nixtamal con la textura de la masa y la tortilla.

-Establecer si existe o no una correlación entre la textura de la masa con la textura de la tortilla.

## ANTECEDENTES

### IMPORTANCIA DEL MAIZ EN MEXICO

#### Aspectos Económicos del Maíz en México

El maíz es el grano básico más tradicional e importante, más de 9 millones de toneladas anuales se destinan tan solo para la producción de tortillas; se utiliza también grano y sus subproductos como materia prima de alimentos balanceados (56).

Con el maíz se fábrica, así mismo, una gran cantidad de productos, como alcoholes, productos farmacéuticos, etc., a los que se destina un 33% del consumo anual (56).

Como se puede observar en el CUADRO 1, el incremento de la producción de maíz es evidente, ya que de 1940 a 1986 creció 3.6 veces, pero fue aún mayor el incremento del consumo. A partir de 1964 el consumo creció mucho más rápido que la producción, lo que obligó a hacer importaciones considerables en los siguientes años (56).

CUADRO 1. PRODUCCION, COMERCIO Y CONSUMO APARENTE DE MAIZ, 1965-1986.  
(PROMEDIOS QUINQUENALES)

QUINQUENIO	SUPERFICIE	PRODUCCION	IMPORTACIONES	CONSUMO	
	COSECHADA (MILES ha)	(MILES TON)		NACIONAL (MILES TON)	PERCAPITA (Kg)
1965 - 69	7679.1	8856.7	7.1	7836.4	171.3
1970 - 74	7349.4	8868.9	682.3	9404.0	173.6
1975 - 79	6763.8	9198.3	1545.0	10740.0	169.4
1980 - 84	6914.6	12609.2	2852.8	15460.7	211.8
1985 - 86	7031.2	12909.3	1695.8	14503.3	185.4
Tasa media de crecimiento (%)					
1960-1986	0.31	2.79	11.64	3.34	0.31

Fuente: Rodríguez Vallejo, J. (56)

En el CUADRO 2 se observa que de maíz para consumo humano solo se requieren de 9.3 a 9.6 millones de toneladas anuales, equivalentes a un 60% de la disponibilidad anual, y con un consumo anual por persona de 120 Kg. Para el consumo de animales de traspatio se destinan 2 millones de toneladas de maíz, el cual se reduce, con el uso del sorgo (56).

CUADRO 2. MAIZ: DEMANDA INTERNA TOTAL, 1985 - 1987  
(MILES DE TONELADAS)

CONCEPTO	1985	1986	1987
Consumo humano	9346	9628	9346
Consumo animal	13993	3993	3594
Manufactura industrial	550	550	550
Semilla para siembra	170	170	170
Mermas	1576	1576	1536
SUBTOTAL	15635	15917	15196
Cambio de reserva técnica	35	35	35
TOTAL	15670	15952	12231

Fuente: Rodríguez Vallejo, J. (56)

En 1988 la industria del maíz vinculada con la tortilla, contaba con 47,860 empresas, las cuales estaban constituidas por 24,628 molinos de nixtamal, 23,216 tortillerías y 16 fábricas de harina. Los molinos de nixtamal producen el 40.5% de la producción de tortillas, las tortillerías un 40.2%, y las fábricas de harina un 19.3% (8).

Con 100 Kg de maíz se producen 93 Kg de harina y de éstas se obtienen 154 Kg de tortilla, es decir, 3080 tortillas. Con el proceso tradicional, a base de masa de maíz nixtamalizado, de 100 Kg de grano se obtienen 180 Kg de masa y solo 135 Kg de tortilla, es decir, 2890 tortillas, casi 8 tortillas por persona al día como promedio nacional (56). Tal cantidad es aparentemente baja, pero como se estima que solo el 60% de la población consume normalmente la tortilla, el consumo llegaría a 13 tortillas diarias, que es alto. Ello confirma que 100 Kg de maíz como consumo medio anual por persona es suficiente para satisfacer los requerimientos de tortilla, tamales, elotes, atole, etc., que son algunos de los usos tradicionales del maíz (56).

La producción nacional no alcanza a cubrir la demanda, y específicamente, la escasez del maíz blanco en los últimos años ha obligado a complementar el abasto con importaciones de maíz amarillo, del que resulta una tortilla con calidad y color no siempre aceptada por el consumidor (58).

## Aspectos Culturales del Maíz en México

El maíz es originario del continente americano. El proceso de domesticación del maíz propició el surgimiento de aldeas sedentarias, el desarrollo de variedades más productivas, la creciente urbanización y la especialización del trabajo. Todas las civilizaciones y culturas mesoamericanas -y México en su totalidad- tuvieron su base en el maíz; en mayor o menor grado las civilizaciones estuvieron relacionadas con el cultivo del grano y con su preparación, almacenamiento y uso. Constituyó la base de la alimentación de los indígenas de la época prehispánica. (13)

Se ha dicho que el maíz es el gran ordenador de la vida y la cultura en México. En torno a su ciclo vital se organiza la vida de las comunidades que lo cultivan y de él viven. Alrededor de su consumo se desenvuelven la rutina hogareña, con sus repectivas variantes, cuando se trata de la población rural o urbana, o de la que habita en las zonas tropicales o en el altiplano. También es el gran ordenador del espacio, pues por sí mismo determina donde debe cultivarse, almacenarse, elaborarse y consumirse. Cada acción tiene lugares y tiempos predeterminados (13).

Todas las culturas y civilizaciones que dependen del maíz, han creado en torno a los momentos de siembra, cultivo y cosecha, una enorme variedad de señales e indicaciones, ceremonias, ritos y fiestas que, al mismo tiempo que marcan los cambios de temporada indican el desarrollo de la propia comunidad. Las grandes fechas y momentos de cada comunidad, familia e individuo se reconocen por su relación con el grano.

El avance de la vida moderna modifica de modo gradual las tradiciones y costumbres. El metate es rápidamente sustituido por los molinos, mecánicos o eléctricos; el palmeteo de la elaboración de tortillas es eliminado poco a poco por la pequeña prensa manual o las máquinas tortilladoras mecánicas. Aún así, los ritos y fiestas vinculados al maíz, siguen vigentes (13).

## COMPOSICION Y DISTRIBUCION DE LOS COMPONENTES DEL GRANO DE MAIZ

El grano de maíz está constituido por tres partes principales, que son el pericarpio, endospermo y germen, como se puede observar en la Figura 1.

**PERICARPIO.** Es la parte estructural más externa del grano (34). Constituye cerca del 5 al 6% (64), y la cantidad de fibra en el grano es equivalente aproximadamente a la del pericarpio (34). El pericarpio puede ser separado en cuatro capas: epidermis, mesocarpio, células cruzadas y células tubulares. Una película delgada de cutícula, cubre la superficie de la epidermis (64). El valor histológico del pericarpio reside en que cuando se encuentra intacto da protección al grano contra la invasión de microorganismos y presenta características semipermeables con respecto a los solutos (64).

**ENDOSPERMO.** Se considera tejido de almacenamiento (65). Constituye del 80 al 84% del peso total del grano (62). La capa más externa del endospermo es la denominada capa celular aleurona, y se diferencia claramente de las células del almidón del endospermo (65). Almacena dos tipos diferentes de almidón. El endospermo corneo es llamado así porque es duro y translúcido. El endospermo harinoso es suave y relativamente opaco. La forma y tamaño de los gránulos de almidón varían según se encuentran en el endospermo. Los gránulos grandes se encuentran en el interior y están desorganizados formando el endospermo harinoso. Estos gránulos presentan una superficie relativamente suave indicando que no hay presión por gránulos pequeños empacados estrechamente hacia el exterior del endospermo (65).

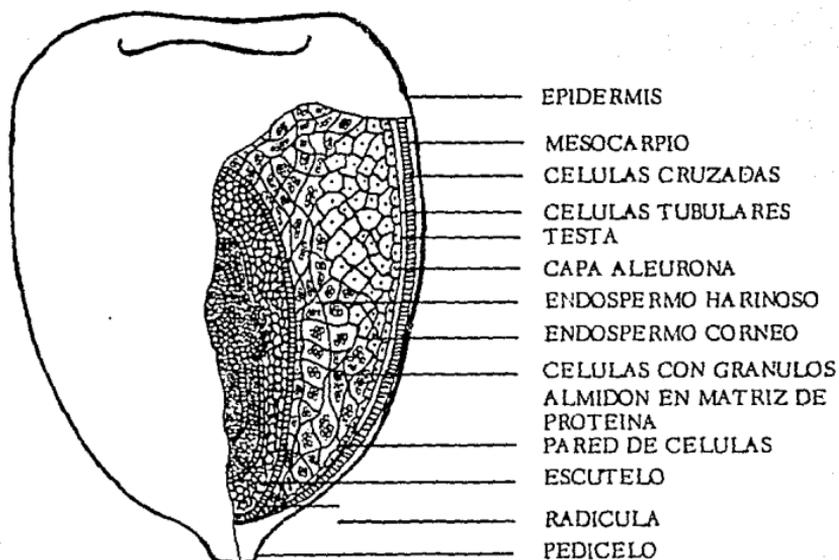


Figura 1. Diagrama de sección longitudinal del grano de maíz.

GERMEN. El germen o embrión del maíz representa de 10 al 14% del grano (65). Se encuentra localizado en la parte baja del endospermo, justo debajo del grano y paralelo al eje axial (63). Tiene un valor alimenticio elevado ya que proporciona proteínas, carbohidratos y vitaminas; siendo proteínas de mayor calidad que las del endospermo. Contribuye con una mayor cantidad de tiamina y riboflavina, sin embargo la niacina se localiza en diferentes cantidades tanto en el germen como en el endospermo (16). El 85% del aceite que se extrae del grano de maíz se encuentra en el germen (34).

En el CUADRO 3 se puede observar la distribución de los componentes del grano de maíz en el pericarpio, endospermo y germen.

CUADRO 3 DISTRIBUCION DE LOS COMPONENTES DEL GRANO, (%)

FRACCION	GRANO	ALMIDON	PROTEINA	LIPIDOS	AZUCARES
GRANO ENTERO	-	71.5	10.3	4.8	2.0
ENDOSPERMO	82.3	84.4	9.4	0.8	0.6
GERMEN	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8
PERICARPIO	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3

Fuente: Inglett, G. E., 1970. (34)

## INDUSTRIALIZACION DEL GRANO DE MAIZ

Como se sabe, el grano de maíz está constituido principalmente por tres partes. El pericarpio que recubre el grano y es rico en fibra; el germen que es rico en grasa, y finalmente el endospermo, constituido principalmente por almidón y que constituye cerca del 90% del grano de maíz.

De cada una de estas tres partes se obtienen diferentes productos:

**Pericarpio.-** Se emplea para piensos y forrajes.

**Germen.-** Se obtiene aceite que se emplea en medicinas como excipientes para vitaminas y cápsulas, en alimentos se consumen como aceite de cocina, en margarina, mayonesa, papas fritas. También se obtienen aceites y ácidos grasos para usos industriales, como productos químicos, insecticidas, pinturas y barnices.

**Endospermo.-** Al representar la mayor parte del grano, se tiene:

a) Almidón.- Se utiliza en la industria como abrasivo para papel y textiles, en adhesivos, baterías, pilas secas, y colorantes para alimentos, medicinas y cosméticos, en gomas de mascar, bebidas, salsas y aderezos.

b) Dextrina.- En la industria se emplea para unir distintos materiales, para recubrir y para glacear.

c) Miel de Maíz.- Da cuerpo a los alimentos industrializados, controla la adsorción de la humedad y provee de sólidos nutritivos.

d) Dextrosa.- Se emplea como el elemento básico de todos los almidones para la elaboración de azúcar.

e) Etanol.- Se utiliza en bebidas alcohólicas y como combustible.

El maíz como fuente principal de la alimentación en México, se consume en una gran variedad de platillos. Al considerar su forma de consumo se pueden clasificar como sigue:

Como elote tierno:

mazorcas o esquites  
guisados  
tortas y budines  
atoles  
postres  
frituras  
tamales

La principal forma de ingerirlo, es como tortilla en:

sopas	enfrijoladas
tacos	chilaquiles
tostadas	tortas y budines
panuchos	papadzules
enchiladas	tortillas

Con la masa se elaboran diversos platillos, conocidos comunmente como antojitos:

chalupas	peneques	molotes
guisados con masa	sopes	quesadillas
sopas con masa	gorditas	budines

Hay además preparaciones con maíz seco, nixtamalizado o no:

golosinas	bebidas	pinole
repostería	pozole	atoles

Esta gran diversidad de consumo constituye alrededor de 605 formas de cocinar el maíz, lo cual representa las tradiciones y hábitos culturales regionales a lo largo y ancho del territorio nacional (13).

En México, se consume el maíz de manera muy distinta a la que se consume en otros países, pero también se consume aquí en cierto tipo de alimentos internacionales, pero en menor cantidad como:

cereal de maíz con azúcar	maíz cacahuazintle
cereal de maíz con cocoa	maíz palomero
cereal de maíz sabor fresa	maíz azucarado
hojuelas tostadas de maíz	
hojuelas tostadas de maíz sabor chocolate	

## PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA

### Proceso Casero para la Elaboración de la Tortilla

Tradicionalmente para la elaboración de las tortillas, se pone a hervir en una olla una lechada de cal, a una concentración aproximada de 1.5% (peso o masa de grano). Cuando esta solución ya ha hervido, se le adiciona el maíz en proporción de una parte de maíz por dos partes de agua. El tiempo de cocción depende del tipo de maíz empleado, el cual puede variar de 30 a 50 minutos. Después de este tiempo, la olla se retira del fuego y su contenido se deja enfriar y reposar por espacio de 8 a 12 horas (13,22). Después de este tiempo de reposo, el nixtamal\* se cuele en una cesta calada, eliminandose el líquido sobrenadante (nexayote\*) y en el mismo recipiente se lava el nixtamal con agua para eliminar el exceso de cal. Ya lavado, se muele en un metate\* utilizando una piedra en forma cilíndrica y oblonga (metlapil\*) hasta obtener una masa fina y suave (13,22). Con esta masa se hacen bolitas (textales\*) que se aplanan con las manos para elaborar las tortillas. Una vez formadas las tortillas se ponen a cocer en un comal\* durante 30 segundos cada lado, repitiendo por la primera cara para permitir la formación de la "ampolla" (13, 22).

\*Todas estas palabras son de origen nahuatl y se siguen empleando en nuestro país, su significado se detalla a continuación:

Nixtamal	nextli: ceniza y tamalli: masa de maíz.
Nexayote	nextli: ceniza y ayón: caldo o cosa aguada.
Metate	metlatl: piedra donde se muele el maíz.
Metlapil	metlapilli: hijo o apéndice del metate.
Textales	textli: harina de maíz.
Comal	comalli: nombre del utensilio en nahoa.

## Proceso de Elaboración de la Tortilla en la Pequeña Industria

Los pasos generales a que es sometido el maíz para la obtención de tortillas, aunque básicamente son los mismos en todos los lugares en que se consumen, varía sus condiciones de acuerdo a la región, variedad del maíz usado, costumbres, etc. (41).

El primer proceso para la elaboración de la tortilla en la pequeña industria fue descrito por Rafael Illescas (33), el cual se muestra en la Figura 2.

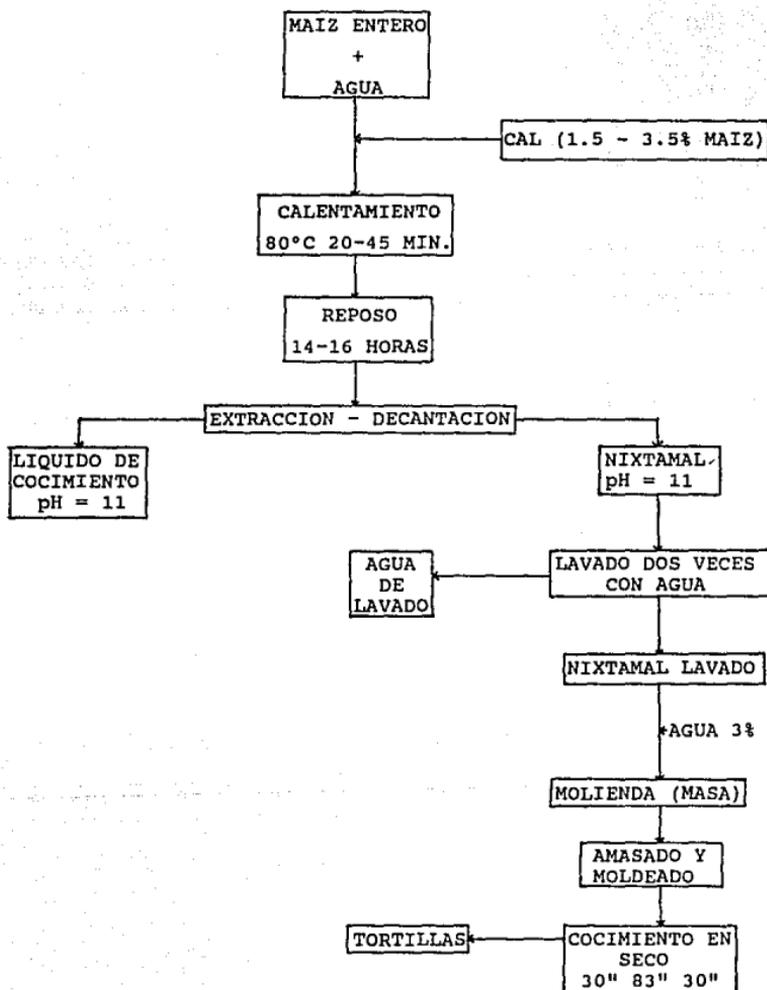
La limpieza del grano de maíz se realiza generalmente con mallas y tamices, con los que se separan, polvos, piedras, hojas, otras semillas, semillas rotas y la cutícula del maíz, a todas estas impurezas se les denomina en México "tamo".

El tratamiento siguiente es el térmico-alkalino, el cual puede considerarse como el más importante para determinar la calidad final de la tortilla. Diversos autores han empleado diferentes condiciones durante la nixtamalización del maíz, las cuales se muestran en el CUADRO 4.

Para obtener el nixtamal se decanta y se elimina el agua de cocimiento, el maíz se lava de dos a tres veces para eliminar el exceso de cal presente. Posteriormente los granos suavizados se llevan a un molino de extrusión, con lo que se obtiene la masa de maíz (6). Una vez obtenida la masa, esta se moldea, ya sea en forma manual o mecánica, hasta formar un disco, que mide de 12 a 16cm de diámetro (6).

Khan, M.C. (38) reporta que la tortilla se calienta a 350 °C durante un minuto cada lado, se vuelve a voltear y se deja por 5 minutos hasta que se infle; Bressani y col. (18) preparan la tortilla realizando una cocción de tres minutos para cada lado en un comal de 212 °C a 170 °C. La cocción de la masa moldeada es un paso de gran importancia en la elaboración de las tortillas; la calidad de esta también dependera de la temperatura de cocción y de los tiempos que se usen para cada lado de la tortilla (30).

Figura 2. Primer proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria descrito por Illescas, R. (33).



CUADRO 4. DIFERENTES CONDICIONES REPORTADAS PARA LA OBTENCION DE NIXTAMAL Y DEL TRATAMIENTO TERMICO ALCALINO.

AUTOR	CANTIDAD DE CAL*	TEMPERATURA DE COCIMIENTO	RELACION MAIZ:AGUA	TIEMPO @
ABBAS, H.K. Y COL. (2)	2.0%	EBULLICION	(A)	5 MIN. 12 HORAS
ALARCON, A.L. Y COLABORADORES (3)	1.5%	95.0 °C.	1:3	40 MIN. 14 HORAS
BAZUA, C.D Y COL. (10)	1.0%	EBULLICION	1:3	20 MIN. 15 HORAS
BEDOLLA, S. Y COL. (12)	1.0%	EBULLICION	1:3	70 MIN. 15 HORAS
BRESSANI, R. Y COL. (17)	1.2%	94.0 °C	1:1.2	50 MIN. 14 HORAS
CHOTO, C.E. Y COL. (24)	1.0%	(A)	1:3	90 MIN. 4 HORAS
CHU, N.T. Y COL. (25)	(A)	76.6 °C	1:1.5	15-30 MIN.
DEL VALLE, F.R. Y (29)	1.4-2%	EBULLICION	(A)	50 MIN. 10 HORAS
GUERRA, R. Y COL. (31)	1.0%	EBULLICION	1:4	(A)
GREEN, J.R. Y COL. (32)	1.0%	80.0 °C	1:2	20-50 MIN. 12 HORAS
JACKSON, D.S. Y COL. (39)	1.0%	EBULLICION	1:2.5	20 MIN. 16 HORAS

... CONTINUACION

JIMENEZ, A. Y COLABORADORES (36)	1.5%	EBULLICION	(A)	60 MIN. 14 HORAS
KHAN, M.N. Y COL. (39)	2.0%	EBULLICION	1:2	35 MIN.
MACHORRO, V.L. (49)	1.0%	94 °C	1:3 14 HORAS	30 MIN.
MORAD, M.M. Y COL. (43)	0.1%	EBULLICION	1:1	30 MIN. 12 HORAS
ORTEGA, E. Y COL. (46)	1.0%	92 °C	1:2	50 MIN. 16 HORAS
PAREDES LOPEZ, O. Y COL. (49)	2.0%	94 °C	1:2	50-90 MIN 14 HORAS
SANDERSON, J. Y COLABORADORES (57)	1.6%	95 °C	1:1.9	90 MIN
SERNA SALDIVAR, S. Y COL. (59)	1.0%	(A)	1:3	60 MIN 120 MIN.
ULLOA SOSA, M. Y COL. (62)	12.5%	(A)	1:1.6	CUANDO SE DESPRENDA EL PERICAR- PIO.

---

\* EN BASE AL PESO DEL MAIZ

(A) NO ESPECIFICADO

ø TIEMPO DE COCIMIENTO / TIEMPO DE REPOSO DEL NIXTAMAL

Se sabe que de región a region, y aún más de país a país, las condiciones en cuanto a la preparación de tortillas varían considerablemente, es muy importante que durante la cocción de la masa se forme lo que comúnmente se conoce como ampolla o "doble capa" ya que si ésta no se logra formar, el producto obtenido se torna reseco y blanquecino, quebradizo y de poco tiempo de conservación de sus características, aún más, debe haber cambios en la masa como es la gelatinización, y se sabe que debe darse determinado tiempo de cocción por cada lado de la tortilla, con el objeto de formar la "ampolla" (29).

## PROPIEDADES DE TEXTURA

### Definición de Textura

Las tres principales características de aceptación en un alimento son: textura, apariencia y sabor (14).

La textura es una forma de medir algunos de los atributos organolépticos de los alimentos. La textura es un importante atributo que determina la reacción del consumidor ante un alimento. Las características de textura se pueden agrupar en tres clases principales: características mecánicas, características geométricas, y otras características (se refiere principalmente a la humedad y contenido de grasa de un alimento) (61).

Las características mecánicas se manifiestan como la reacción de los alimentos cuando son sometidos al estrés. Las características geométricas se refieren al arreglo de los constituyentes del alimento, y se reflejan principalmente en la apariencia del producto (61).

**Características Mecánicas.** Las características mecánicas son probablemente las más importantes para determinar como se va a preparar y consumir un alimento. Estas características se pueden dividir en los siguientes cinco parámetros básicos:

**Dureza,** se define como la fuerza necesaria para deformar un alimento.

**Cohesividad,** se define como la fuerza interna que ejercen las ligaduras internas del alimento.

**Viscosidad,** se define como la resistencia que pone un alimento para fluir.

**Elasticidad,** se define como la capacidad que tiene un alimento para ser deformado cuando se le aplica una fuerza y regresa a su estado normal, cuando la fuerza se deja de aplicar.

**Adhesividad,** se define como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la

superficie del material que se encuentra en contacto con este (ejm. dientes, lengua, paladar, etc.).

Las cuatro primeras características están relacionadas con las fuerzas de atracción que actúan entre las partículas del alimento y la resistencia a desintegrarse, y la adhesividad se relaciona con las propiedades de superficie (61).

La medición de las características mecánicas de textura pueden ser medidas tanto cualitativamente como cuantitativamente (15).

**Características Geométricas.** Dentro de las características geométricas se tienen dos grupos o cualidades: aquellas que se relacionan con el tamaño y forma de partícula, y las que se relacionan con la forma y orientación de la partícula. Algunas características del primer grupo pueden dar una escala de dureza; mientras que algunas características se refieren a la homogeneidad de un alimento, otras se pueden aplicar a un sistema de varias fases (61). La medición de las características geométricas de textura se pueden evaluar de forma cualitativa y semicuantitativa (15).

**Otras Características.** Este grupo contiene cualidades de los alimentos que se perciben con la boca, como son la cantidad de humedad y la cantidad y calidad de la grasa.

Los instrumentos para medir la fuerza son los más comunes para la medición de textura. La unidad estándar para la medición de la fuerza es el Newton (N). La fuerza puede subclasificarse en (a) punción, (b) compresión-extrusión, (c) corte, (d) compresión, (e) tensión, (f) fuerza rotatoria, y (g) doblado (14).

## Determinación de la Fuerza de Punción

La prueba de punción mide la fuerza necesaria para picar o penetrar en un alimento. La prueba se caracteriza por (a) la medición de una fuerza por el instrumento, (b) la penetración del punzón en el alimento que causa una alteración irreversible, y (c) la profundidad a la que penetra el punzón y que se mantiene generalmente constante (14).

La prueba de punción abarca uno de los tipos más simples de los instrumentos para medir textura y es uno de los más ampliamente empleados (14). Cuando la prueba de punción se hace en un aparato como el Texturómetro Universal Instron, el cual registra automáticamente una fuerza, se obtienen cinco tipos diferentes de curvas, como se observan en la Figura 3. En los tipos de curva A, B y C hay un ascenso rápido de la fuerza en una corta distancia de movimiento del punzón sobre el producto. Durante esta etapa el producto es deformado bajo esta carga, pero no se presenta una penetración en los tejidos. Esta etapa termina cuando el punzón penetra en el alimento, y en la gráfica se representa por un cambio brusco en la pendiente de la curva, conocido como punto máximo. El estado inicial de deformación del alimento no es de gran importancia en la prueba de punción (12). El punto máximo indica el momento en el que el punzón penetró en el alimento, causando un daño irreversible en los tejidos y es el punto de mayor interés en esta determinación (14).

La tercera etapa en esta prueba es la dirección que toma el cambio de la fuerza después del punto máximo y durante la penetración del punzón. Separando las curvas de la Figura 3, en forma individual se tienen tres tipos básicos: en A la fuerza tiene un incremento continuo después del punto máximo; en B la fuerza se mantiene después del punto máximo, y en C la fuerza decrece después del punto máximo. La fricción del alimento con el punzón a lo largo de la penetración, generalmente incrementa la fuerza después del punto máximo, pero hay casos en los que no hay fricción y la fuerza disminuye o se mantiene constante después del punto máximo.

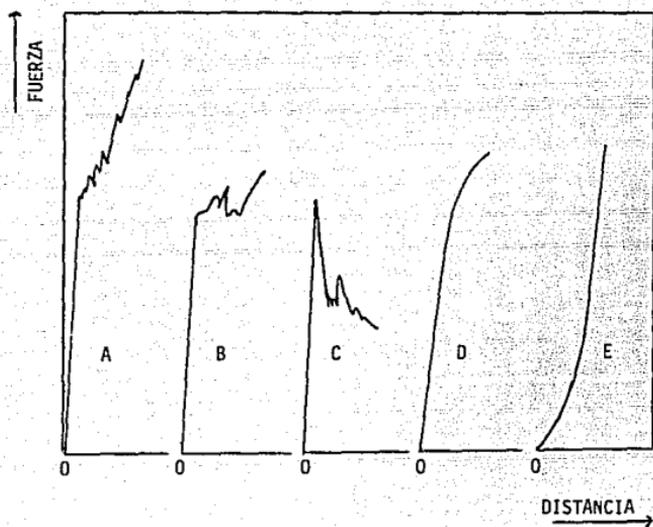


Figura 3. Cinco curvas típicas de fuerza - distancia obtenidas de una prueba de punción.

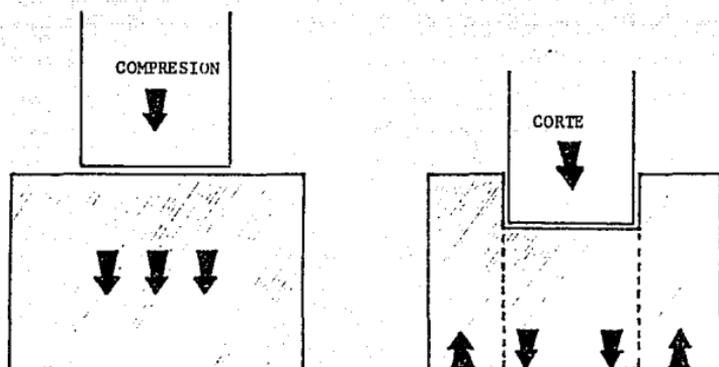


Figura 4. Muestra esquemática de una prueba de punción en un alimento.

Un cuarto tipo de curva es la D, es esencialmente como la curva A, excepto que el punto máximo no está bien delineado por un cambio brusco en la pendiente, sino que la fuerza tiene un ascenso continuo, y el punto máximo se obtiene por la intersección entre las dos pendientes de la curva; este tipo de curva se puede considerar como un caso especial de la curva A. La curva E es un tipo muy especial ya que no hay punto máximo y no se obtiene resultado alguno (14).

La Figura 4 muestra esquemáticamente lo que sucede en el momento de la penetración del punzón en el alimento. El alimento presenta una compresión bajo el punzón, la cual es proporcional al área del punzón y el corte alrededor de la punta del punzón es proporcional al perímetro.

#### Determinación de la Fuerza de Compresión - Extrusión

La determinación de la fuerza de compresión-extrusión consiste en aplicar una fuerza a un alimento hasta que este fluya a través de una salida, la cual puede estar en forma de uno o más orificios o aberturas que se encuentren en la celda de prueba, generalmente la fuerza máxima requerida para complementar la extrusión del alimento es medida y usada como un índice de la calidad de la textura del alimento (15).

Una determinación sencilla de la compresión-extrusión de un alimento se muestra en la Figura 5, donde el alimento se coloca en un recipiente metálico abierto por la parte superior. Un punzón apropiado a la forma del recipiente baja y hace presión en el alimento hasta hacerlo fluir a través del espacio entre el punzón y el recipiente (23,28).

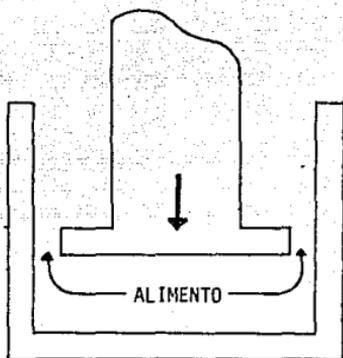


Figura 5. Esquema de una celda simple de compresi6n-extrusi6n.

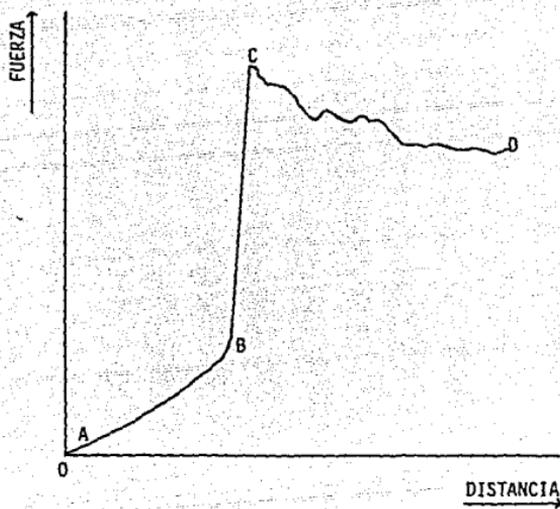


Figura 6. Curva típica de fuerza-distancia obtenida en una prueba de compresión - extrusión

Una curva típica de fuerza-distancia en la determinación de la fuerza de compresión-extrusión es la de la Figura 6. De A a B el alimento es deformado y comprimido hasta empacarlo, de forma que el espacio se disminuya al mínimo conforme desciende el émbolo pero sin que el alimento se rompa. A partir del punto B el alimento comienza a romperse. En el punto C el alimento continúa rompiéndose y comienza a fluir através de los espacios libres, este proceso continua hasta el punto D donde el émbolo o punzón de compresión cambia de dirección y la fuerza cae hasta cero. El punto C da la fuerza máxima necesaria para comenzar el proceso de extrusión, de C a D se muestra la fuerza necesaria para continuar la extrusión (14,23,28).

La forma y magnitud de la curva de compresión-extrusión depende de la elasticidad, viscoelasticidad, viscosidad, y el comportamiento del alimento durante la ruptura, tamaño de muestra, grado de deformación, temperatura y tipo de celda para la determinación (14,23,28).

En general, la pendiente en la curva durante la extrusión es aproximadamente horizontal, pero hay ocasiones en que las muestras presentan un incremento o descenso. Esta parte de la curva puede indicar cuatro diferentes patrones de comportamiento (14).

1. La fuerza se reduce rápidamente con más compresión. Esto indica que la muestra fue comprimida hasta que ocurre una ruptura catastrófica, indicando que una resistencia al corte es el mecanismo que predomina en esta prueba (14,23,29).
2. La fuerza se reduce lentamente. Esto indica un poco de resistencia al corte combinado con alguna extrusión y posiblemente una adhesividad de la muestra con la celda de prueba.
3. Una pendiente prácticamente horizontal indica un corte sucesivo de las capas de la muestra o una combinación de corte, extrusión y adhesividad, lo cual ocurriría simultáneamente.

4. La fuerza se incrementa continuamente conforme procede la extrusión. Esto indica una mayor compresión de la muestra acompañada de adhesividad, extrusión y corte.

La fuerza de extrusión es inversamente proporcional al tamaño del orificio por el cual va a fluir la muestra (14).

#### Determinación de la Fuerza de Corte

Esta prueba consiste en medir la fuerza necesaria para cortar un alimento por medio de diferentes celdas de corte. La celda más común es una cuchilla de acero inoxidable de forma triangular, Figura 7; la cuchilla comprime y atraviesa el alimento hasta que lo corta, y se registra la fuerza máxima necesaria para ello (14).

En una curva típica de corte como la de la Figura 8, se obtienen tres puntos principalmente. El primer pico (A) indica el punto máximo, el segundo pico (B) es el punto donde la corteza del alimento se rompe, y el tercer pico (C) indica la fuerza máxima que representa el corte de la muestra (28).

#### Determinación de Textura en Maíz y sus Productos

Diversos autores han determinado indistintamente textura en maíz, nixtamal, masa o tortilla, empleando para ello diversas técnicas; sin embargo el proceso de nixtamalización lo han efectuado en el laboratorio bajo condiciones distintas al proceso que se emplea en la pequeña industria.

A continuación se describen las diferentes características de textura determinadas por diversos autores en maíz, nixtamal, masa o tortilla.

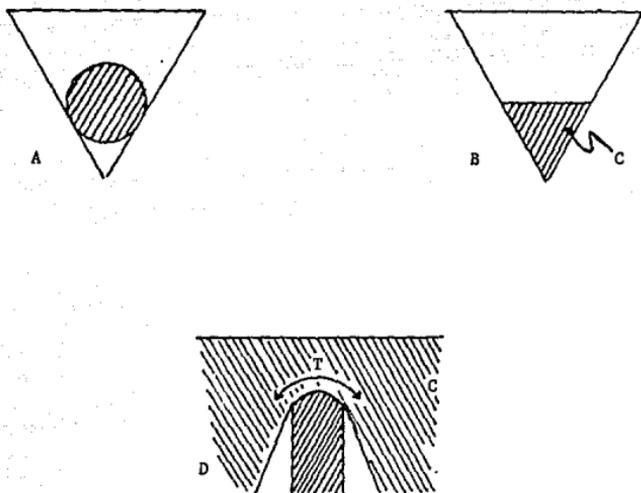


Figura 7. Esquema de una prueba de corte con cuchillas triangulares.

A, muestra en forma circular sin estres; B, muestra deformada bajo una fuerza de compresión, llenando el espacio libre; C, muestra; D, tensión alrededor de las cuchillas de corte; T, compresión y corte de la muestra.

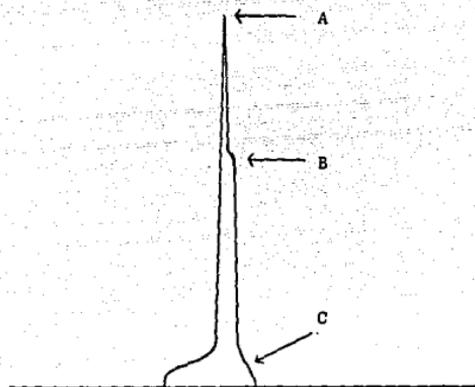


Figura 8. Curva típica de corte. A, indica la fuerza máxima de compresión; B, es el punto donde la corteza del alimento se rompe; C, es la fuerza máxima necesaria para cortar el alimento.

## Textura en Maíz

Martínez Herrera, M y Lachance, P. (40) determinaron dureza en el grano de maíz expresada como la fuerza máxima de compresión, la cual fue medida en el Texturómetro Universal Instron con un émbolo de 2 1/4 de pulgada de diámetro; expresando la fuerza máxima de compresión en libras fuerza (lbf).

Ochoa Cortéz, O.J. (45) y Buendia González, M.O. (20) determinaron la dureza del grano de maíz como el porcentaje de dureza, utilizando una perladora de cebada adaptada con cepillo de alambre haciendo lo siguiente: se pesaron 20 gramos de muestra, se pusieron a perlar durante un minuto, se cribó el grano perlado, y se pesó lo que quedó en la malla y se aplicó la siguiente formula: % de dureza = (peso de grano que no pasó por la malla) x 5.

Pomeranz, Y., Martin, C.R. y colaboradores (51) midieron la dureza del grano de maíz por medio de su densidad, la reflectancia por infra-rojo y el promedio del tamaño de la partícula, estos resultados fueron correlacionados linealmente para obtener la dureza.

Pomeranz, Y., Czuchajowska, A. y colaboradores (52) determinaron la dureza del grano en un Medidor de Dureza Stenvert, esta determinación consiste en medir el tiempo que se tarda en moler 20 gramos de muestra. El tiempo es proporcional a la resistencia que presenta el grano a ser molido y se expresa como dureza del grano.

## Textura en Nixtamal

Bedolla, Santiago y colaboradores (10) midieron la fuerza máxima de corte del nixtamal en el Texturómetro Universal Instron 30 gramos de muestra fueron cortados por una celda de corte, la fuerza fue expresada en Newtons.

Alcántara, Loida (4) determinó en el Texturómetro Universal Instron la resistencia a la penetración en cada grano de maíz nixtamalizado con un punzón de 3 mm de diámetro; el esfuerzo de cizallamiento y la resistencia a la compresión en una celda Kramer en muestras de 30 gramos, y la resistencia al corte con una cuchilla triangular en cada grano. Los resultados obtenidos fueron expresados en kilogramos fuerza (Kgf).

Khan, M.N., DesRosier, M.C. y colaboradores (38) evaluaron la fuerza máxima de corte del nixtamal en el Texturómetro Universal Instron, empleando un punzón de 1.87 cm de diámetro y expresandola en Kilogramos fuerza (Kgf).

Martínez Herrera, M.L. y Lachance, P.A. (40) emplearon un método subjetivo para la evaluación de la dureza del nixtamal, lo cual consiste en aplicar una fuerza con los dedos o con los dientes para romper el grano de maíz nixtamalizado. La facilidad con la que el grano se pueda romper es un índice de cocción.

## Textura en Masa

Bazúa, C.D. y colaboradores (9) midieron la consistencia en masa, que es una medición indirecta de la viscosidad, en un Consistómetro Haake.

Smith, O., de Buckle, T.S. y colaboradores (60) evaluaron la dureza de la masa, empleando el Texturómetro Universal Instron con una celda de carga de 50 Kg y un embolo de 3.6 cm de diámetro. Muestras de 5.5 cm de diámetro y 5.5 cm de altura fueron comprimidas por el embolo teniendo de esta forma la fuerza máxima de compresión expresada en Kilogramos fuerza (Kgf).

Ochoa Cortéz, O.J. (61) determinó la adhesividad en la masa en el Consistómetro Haake.

Padua, G.W. y Whitney, R. (47) determinaron la fuerza de compresión en masa en el Texturómetro Universal Instron, la muestra de masa se comprimió entre dos discos planos de 7 cm de diámetro.

Padua, M.R. y colaboradores (48) emplearon el Texturómetro Universal Instron para la determinación de dureza, adhesividad y rigidez en masa. Para la medición de la dureza y adhesividad se empleó un émbolo de  $158.36 \text{ cm}^2$ , con el cual se comprimió un 80% de una muestra de 200 g. con lo que se midió la dureza, después de 1 minuto se retiró el émbolo de la masa y la fuerza necesaria para retirarlo representa la adhesividad. Para medir la rigidez de la masa se empleó un émbolo de  $68 \text{ cm}^2$  para comprimir la masa.

Alarcón, A.L. y colaboradores (3) determinaron la consistencia de la masa en un Consistómetro Haake.

Jiménez Aparicio, A. y colaboradores (36) emplearon el Texturómetro Universal Instron para determinar la adhesividad y dureza en la celda Kramer, y la resistencia a la extrusión en la celda de extrusión inversa.

Pérez, R. y Rodríguez, J. (50) emplearon el Texturómetro Universal Instron con una celda de retroextrusión, con el cual se midió la extrusión inversa.

#### Textura en Tortilla

Rizley, N.F. y Suter, J.F. (37) emplearon un aparato de tensión diseñado por Ralph Waniska, la muestra fue sujeta a una deformación, los valores de fuerza y deformación indican la fuerza de tensión y elasticidad, respectivamente.

Collins, J.L. y Sánchez, J.F. (26) midieron la firmeza de la tortilla en el Texturómetro Universal Instron con la celda Kramer. Se emplearon secciones de tortillas de  $6.5 \times 6.5 \text{ cm}$  y se colocaron en la celda Kramer de compresión-extrusión.

Johnson, B.A. y colaboradores (37) determinaron la elasticidad de la tortilla en el Texturómetro Universal Instron, una tortilla se coloca entre dos anillos sujetadores y un punzón de 0.95 cm de diámetro atravieza la tortilla, se registra la fuerza necesaria para romper la tortilla y esta se expresa en Newtons; el área bajo la curva de la gráfica obtenida es el trabajo necesario para romper la tortilla.

Khan, M.N. y colaboradores (38) en el Texturómetro Univesal Instron determinaron elasticidad en tortillas. Una tortilla se coloca entre dos anillos metálicos de 10 cm de diámetro y un punzón de 1.6 cm de diámetro atraviezan la tortilla, midiendo la fuerza máxima para romper la tortilla.

Bedolla, S., Palacios de, M.G. y colaboradores (11) usaron el Texturómetro Universal Instron con la celda Kramer de corte para determinar textura en tortillas.

Alarcón, A.L. y colaboradores (3) evaluaron la textura en la tortilla en forma empírica, usando pruebas de enrollamiento con barras de acero inoxidable de 5, 10 y 20 milímetros de diámetro y haciendo pruebas de dobléz, esto es, doblando la tortilla en dos y cuatro partes, y midiendo el tiempo transcurrido para que se produjera la ruptura en la superficie externa de la tortilla. Ambas pruebas se realizaron a los 10 minutos, 1 h, 5 h y 24 h, después de cocidas.

Jiménez Aparicio, A. y colaboradores (36) determinaron textura en tortillas utilizando el Texturómetro Universal Instron y como accesorios, sujetadores para tensión y un punzón; se efectuaron medidas de elasticidad y tensión.

Pérez, R. y Rodríguez, J. (50) emplearon el Texturómetro Universal Instron y con un accesorio de punción tipo estrella, se obtuvieron curvas que indican la deformación a partir de esfuerzos cortantes.

## MATERIALES Y METODOS

### EQUIPO

Texturómetro Universal Instron modelo 1130 empleando para las determinaciones, los accesorios propios del equipo.

Estufa

Balanza analítica

Balanza Granataria

### METODOS ANALITICOS

Porcentaje de Impurezas en los Granos de Maíz.- De cada variedad se pesaron 100 gramos de muestra a las que se les separaron las impurezas, tales como granos de otras variedades de maíz, semillas extrañas, granos rotos y dañados por calor, roedores o insectos; piedras, tierra, insectos, paja y cualquier materia extraña presente, obteniendo así la composición porcentual de los componentes de la muestra (4,55).

Humedad en los Granos de Maíz.- Se determinó por el método No. de American Association of Cereal Chemist (AACC) (1).

Humedad en Nixtamal, Masa y Tortilla.- Se determinó por el método 40.01 del American Association of Cereal Chemist (AACC) (1).

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### MONTAJE DE TECNICAS PARA LA DETERMINACION DE TEXTURA EN EL Maíz, NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA

Las pruebas de textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla que han sido reportadas previamente en la literatura, no demuestran la sensibilidad del método para diferenciar entre las variedades de maíz que se utilizan en Mexico actualmente para la elaboración de la tortilla. Estas pruebas de textura han sido realizadas en el laboratorio y no reflejan las condiciones de equipo y proceso que utiliza la pequeña industria. No se ha reportado la precisión de la metodología utilizada, en cuanto al numero de veces a efectuar la prueba para obtener resultados confiables, ni la comparación entre métodos de prueba, para establecer cual es el que proporciona resultados con el menor error cualitativo.

Por lo anterior se considero necesario establecer un método de prueba para la determinación de textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla, que fuera sensible y confiable.

#### Medición de Textura en Maíz

Materia Prima.- Se emplearon muestras de granos de maíz amarillo proporcionadas por un molino del Distrito Federal; de diferentes mercados del Distrito Federal, del Estado de Puebla y del Estado de México se adquirieron muestras de seis diferentes variedades de maíz, las cuales fueron: blanco, Toluca, Criollo, cacahuazintle y palomero. De estas variedades de maíz, las tres primeras son las que se han utilizado tradicionalmente para elaborar la tortilla, el cacahuazintle se utiliza como un maíz harinoso de tipo suave, y el maíz palomero como un maíz corneo de

tipo duro; todas estas se compararon con el maíz amarillo que acualmente entrega CONASUPO.

**Fuerza de Corte.** Se empleó el Texturómetro Universal Instron modelo 1130; como aditamento, las cuchillas triangulares de corte, con una celda de carga de 500 Kg., velocidad del cabezal de 20 cm/min y la velocidad del papel de 5 cm/min. Como muestra se empleó maíz amarillo. Cada grano se colocó en la base de forma longitudinal con respecto a la cuchilla, y con el germen hacia abajo, como se muestra en la Figura 9; el grano de maíz se sujetó con los dedos para evitar que se moviera. La determinación se efectuó en 20 granos, se obtuvo el valor medio y la desviación estándar.

**Fuerza de Compresión-Extrusión.** Se empleó el Texturómetro Universal Instron modelo 1130 con la celda Kramer de compresión y extrusión. Con una celda de carga de 500Kg. en un rango de 500Kg; la velocidad del cabezal fue de 20 cm/min y la del papel de 5cm/min. Para la determinación de la cantidad de muestra, se empleó maíz amarillo y se procedió a medir la fuerza a 5 gramos y a 20 granos de maíz. La muestra se colocó de forma longitudinal con respecto a los orificios de la celda, como se muestra en la Figura 10. La prueba se efectuó en cada caso 10 veces y se registró la fuerza máxima necesaria para comprimir, cortar y extruir los granos. De los resultados se obtuvo un valor medio y la desviación estándar. Por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA) (19), se compararon los resultados para saber si existe una divergencia entre pesar y contar los granos. Una vez establecida la cantidad de muestra, se procedió a determinar la resistencia a la compresión y extrusión de dos variedades diferentes de maíz para conocer la sensibilidad de la celda.

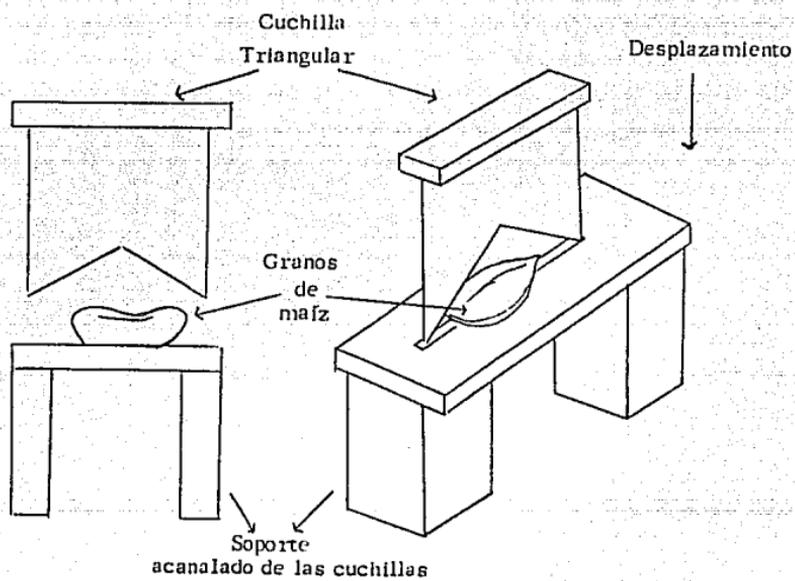
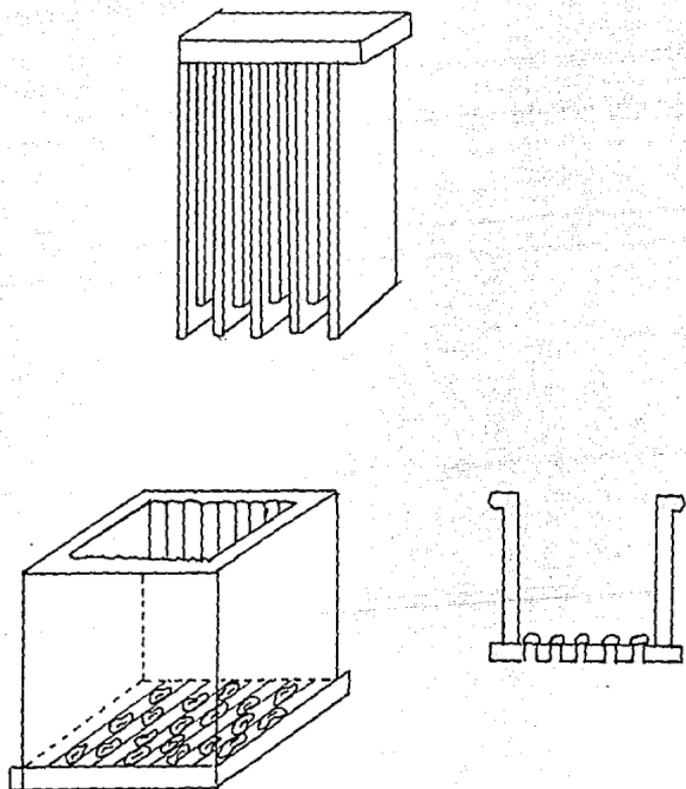


Fig. 9 Prueba de resistencia al corte.

Figura 10. Prueba de compresión-extrusión de maíz en celda Kramer



Fuerza de Penetración. Punzones de diferentes diámetros son empleados en una amplia variedad de alimentos para medir la fuerza de penetración. Por la naturaleza del grano se probaron punzones de 1, 2 y 3 milímetros de diámetro. Esta determinación se hizo en el Texturómetro Universal Instron con una celda de carga de 500 Kg., en un rango de 50 Kg, tanto la velocidad del papel como la del cabezal fueron de 10 cm/min. Se emplearon 100 granos de maíz amarillo seleccionados al azar y a cada grano se le determinó la fuerza de penetración, con los punzones de los tres diámetros, para lo cual se colocó el grano sobre la base con el germen hacia abajo, para que así el punzón penetrara en el centro del grano, como se muestra en la Figura 11; se registró la fuerza máxima necesaria para penetrar y romper el grano de maíz. Se obtuvo la media y la desviación estándar del maíz amarillo con los tres punzones; para verificar la sensibilidad y reproducibilidad del método se procedió a determinar la fuerza de penetración en las seis diferentes variedades de maíz con el punzón de 1 mm de diámetro. Los resultados se sometieron a un Análisis de Varianza, y posteriormente a un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan (19). Para cada muestra de maíz se hicieron 100 determinaciones y estos datos se agruparon en bloques al azar, y por medio de un Análisis de Varianza se estableció el número mínimo de determinaciones para obtener resultados confiables.

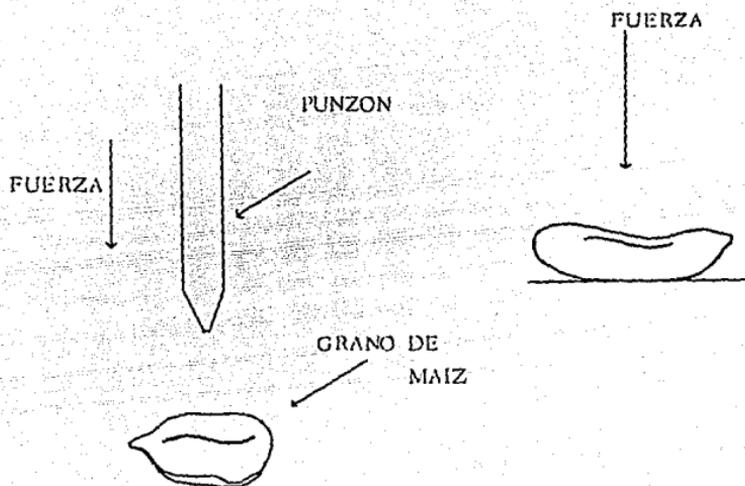


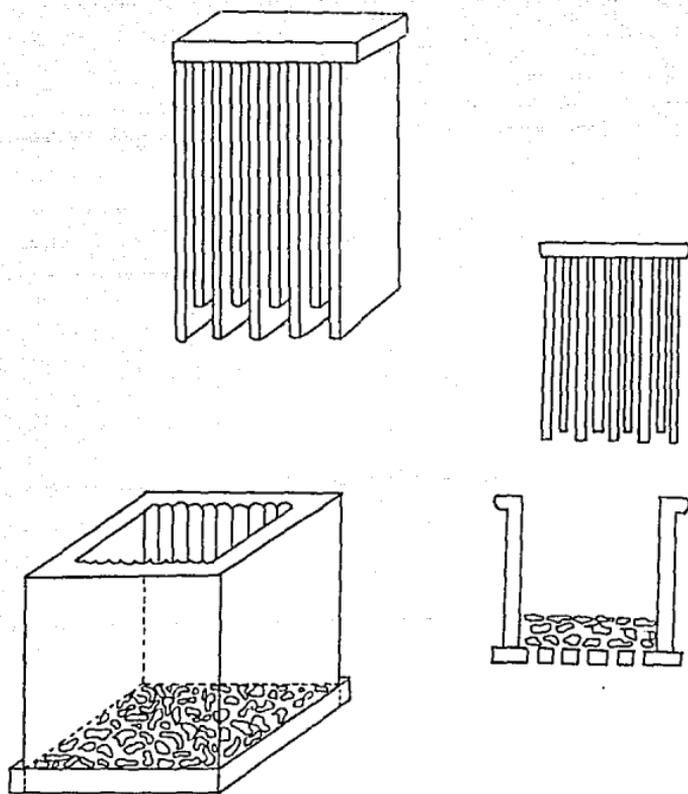
Figura 11. Prueba de penetración del grano de maíz con punzón de punta plana de 1mm de diámetro

## Medición de Textura en Nixtamal

**Materia Prima.-** Se emplearon muestras de maíz amarillo nixtamalizado proporcionado por un molino del Distrito Federal, y maíz blanco nixtamalizado proporcionado por un vendedor al menudeo de tortilla de maíz blanco (por docena), que emplea el método casero de nixtamalización del maíz, anteriormente mencionado.

**Fuerza de Compresión-Extrusión.** Se empleó el Texturómetro Universal Instron con una celda de compresión-extrusión Kramer, una celda de carga de 500 Kg, en un rango de 500 Kg; la velocidad del papel y del cabezal de 10 cm/min. La muestra de nixtamal fue de 25 gramos. Este método fue reportado por L. Alcantara (3), quien realizó una comparación de los diferentes métodos reportados para determinar textura en nixtamal. La colocación y distribución de la muestra de maíz nixtamalizado en la celda Kramer se llevo a cabo como se muestra en la Figura 12. La determinación se efectuó 15 veces, los resultados se agruparon en bloques al azar y por medio de un Análisis de Varianza se estableció el número mínimo de determinaciones. Para conocer la sensibilidad de la celda, se compararon los resultados de maíz amarillo y de maíz blanco por medio de un Análisis de Varianza, y posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan.

Figura 12. Prueba de compresión-extrusión de nistamal con celda Kramer.



## Medición de Textura en Masa

Materia Prima.- Se emplearon muestras de masa de maíz amarillo y blanco proporcionadas por un molino del Distrito Federal.

Fuerza de Compresión-Extrusión. Se empleó el Texturómetro Universal Instron para las siguientes determinaciones:

Celda de extrusión inversa, se empleó con una celda de carga de 500 Kg en un rango de 200 Kg; la velocidad del papel y del cabezal fue de 10 cm/min. Para determinar el peso de la muestra, se emplearon 300, 400 y 580 gramos de masa. El émbolo que comprime la masa se detiene 1 cm antes de que toque la base de la celda. Se registró la fuerza necesaria para comprimir y extruir la masa por el espacio libre de la celda de extrusión inversa y esta se expresó en Kgf/gramo, como se muestra en la Figura 13. Una vez determinada la cantidad de muestra, se estudió la textura de masa de maíz amarillo a 25 y 37 °C, estas determinaciones se realizaron cinco veces en cada caso y se obtuvieron los valores medios de textura; estos resultados se sometieron a un Análisis de Varianza para conocer el efecto de la temperatura en la textura de la masa. Para conocer la sensibilidad y confiabilidad de la celda se determinó la textura en masa de maíz amarillo y en masa de maíz blanco, cada determinación se hizo diez veces para cada tipo de masa, se obtuvo un valor medio y la desviación estándar; estos resultados se sometieron a un Análisis de Varianza y posteriormente a un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan

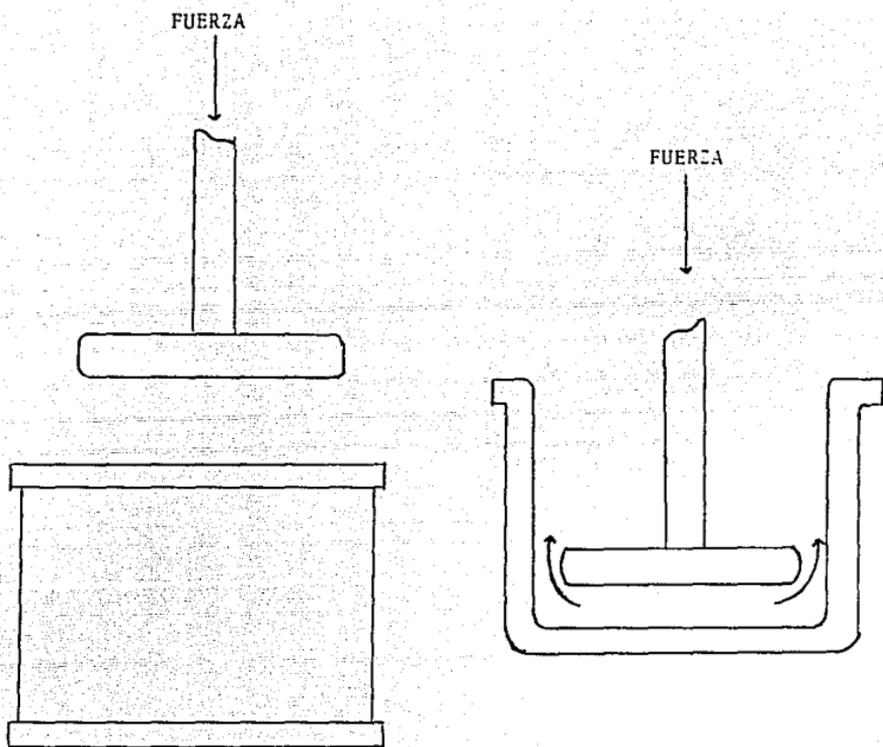


Figura 13. Prueba de compresión-extrusión de masa en celda de extrusión inversa.

Celda de compresión-extrusión Ottawa, se empleó una celda de carga de 500 Kg en un rango de 200 Kg; la velocidad del papel y del cabezal fue de 10 cm/min. Se emplearon 300 gramos de muestra. La celda Ottawa consta de dos aditamentos, los cuales son: a) base con láminas, y b) base con orificios (Figura 14), en ambos casos se registró la fuerza máxima necesaria para comprimir y extruir la masa por los espacios libres de la celda, expresando los resultados en Kgf/gramo de muestra. Para conocer la sensibilidad de las celdas, se emplearon muestras de masa de maíz amarillo y de masa de maíz blanco. Estas determinaciones se efectuaron ocho veces para cada variedad y con cada celda, de donde se obtuvieron los valores medios de textura y la desviación estándar, estos resultados se sometieron a un Análisis de Varianza, y posteriormente a un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan. Para conocer la cantidad mínima de determinaciones para obtener resultados confiables se hicieron quince determinaciones y los resultados se agruparon al azar y se sometieron a un Análisis de Varianza.

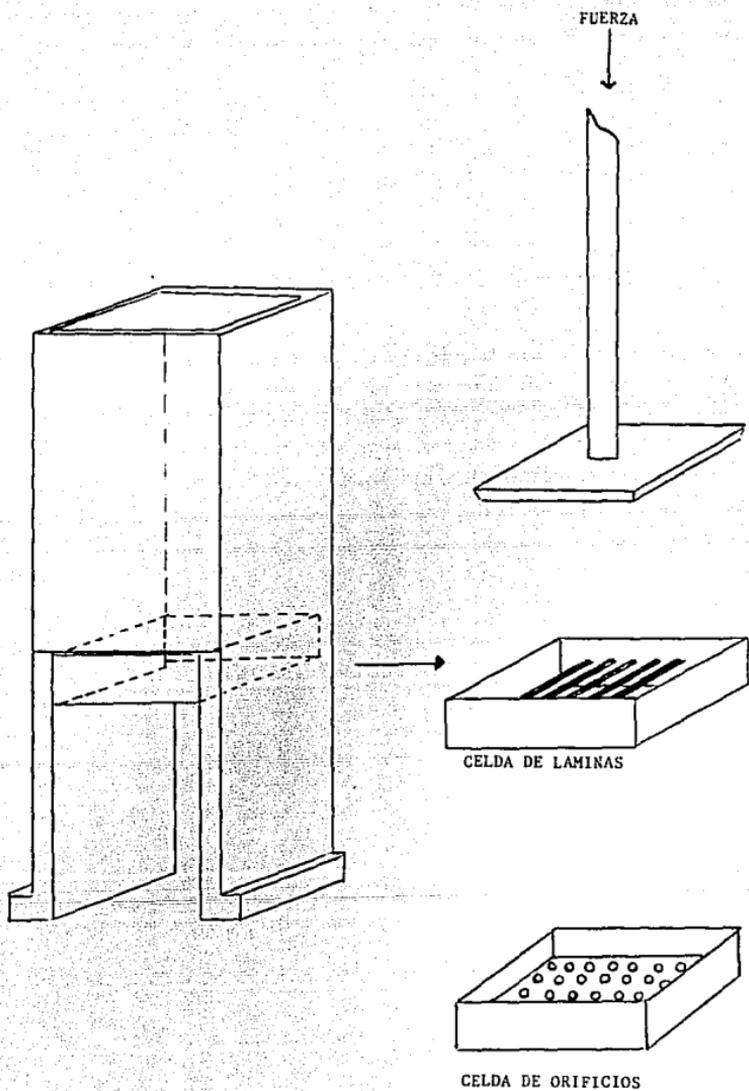


Figura 14. Prueba de compresión-extrusión de masa en la celda Ottawa de láminas y orificios.

## Medición de Textura en Tortilla

Materia Prima.- Se emplearon muestras de tortillas de maíz amarillo y de maíz blanco, proporcionadas por un molino del Distrito Federal.

La tortilla es un producto de maíz que se adquiere y consume en caliente, por lo que se pensó en hacer la determinación en caliente. También la tortilla se consume generalmente enrollada, y de esta forma se tienen de 4 a 10 capas de tortilla.

Fuerza de Corte. Se empleó el Texturómetro Universal Instron con las cuchillas de corte triangulares, con una celda de carga de 2 Kg, en un rango de 2 Kg; la velocidad del cabezal y del papel fue de 20 y 10 cm/min respectivamente, la temperatura de la tortilla era de 30-40 °C. Cada tortilla se enrolló de manera que quedaran de 9 a 10 capas de tortilla y se hicieron tres cortes en el centro con un centímetro de distancia cada uno, como se muestra en la Figura 15. Esta determinación se hizo en veinte tortillas y se registró la fuerza máxima necesaria para hacer los cortes, los resultados se expresaron en Kgf y se obtuvieron los valores medios de textura y la desviación estándar. Posteriormente para conocer la sensibilidad de la celda se determinó la textura en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo, los resultados obtenidos se sometieron a un Análisis de Varianza y posteriormente a un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan.

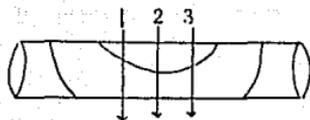
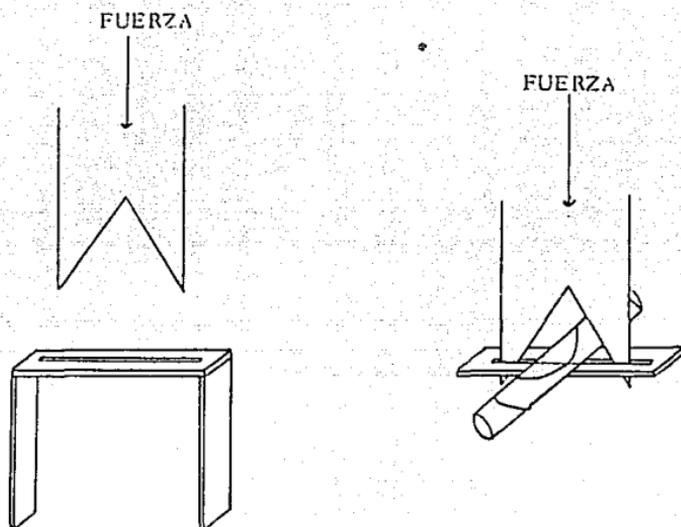


Figura 15. Prueba de corte de la tortilla Las cuchillas de corte triangulares.

Fuerza de Compresión-Extrusión. Se empleó el Texturómetro Universal Instron y como aditamento la celda Kramer; con una celda de carga de 500 Kg en un rango 200 Kg, la velocidad del cabezal y del papel fue de 10 cm/min. Las tortillas se cortaron en secciones de 6x6 cm y para determinar la cantidad de muestra se hicieron determinaciones con 2, 4, 6 y 8 secciones de tortilla, las cuales se pesaron y se colocaron en la base de la celda; se registró la fuerza máxima necesaria para comprimir, cortar y extruir las secciones de tortilla, expresando los resultados en Kgf/gramo de muestra (Figura 16). Posteriormente se midió la resistencia a la compresión-extrusión en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo, por medio de un Análisis de Varianza y un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se determinó la sensibilidad de la celda para diferenciar entre las dos variedades de maíz. Para conocer el número mínimo de determinaciones que dieran resultados confiables, se hicieron veinte determinaciones, estos resultados se agruparon al azar y se sometieron a un Análisis de Varianza.

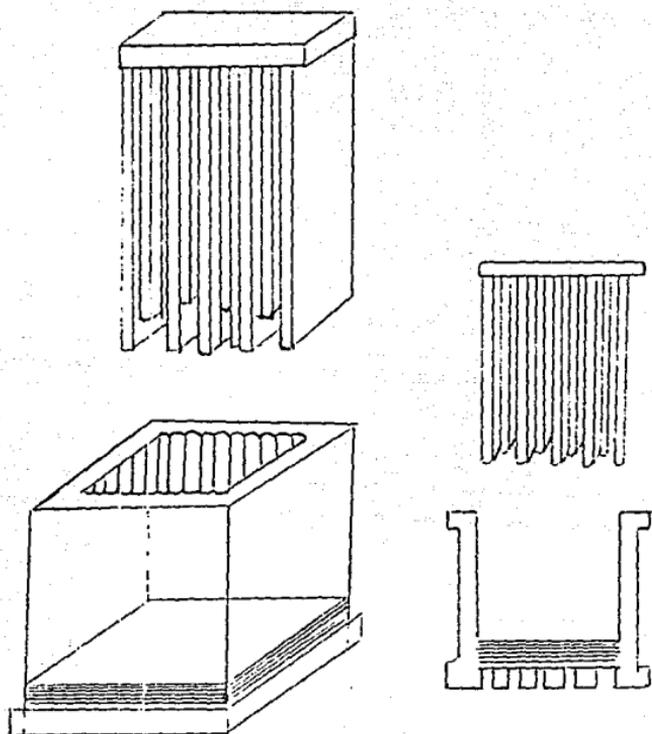


Figura 16. Prueba de compresión-extrusión de la tortilla en la celda Kramer.

## ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

Una vez elegido el método más adecuado para la determinación de textura de cada uno de los productos que se obtienen durante el proceso de elaboración de la tortilla, se procedió a estudiar el proceso actual de elaboración de la tortilla en la pequeña industria.

Con este fin se visitaron varios molinos y tortillerías de la Ciudad de México para conocer la materia prima, el equipo utilizado, las condiciones de proceso y las diferencias que se pudieron presentar entre sí y con lo reportado en la literatura.

## ESTUDIO DEL EFECTO DEL TIPO DE CAL DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA.

Materia Prima.- Se emplearon muestras de maíz, nixtamal, masa y tortilla provenientes de procesos con diferentes tipos de cal para la elaboración de la tortilla.

Selección del molino.- el estudio se realizó en una industria con el proceso integrado, esto es, nixtamalización, molienda y elaboración de la tortilla; esta industria trabaja con una máquina tortilladora Verástegui y que sigue el proceso actualmente utilizado.

Proceso.- Se dieron las facilidades para medir el efecto de tres tipos de cal y el tiempo de nixtamalización en la textura del nixtamal, masa y tortilla, siendo estos tipos de cal: "CAL-BERNAL", "CAL-APAX" Y "PIRACAL". Una vez iniciado el proceso de nixtamalización, se tomaron muestras de maíz para medir el efecto de diferentes intervalos de tiempo en la textura del nixtamal,

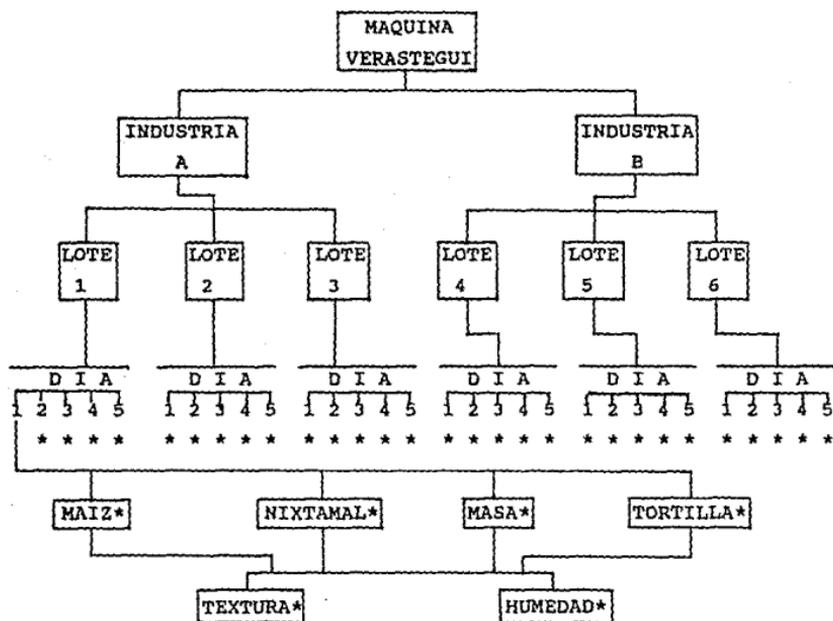
hasta la elaboración de la masa. Una vez concluida la nixtamalización, se tomaron muestras de masa y tortilla para el análisis de textura. Para cada tipo de cal utilizada, se elaboraron las curvas del efecto del tiempo de nixtamalización en la textura y se obtuvo la ecuación correspondiente, analizandose posteriormente el efecto de la cal en la calidad de la tortilla.

#### ESTUDIO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS PRODUCTOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

Materia Prima.- Se emplearon muestras de maíz, nixtamal, masa y tortilla provenientes de cuatro molinos y tortillerias.

Selección de molinos.- se escogieron cuatro molinos y tortillerias de la Ciudad de México, las cuales tienen integrado el proceso de nixtamalización, molienda y elaboración de la tortilla. Dos de estos molinos trabajan con una máquina tortilladora de marca "Verastegui" y los otros dos con una máquina de marca "Celorio". Cada molino recibe maíz que proviene de los almacenes de CONASUPO una vez por semana, por lo que se considero que el lote de maíz cambia cada semana. Se tomaron muestras durante tres semanas, esto es, tres diferentes lotes de maíz. Cada semana se tomaron muestras de maíz, nixtamal, masa y tortilla durante cinco días, y cada día se les determinó textura y humedad (Figura 17).

FIGURA 17. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS PRODUCTOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA.



\* LO MISMO QUE EN EL DIA 1



Evaluación de Textura.- Siguiendo la metodología previamente establecida, en el caso de maíz la determinación de textura se repitió quince veces en cada muestreo, en el caso del nixtamal, masa y tortilla la determinación se repitió cinco veces.

Durante este muestreo se evaluó la calidad física de los granos de maíz y las características de humedad del nixtamal, la masa y la tortilla. Durante las tres semanas de muestreo se observaron las variaciones de la textura de los diferentes productos en cada una de las industrias. Posteriormente se determinaron los límites de textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla, en los que trabaja la pequeña industria. Finalmente se buscó una repercusión de la textura del maíz, en la textura del mixtamal, la masa y la tortilla. También se comparó la textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla entre industrias.

#### ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos en cada determinación se obtiene la media y la desviación estándar.

El análisis estadístico de los resultados de textura obtenidos en cada uno de los productos se realiza siguiendo pruebas de análisis de varianza (ANOVA) considerando niveles de probabilidad de 5% ( $p < 0.05$ ) (19) .

A las muestras que son diferentes se les aplicó la prueba de Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, la cual es una comparación entre pares, y sirve para evaluar si hay o no una diferencia significativa del 5% entre cada uno de los productos que se obtienen durante el proceso de elaboración de la tortilla (19).

Por medio del análisis de correlación lineal de mínimos cuadrados, se puede determinar si existe o no una correlación de la textura del maíz con los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla.

## RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### MONTAJE DE TECNICAS PARA LA DETERMINACION DE TEXTURA EN MAIZ, NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA

Debido a que no se conoce un método confiable para la determinación de la textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla; de las diferentes técnicas reportadas por diversos autores, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales son confiables y reproducibles, de acuerdo a los análisis estadísticos realizados, como se vera más adelante.

#### Medición de Textura en Maíz

Fuerza de Corte.- En el CUADRO 5. se presentan los resultados obtenidos, como se puede observar se tiene un valor medio de textura de 81.8 Kgf/g, y una desviación estándar de 29.44. El método presenta el inconveniente de que el grano se sujeta con los dedos para mantenerlo firme durante el tiempo que se aplica la fuerza para cortarlo, pero aún así, el grano llega a moverse y esto puede influir en los resultados obtenidos.

CUADRO 5. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL GRANO DE MAIZ CON LAS CUCHILLAS TRIANGULARES DE CORTE. Kgf/grano.

	FUERZA MAXIMA		FUERZA MAXIMA
1	119.14	11	80.50
2	109.48	12	41.86
3	90.16	13	125.92
4	80.50	14	86.94
5	70.84	15	16.10
6	41.52	16	77.28
7	67.96	17	70.84
8	135.24	18	112.70
9	96.60	19	99.82
10	67.62	20	45.08
X	81.80		
Tn-1	29.44		

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

Fuerza de Compresión-Extrusión. En el CUADRO 6 se puede observar lo siguiente: la resistencia a la compresión y extrusión del grano de maíz es muy similar si se toman 5 gramos de muestra o lo equivalente a 20 granos. Con 5 gramos de muestra, se obtuvo para el maíz blanco un valor medio de 40.26 Kgf/g con una desviación estándar de 4.37 y para el maíz amarillo de 39.34 Kgf/g con una desviación estándar de 5.16. Por este método la desviación estándar fue menor que con la prueba de fuerza de corte, sin embargo, la celda no tiene sensibilidad para diferenciar la textura entre dos variedades, ya que entre la fuerza de compresión-extrusión del maíz amarillo y del maíz

blanco no existe una diferencia significativa, como lo mostraron los análisis estadísticos realizados.

CUADRO 6. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION-EXTRUSION DEL GRANO DE MAIZ EN LA CELDA KRAMER PARA DOS VARIETADES DE MAIZ.

	MAIZ BLANCO		MAIZ AMARILLO	
	5 GRAMOS Kgf/g	20 GRANOS Kgf/g	5 GRAMOS Kgf/g	20 GRANOS Kgf/g
1	39.47	32.9	46.05	38.28
2	42.11	37.06	40.46	33.00
3	37.83	30.89	34.53	36.21
4	46.05	31.30	38.42	47.36
5	38.82	43.67	31.49	39.47
6	40.79	39.17	31.57	39.64
7	44.08	34.86	42.10	30.74
8	32.24	29.68	40.78	40.01
9	41.45	43.33	33.88	36.34
10	36.51	35.16	37.50	41.12
X	40.26	35.80	39.34	36.49
Tn-1	4.37	4.98	5.16	3.59

X - valor medio      Tn-1 - desviación estándar

Fuerza de Penetración. Los punzones empleados de 1, 2 y 3 mm de diámetro al penetrar en el grano de maíz lo rompen. En el CUADRO 7 se resumen los resultados de estas 100 determinaciones para cada uno de los punzones, donde se puede observar, que a medida que aumenta el diámetro del punzón, la fuerza de penetración aumenta, al igual que la variación de los resultados como lo muestra la desviación estándar.

CUADRO 7. DETERMINACION DE TEXTURA EN MAIZ AMARILLO CON PUNZONES DE 1, 2 Y 3 MILIMETROS DE DIAMETRO. Kgf/grano.

	1 mm	2 mm	3 mm
X	12.74	14.79	15.05
Tn-1	2.58	4.67	6.06
X - valor medio	Tn-1 - desviación estándar		

Por medio de estos resultados se concluyó que es mejor emplear el punzón de 1 mm de diámetro, ya que presenta una menor desviación estándar, esto es, una mayor reproducibilidad en los resultados. Posteriormente se determinó la resistencia a la penetración en seis diferentes variedades de maíz.

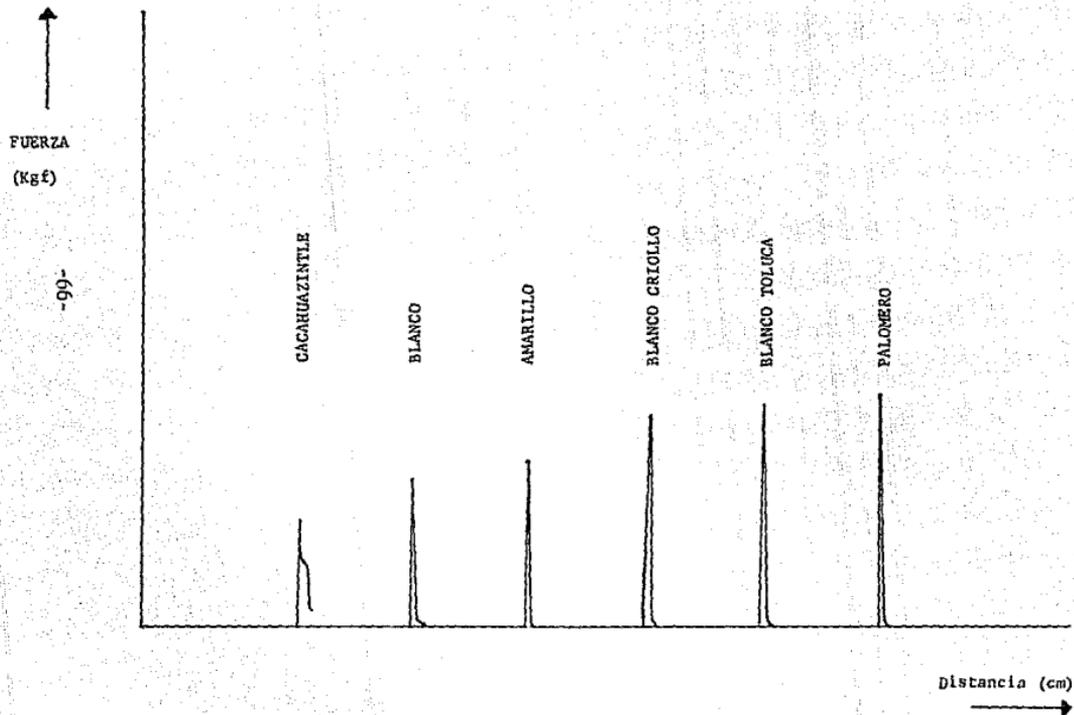
En el CUADRO 8 se observa el valor medio de las 80 determinación de textura para las seis diferentes variedades y la desviación estándar para cada una de ellas. Por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA) se tiene que el valor de textura para las seis variedades es diferente, posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se encontró que no se presenta una diferencia significativa en la textura entre el maíz palomero y el maíz blanco Toluca, y entre el maíz blanco Toluca y el blanco Criollo. Entre las demás variedades se encontró una diferencia significativa del 5%. En la Figura 18 se representan graficamente los resultados obtenidos con el punzón de 1 mm de diámetro en las seis diferentes variedades.

CUADRO 8. DETERMINACION DE TEXTURA EN SEIS DIFERENTES VARIEDADES DE MAIZ CON PUNZON DE 1 MILIMETRO DE DIAMETRO. Kgf/grano.

VARIEDAD DE MAIZ	X	Tn
PALOMERO	15.44	2.48
BLANCO TOLUCA	14.93	3.07
BLANCO CRIOLLO	14.65	3.10
AMARILLO	11.99	3.42
B L A N C O	10.33	3.41
CACAHUAZINTLE	7.65	2.78

X - valor medio      Tn-1 - desviación estándar

Figura 18. Textura de diferentes variedades de maíz en el Instron, en una prueba de penetracion con un punzon de punta plana de 1mm de diametro.



Se eligió la prueba de penetración con el punzón de 1 mm de diámetro, ya que los resultados son reproducibles al dar la menor desviación estándar y el método es sensible para diferenciar entre diferentes variedades. Por medio de un Análisis de Varianza, se estableció que número mínimo de determinaciones a realizar son 15.

En la CUADRO 9 se resumen las condiciones de operación del Texturómetro Universal Instron en la prueba de textura del maíz, y en la Figura 19 se muestra la curva típica en el Instron en una prueba de penetración para maíz con un punzón de punta plana de 1 mm de diámetro.

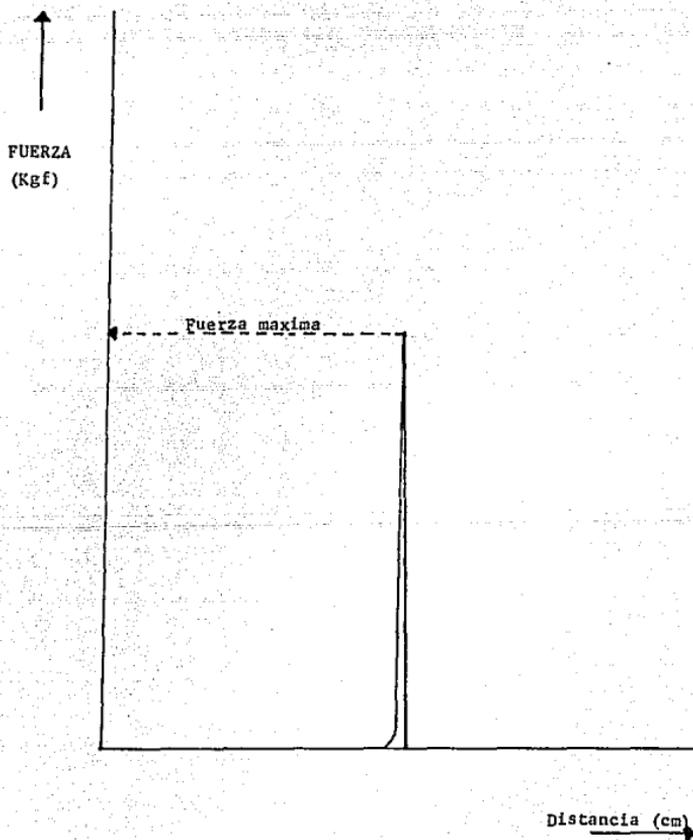
CUADRO 9. CONDICIONES DE OPERACION DEL INSTRON EN LA PRUEBA DE TEXTURA DEL MAIZ.

---

CELDA DE CARGA REVERSIBLE	500 Kg
VELOCIDAD DEL CABEZAL	10 cm/min
VELOCIDAD DE LA CARTA	10 cm/min
PUNZON DE PUNTA PLANA	1 cm de diámetro
LIMITE DE ESCALA DE FUERZA	50 Kg
NUMERO DE DETERMINACIONES	15
TAMAÑO DE MUESTRA	15 Granos de Maíz

---

Figura 19. Curva típica del Instron en una prueba de penetracion para maiz con un punzon de punta plana de 1mm de diámetro.



## Medición de Textura en Nixtamal

Fuerza de Compresión-Extrusion. En los resultados obtenidos en la celda Kramer para la medición de la resistencia a la compresión-extrusión de los granos de maíz ya nixtamalizados se obtuvo un valor medio de la textura para el nixtamal de maíz blanco de 9.61 Kgf/g y una desviación estándar de 0.73; para el nixtamal de maíz amarillo se obtuvo un valor medio de 10.17 Kgf/g y una desviación estándar de 0.92. Estos resultados se representan esquemáticamente en la Figura 20, donde se puede apreciar la diferencia que existe entre la textura del nixtamal de maíz amarillo y de maíz blanco; esta diferencia se encontró por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), y posteriormente, por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se encontró una diferencia significativa del 5% entre ambas variedades. La desviación estándar de estos resultados nos indica que el método es confiable, ya que los resultados son reproducibles, y además, la sensibilidad de la técnica, ya que diferencia la textura entre dos variedades de maíz. por medio del análisis estadístico se encontró que el número mínimo de determinaciones a efectuar es de cinco.

En el CUADRO 10 se resumen las condiciones de operación del Texturómetro Universal Instron para la prueba de compresión-extrusión del nixtamal, y la Figura 21 muestra una curva típica en una prueba de compresión-extrusión para el nixtamal en la celda Kramer.

Figura 20. Textura de dos variedades diferentes de maíz nixtamalizado, en el Texturometro Universal Instron en una prueba de compresión-extrusion en celda Kramer.

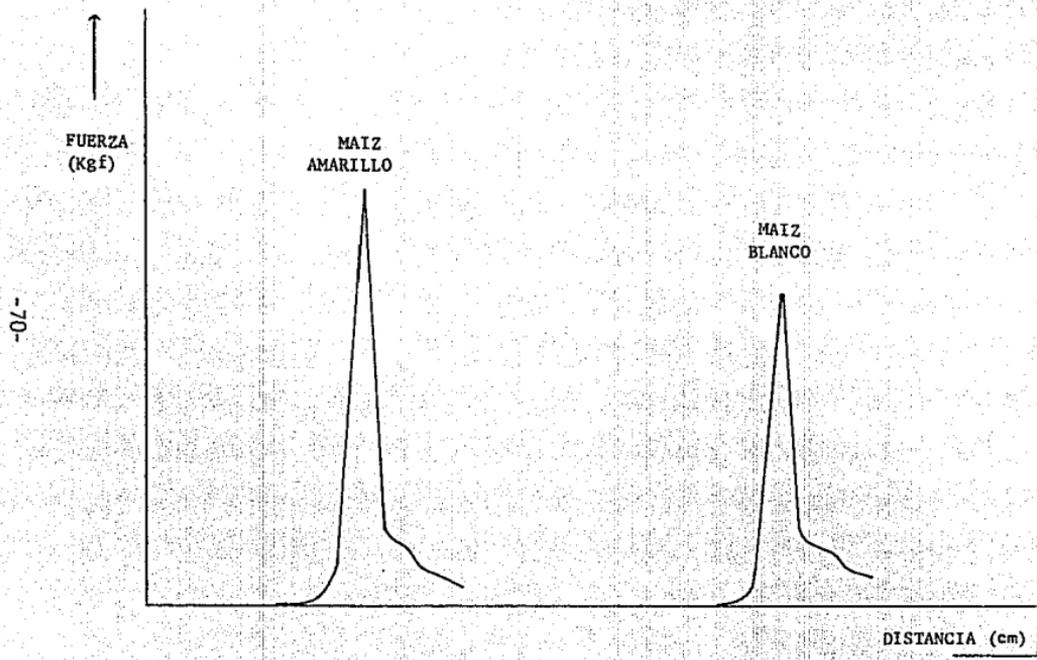
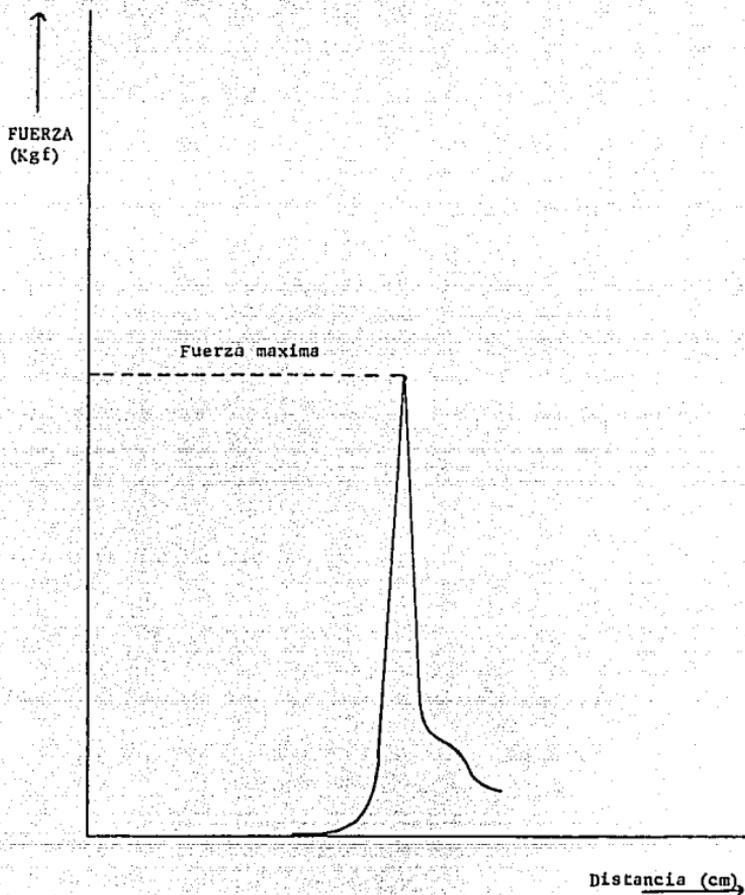


Figura 21. Curva típica en el Instron para una prueba de compresión-extrusión para nixtamal en celda Krämer.



CUADRO 10. CONDICIONES DE OPERACION DEL INSTRON EN LA PRUEBA DE TEXTURA EN NIXTAMAL.

---

CELDA DE CARGA REVERSIBLE	500 Kg
VELOCIDAD DEL CABEZAL	10 cm/min
VELOCIDAD DE LA CARTA	10 cm/min
CELDA KRAMER	
LIMITE DE ESCALA DE FUERZA	500 Kg
NUMERO DE DETERMINACIONES	5
TAMAÑO DE MUESTRA	25 gramos

---

Medición de Textura en Masa

Fuerza de Compresión-Extrusión. Esta determinación se llevó a cabo en dos celdas diferentes en el Texturómetro Universal Instron obteniendo los siguientes resultados:

Celda de Extrusión Inversa. Con las diferentes cantidades de muestra se obtuvieron los siguientes resultados: con 300 gramos la masa presentó una resistencia a la compresión y extrusión de 51.95 Kgf, con 400 gramos de 69.74 y con 580 gramos de 98.56 Kgf; para las tres diferentes cantidades de muestra, la textura en kilogramos fuerza por gramo de muestra es de 0.1743. La cantidad de muestra escogida fue de 400 gramos, ya que la textura de la masa es proporcional a la cantidad de muestra, a mayor cantidad de masa mayor resistencia a la compresión y extrusión, y si la textura se expresa en Kgf/g, no importa la cantidad de muestra. La temperatura de la masa influyó en la

textura de la tortilla, ya que a 25 °C la textura fue de 109.29 Kgf y a 37 °C de 67.54 Kgf, esto es a mayor temperatura menor resistencia a la compresión y extrusión. Para conocer la sensibilidad de la celda se emplearon muestras de masa de maíz amarillo y de masa de maíz blanco, esto fue con el fin de verificar si el método era sensible a esta diferencia, ya que al tacto, la masa de ambas variedades de maíz tiene una textura diferente. En el CUADRO 11 se resumen los resultados de las 10 determinaciones de la resistencia a la compresión-extrusión de la masa de maíz amarillo y de maíz blanco, los cuales están expresados en Kgf por gramo de muestra.

CUADRO 11. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION-EXTRUSION DE MASA DE MAIZ BLANCO Y AMARILLO, EN LA CELDA DE EXTRUSION INVERSA. Kgf/g.

	MASA DE MAIZ BLANCO	MASA DE MAIZ AMARILLO
X	0.236	0.209
Tn-1	0.013	0.003
X - valor medio	Tn-1 - desviación estándar	

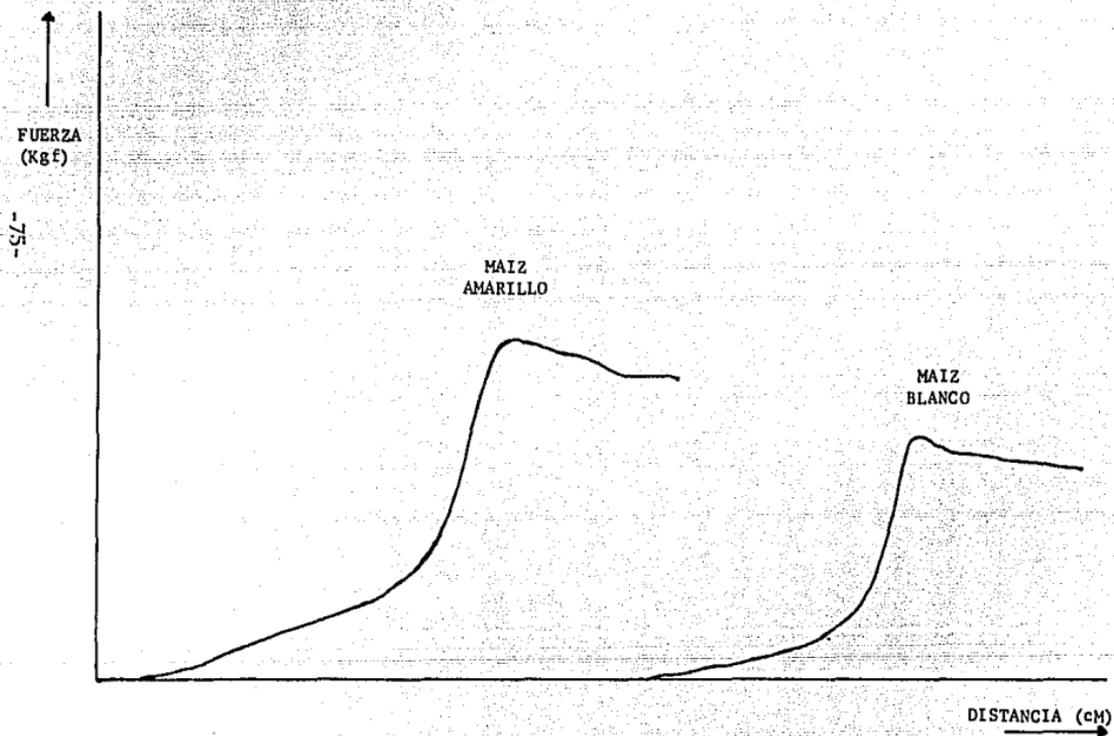
Los resultados obtenidos en la determinación de la textura de la masa de las dos diferentes variedades de maíz, por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), se encontró que son diferentes, pero por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan no se encontró una diferencia significativa.

Celda de Compresión-Extrusión Ottawa. Debido a que esta celda consta de dos aditamentos diferentes, se midió la resistencia a la compresión-extrusión de masa de maíz amarillo y de masa de maíz blanco, en ambos aditamentos. Los resultados obtenidos se muestran en el CUADRO 12. Por medio de un Análisis de Varianza se encontró que la textura de la masa es diferente en ambas variedades, y esta diferencia, es detectada tanto por la celda de láminas como la de orificios. Posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se observó una diferencia significativa del 5% entre la masa de maíz blanco y la de maíz amarillo. Ambas celdas son sensibles para detectar esta diferencia y se eligió la celda de láminas, ya que el proceso de extrusión es semejante al de la industria, así como por fines prácticos, ya que es más fácil su limpieza. En la Figura 22 se puede apreciar gráficamente la diferencia en la textura de la masa de maíz blanco y de maíz amarillo en la celda Ottawa de láminas. Por medio del análisis estadístico se encontró que el número mínimo de determinaciones para obtener resultados confiables es de cinco.

CUADRO 12. DETERMINACION DE TEXTURA EN MASA DE MAIZ BLANCO Y DE MAIZ AMARILLO EN CELDA OTTAWA DE LAMINAS Y DE ORIFICIO. Kgf/g.

	CELDA DE LAMINAS		CELDA DE ORIFICIO	
	MAIZ BLANCO	MAIZ AMARILLO	MAIZ BLANCO	MAIZ AMARILLO
X	0.059	0.072	0.050	0.086
Tn-1	0.003	0.003	0.0	0.0
X - valor medio		Tn-1 - desviación estándar		

Figura 22. Textura de dos diferentes variedades de masa de maíz nixtamalizado, en el Instron en una prueba de compresión-extrusión en celda Ottawa de láminas.



Debido a que la celda de compresión-extrusión Ottawa es sensible a las diferencias de textura de la masa de maíz amarillo y de maíz blanco, y que la celda de extrusión inversa no puede diferenciar, se escogió la celda Ottawa de láminas. En el CUADRO 13 se resumen las condiciones de operación del Texturómetro Universal Instron en la prueba de textura en masa, en una celda Ottawa de láminas, y en la Figura 23 se tiene una curva típica en el Instron en una prueba de compresión-extrusión de masa de maíz nixtamalizado, en una celda Ottawa de láminas.

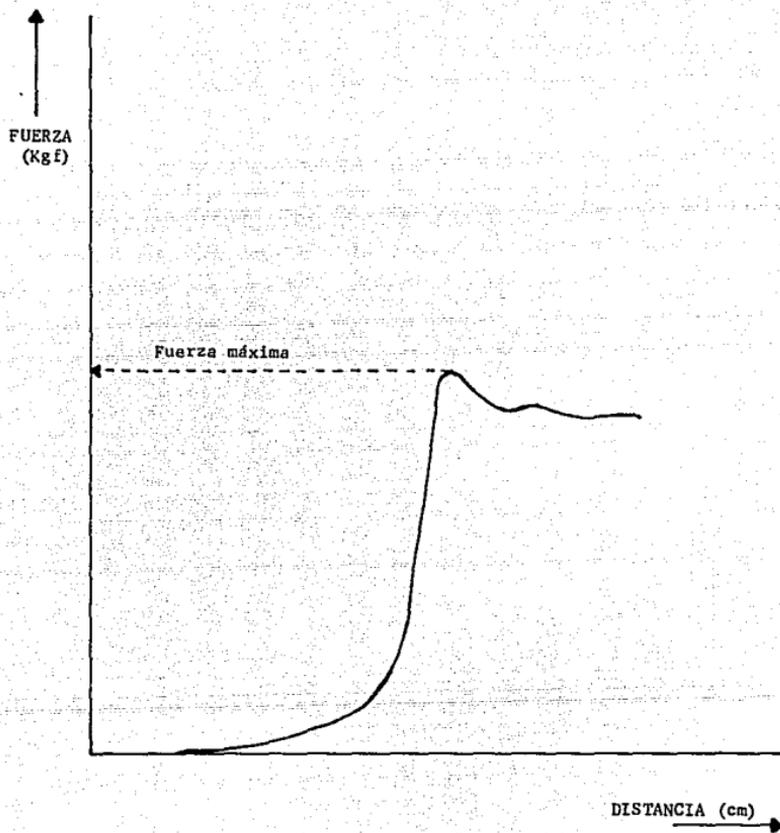
CUADRO 13. CONDICIONES DE OPERACION DEL INSTRON EN LA PRUEBA DE TEXTURA DE LA MASA.

---

CELDA DE CARGA REVERSIBLE	500 Kg
VELOCIDAD DEL CABEZAL	10 cm/min
VELOCIDAD DE LA CARTA	10 cm/min
CELDA OTTAWA DE LAMINAS	
LIMITE DE ESCALA DE FUERZA	50 Kg
NUMERO DE DETERMINACIONES	5
TAMAÑO DE MUESTRA	300 gramos

---

Figura 23. Curva típica del Instron en una prueba de compresión-extrusión de masa de maíz nixtamalizado en una celda Ottawa de láminas.



## Medición de Textura en Tortilla

Fuerza de Corte. La resistencia al corte de la tortilla, se determinó en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo, ya que al tacto con los dedos y al morder la tortilla, ambas presentan una textura diferente. La determinación se hizo en tortillas calientes y enrolladas, esto es, entre 38 y 40 °C y formando de 9 a 10 capas de tortilla al enrollarlas; la humedad de la tortilla se debe mantener entre un 39 y 41%. Los resultados obtenidos de esta determinación se resumen en el CUADRO 14, donde se puede observar que entre las tortillas de maíz amarillo y las de maíz blanco, la textura es diferente, sin embargo por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan no se encontró una diferencia significativa; lo cual indica que este método no es sensible para detectar esta diferencia, a pesar de que los resultados son repetitivos. La temperatura y la humedad son factores muy importantes en esta determinación, ya que a menor temperatura y humedad, la fuerza necesaria para cortar la tortilla es mayor, además de que ya no se puede enrollar y se rompe.

CUADRO 14. DETERMINACION DE LA TEXTURA EN TORTILLAS DE MAIZ BLANCO Y DE MAIZ AMARILLO CON CUCHILLAS DE CORTE TRIANGULARES.

Kgf/g

---

	TORTILLAS MAIZ BLANCO	TORTILLAS MAIZ AMARILLO
X	1.03	1.2
Tn-1	0.1	0.3

---

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

Fuerza de Compresión-Extrusión. Para medir la resistencia a la compresión-extrusión de la tortilla en la celda Kramer, la tortilla puede estar a temperatura ambiente, ya que no es necesario enrollarla. En el estudio de la cantidad de muestra, se hicieron determinaciones con 2, 4, 6 y 8 secciones de tortilla de 6x6 cm, y la fuerza de compresión fue de 5.98, 7.01, 8.09 y 9.14 respectivamente, la cual es proporcional a la cantidad de muestra; con estos resultados se eligió trabajar con 4 secciones de tortilla, ya que con esta cantidad de muestra se obtuvieron los resultados con menor variación. Una vez establecida la cantidad de muestra, se determinó la resistencia a la compresión-extrusión de tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo. Los resultados obtenidos se resumen en el CUADRO 15, donde se puede observar la diferencia que existe entre la textura de tortillas blancas y amarillas, esta diferencia fue obtenida por un Análisis de Varianza (ANOVA); posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se encontró una diferencia significativa del 5%. Estos resultados se representan gráficamente en la Figura 24, donde se puede apreciar que la tortilla de maíz blanco es más suave que la maíz amarillo. Por medio del análisis estadístico se encontró que el número mínimo de determinaciones para obtener resultados confiables es de cinco.

CUADRO 15. DETERMINACION DE LA TEXTURA EN TORTILLAS DE MAIZ BLANCO Y DE MAIZ AMARILLO EN CELDA KRAMER. Kgf/g

	TORTILLAS MAIZ BLANCO	TORTILLAS MAIZ AMARILLO
X	4.04	8.86
Tn-1	0.29	0.59

X - valor medio      Tn-1 - desviación estándar

Figura 24. Textura de tortilla de dos diferentes variedades de maíz, en el Instron en una prueba de presión-extrusión en celda Kramer.

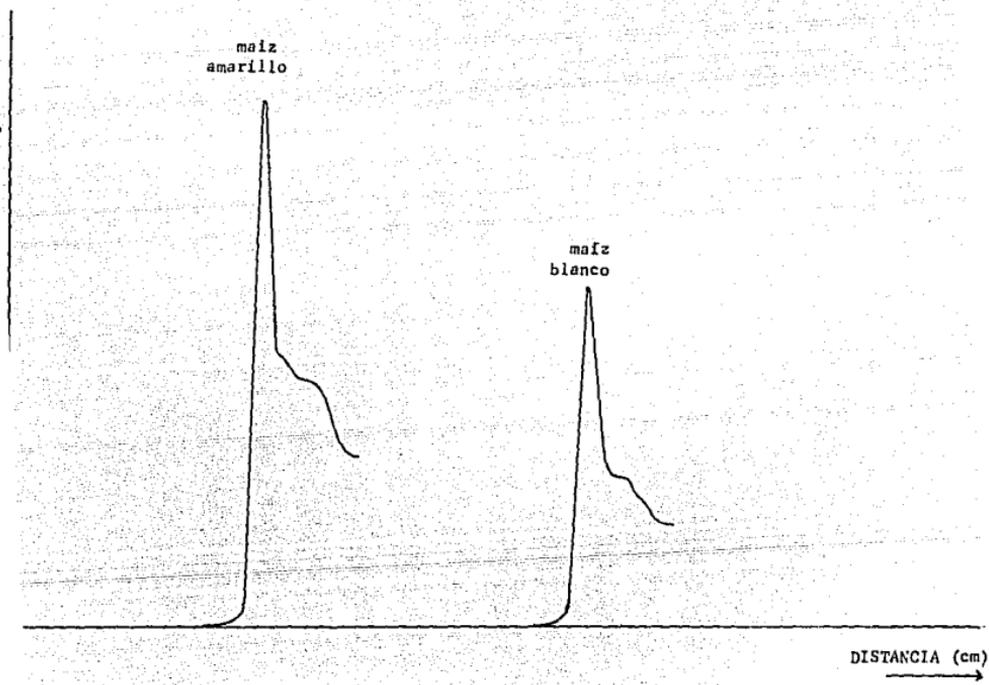
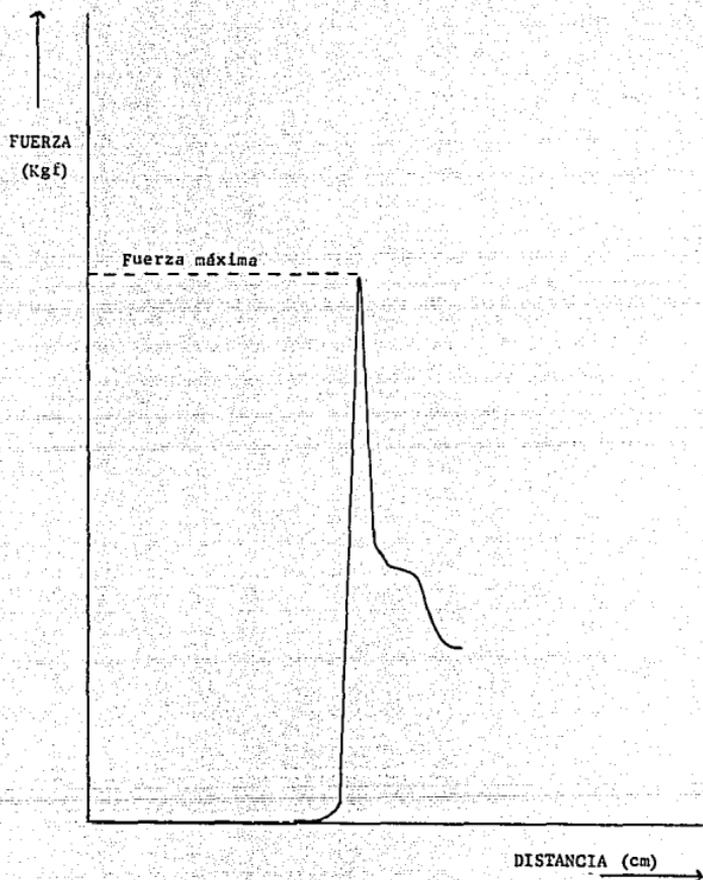


Figura 25. Curva típica de una prueba de compresión-extrusión en el Instron para tortilla en celda Kramer.



Debido a que la celda de extrusión inversa es sensible a diferenciar la textura de las tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo, y no presenta una gran variación en los resultados, se escogio la celda Kramer para determinar la textura de la tortilla. En el CUADRO 16 se resumen las condiciones de operación del Texturómetro Universal Intron para la determinación de textura en tortilla, y en la Figura 25 se muestra una curva típica en una prueba de compresión-extrusión para tortilla en celda Kramer.

CUADRO 16. CONDICIONES DE OPERACION DEL INSTRON EN LA PRUEBA DE TEXTURA DE LA TORTILLA.

---

CELDA DE CARGA REVERSIBLE	500 Kg
VELOCIDAD DEL CABEZAL	10 cm/min
VELOCIDAD DE LA CARTA	10 cm/min
CELDA KRAMER	
LIMITE DE ESCALA DE FUERZA	200 Kg
NUMERO DE DETERMINACIONES	5
TAMAÑO DE MUESTRA	4 secciones de tortilla de 6x6 cm.

---

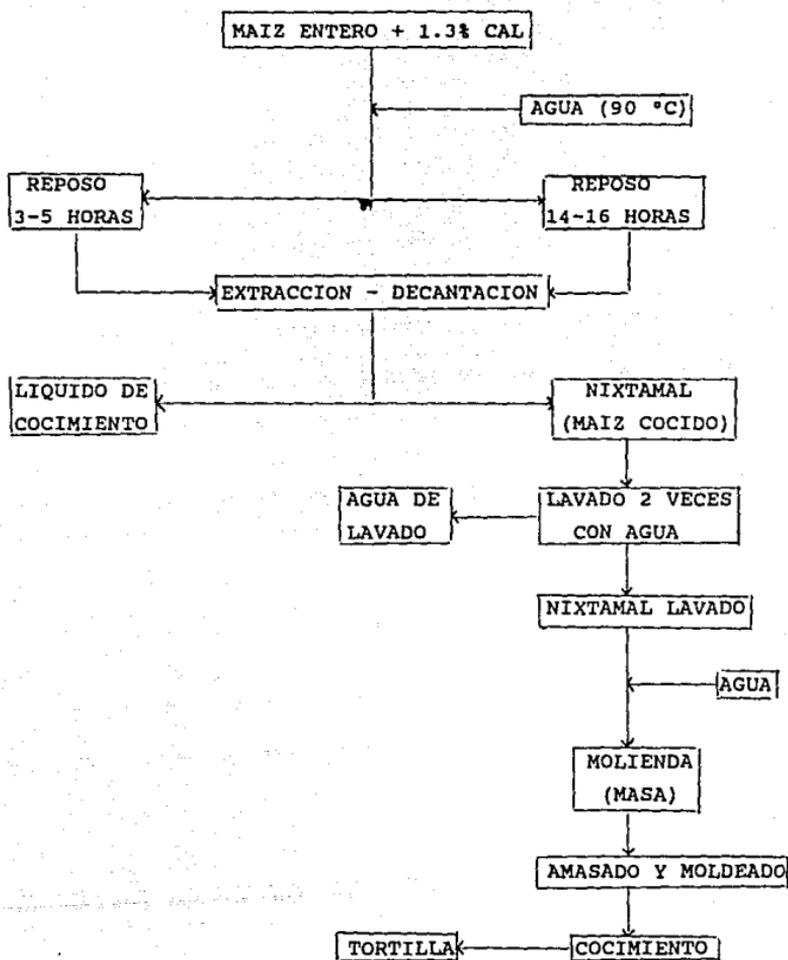
## ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

El proceso de elaboración de la tortilla en la PEQUEÑA industria ha sufrido actualmente algunos cambios, cada industria modifica el proceso según las condiciones del grano, la marca de cal y las necesidades de la industria. Las cuatro industrias seleccionadas llevan a cabo el siguiente proceso para la elaboración de las tortillas, el cual se resume en la Figura 26.

En la tina de nixtamalización se ciernen 10 bultos de maíz de 75 Kg cada uno. Se adiciona cal en una proporción de 0.7 a 1 Kg por cada bulto de 75 Kg de maíz; un total de 10 Kg de cal. Se añade agua directamente de la caldera, a una temperatura de 90 °C hasta cubrir todo el maíz, aproximadamente 1000 litros de agua. Se mezcla hasta homogeneizar la cal en el agua y se deja en reposo 16 horas. Posteriormente, cuando al grano de maíz se le desprende fácilmente el pericarpio, está listo para ser molido, el cual está a temperatura ambiente; el nixtamal es lavado dos veces con agua para eliminar el exceso de cal. Durante la molienda se adicionan aproximadamente 10 litros de agua para poder obtener la masa. Esta masa va a ser amasada, moldeada y cocida para obtener la tortilla.

Existen algunas variaciones durante el proceso, las cuales dependen principalmente del grano de maíz que reciba cada industria, ya que actualmente se trabaja con maíz importado de diferentes países y de variedades diferentes. Algunas veces, según la demanda de masa y tortilla, el maíz se deja nixtamalizar de 3 a 5 horas únicamente, tiempo suficiente para que quede nixtamalizado y pueda ser molido; la molienda se lleva a cabo en caliente y se obtiene una masa casi blanca, a pesar de ser maíz amarillo. Este corto tiempo de nixtamalización no afecta en la molienda, pero en corto tiempo la masa adquiere un mal olor, por lo que se emplea rápidamente para hacer las tortillas. El proceso largo se lleva a cabo por fines prácticos, ya que el maíz se pone a cocer un día antes de ser molido el nixtamal, razón por la que dura de 14 a 16 horas el tiempo de reposo.

FIGURA 26. PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA UTILIZADO POR LA PEQUEÑA INDUSTRIA.



El proceso también se ve afectado por la marca de cal, ya que comunmente existen tres en el mercado, estas son "Cal-Apax", "Cal-Bernal", y la más común "Pira-Cal". Cuando se utiliza cal "Cal - Apax", se adiciona en una proporción de 700 gr por cada 75 Kg de maíz, si se sigue el proceso corto de nixtamalización se muele aproximadamente después de 4 a 5 horas, pero si es el proceso largo, antes de moler el nixtamal se le adiciona 1 Kg más de cal. Si se tiene "Cal-Bernal" se adiciona 1 Kg de cal por cada 75 Kg de maíz, y se sigue normalmente el proceso de nixtamalización largo. Cuando se utiliza la cal "Pira-Cal" el proceso no se ve afectado, ya que se adicionan normalmente 700 gr de cal y se sigue tanto el proceso corto como largo.

El proceso de amasado se ve afectado por la marca de la máquina tortilladora que se tenga. Si se tiene una máquina tortilladora de marca "Celorio", el amasado se lleva a cabo directamente en la máquina, ya que tiene integrado un amasador y utiliza un sistema de extrusión por aplastamiento, para inyectar la masa a alta presión, por medio de gusanos, hasta el rodillo, para formar una capa de 3 milímetros. Cuando se tiene la máquina tortilladora "Verástegui", el proceso de amasado es independiente, y se lleva a cabo en una amasadora de rodillos de piedra negra, los cuales permiten ejercer sobre la masa una mayor presión, posteriormente la masa se pasa a la máquina tortilladora.

El tamaño y grosor de la tortilla ya terminada varía según la demanda del consumidor, ya que dependiendo del uso que se le vaya a dar a la tortilla, esta puede tener diferentes diámetros, los cuales se logran cambiando el molde; el grosor de la tortilla depende del tipo de molienda, ya que si es muy fina la tortilla será delgada, dando un mayor rendimiento en cuanto a que hay un mayor número de tortillas por kilo, y cuando la molienda es más gruesa, se tienen menos tortillas por kilo, ya que éstas son más gruesas.

## ESTUDIO DEL EFECTO DE CAL DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA

Se evaluó la textura del nixtamal, masa y tortilla durante el proceso de nixtamalización con tres tipos diferentes de cal, las cuales son las más comunmente empleadas por la pequeña industria.

Como se puede observar en el CUADRO 17 la resistencia a la compresión y extrusión del nixtamal disminuye según pasa el tiempo durante el proceso térmico-alcalino. Dependiendo del tipo de cal que se utilice durante la nixtamalización será la textura final del nixtamal. Cuando se utiliza la "Cal-Bernal" para la nixtamalización, normalmente se sigue el proceso largo, ya que después de 17.5 horas, la textura es de 10.45 Kgf/gramo. Con la cal "Cal-Apax", se puede seguir tanto el proceso corto como el largo, ya que después de 5.25 horas la textura del nixtamal es de 10.94 Kgf/gramo, si se deja en reposo hasta 22 horas la textura es de 10.60 Kgf/gramo, entre las cuales no hay una diferencia significativa. Con la cal "Pira-Cal" que es la que comunmente se emplea en el proceso de nixtamalización, se puede seguir tanto el proceso corto como el largo, pues después de 3 horas de nixtamalización, el grano de maíz tiene una textura de 17.54 Kgf/gramo, y después de 21.25 horas la textura desciende a 12.06 Kgf/gramo, pero a pesar de ser mayor la resistencia de compresión y extrusión del nixtamal, después de las tres horas del proceso térmico-alcalino, se puede moler para obtener la masa.

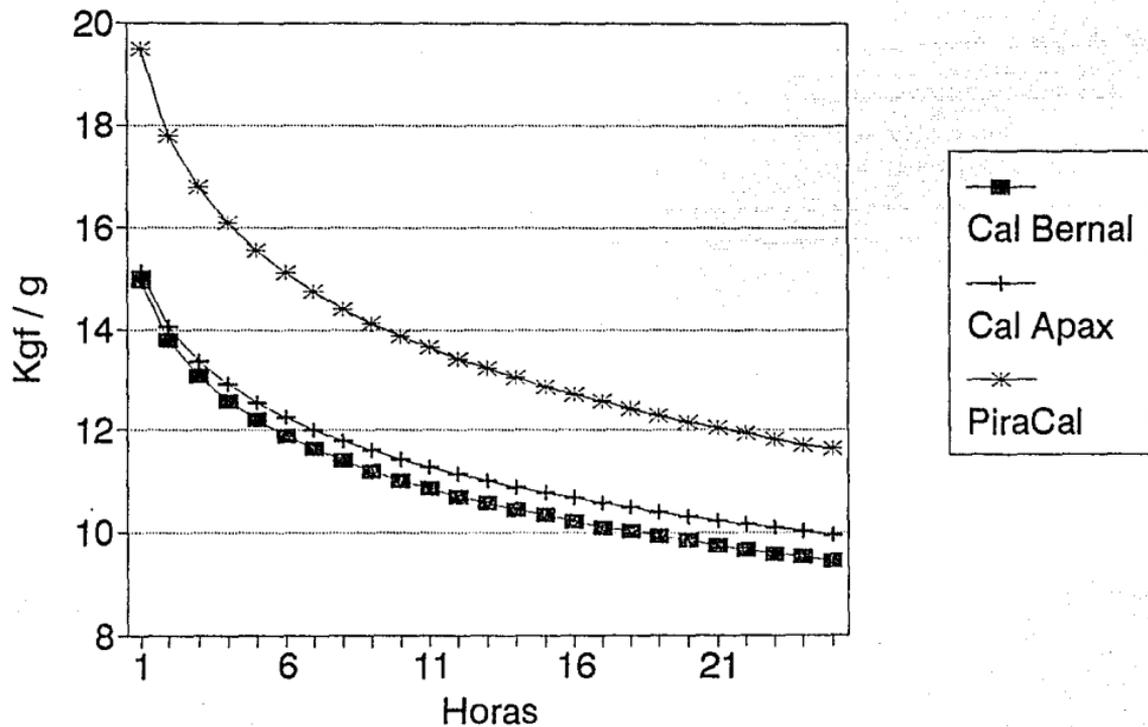
CUADRO 17. EFECTO DEL TIEMPO DE NIXTAMALIZACION EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DE NIXTAMAL DE MAIZ AMARILLO CON DIFERENTES TIPOS DE CAL.

CAL-BERNAL		CAL-APAX		PIRA-CAL	
TIEMPO HORAS	FUERZA Kgf/g	TIEMPO horas	FUERZA Kgf/g	TIEMPO horas	FUERZA Kgf/g
1.00	15.59	1.00	16.60	1.50	18.32
3.00	12.06	1.75	12.50	3.00	17.54
17.50	10.45	2.50	11.66	4.25	15.38
		3.25	12.63	21.25	12.06
		5.25	10.94		
		22.00	10.60		

Comparando la textura final del nixtamal, esto es, cuando ya se puede moler para obtener la masa, cada tipo de cal proporciona diferentes características de textura, ya que la "Cal-Bernal" y la "Cal-Apax" dan una textura al nixtamal de 10.45 y 10.60 Kgf/gramo respectivamente, las cuales no presentan una diferencia significativa entre ellos. Con la "Pira-Cal", la textura final es de 12.06 Kgf/gramo, la cual si presenta una diferencia significativa con la del nixtamal obtenido con los otros dos tipos de cal.

Con los resultados anteriores se obtuvieron las gráficas del comportamiento de la textura del nixtamal con respecto al tiempo de la nixtamalización. Como se puede observar en la Figura 27.

Figura 27. Efecto del tiempo de nixtamalización en la textura del nixtamal de maíz amarillo.



El nixtamal sigue un mismo comportamiento con los tres tipos de cal. Con la "Cal-Apax" y la "Cal-Bernal", el comportamiento es casi el mismo, ya que al final de la nixtamalización alcanzan prácticamente la misma textura. Con la "Pira-C al", a pesar de que el comportamiento del maíz durante la nixtamalización es el mismo que con las otras dos, la resistencia a la compresión y extrusión es mayor. A partir de estas curvas se obtuvieron las ecuaciones correspondientes para determinar la textura del nixtamal dependiendo del tiempo de nixtamalización y de la marca de cal. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Cal-Bernal} \quad F = 1.713 \ln (1/t) + 14.961$$

$$\text{Cal-Apax} \quad F = 1.613 \ln (1/t) + 15.145$$

$$\text{Pira-Cal} \quad F = 2.445 \ln (1/t) + 19.498$$

Estos resultados fueron analizados con los reportados en la literatura:

Khan, M.N. y colaboradores (38) reportan que la resistencia a la compresión del nixtamal es inversamente proporcional al tiempo de cocción, si aumenta el tiempo de cocción la resistencia al corte del nixtamal disminuye.

Martínez-Herrera, M.L. (40) y Rafaél Illescas (33), reportan que para determinar el punto final de la nixtamalización se debe desprender fácilmente el pericarpio del grano ya nixtamalizado, esto es lo que se hace en la pequeña industria para saber cuando moler el nixtamal. Sin embargo, esta decisión depende de la experiencia del operario, ya que algunas veces hasta que el nixtamal se comienza a moler y se obtiene la masa, es que el operario decide dejar más tiempo el nixtamal en la tina de nixtamalización o añadir más cal.

Al analizar el efecto del tiempo de nixtamalización y el tipo de cal en la textura de la masa, se puede observar lo siguiente: a pesar de los diferentes tipos de cal y tiempos de nixtamalización, el nixtamal se puede moler para obtener la masa y posteriormente la tortilla. Según los resultados obtenidos (CUADRO 18), el efecto del tiempo de nixtamalización se refleja en la textura de la masa, ya que no se presenta diferencia en la resistencia a la compresión y extrusión de la masa entre el proceso corto o largo de nixtamalización. Independientemente del tipo de cal, se obtiene la misma resistencia a la compresión y extrusión de la masa, por lo tanto, la diferencia de textura entre nixtamal y masa es consecuencia del efecto de la etapa de molienda, en que se homogeneizan los componentes de las diferentes estructuras del maíz, siendo éstos el pericarpio, almidón parcialmente cocido, almidón crudo, y el germen. Si se considera que esta etapa siempre esta acompañada de la adición de agua, se considera importante estudiar los cambios bioquímicos y reológicos que se presentan en esta etapa, ya que no han sido previamente estudiados ni reportados en la literatura.

CUADRO 18. EFECTO DEL TIEMPO DE NIXTAMALIZACION EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DE MASA DE MAIZ AMARILLO CON DIFERENTES TIPOS DE CAL.

CAL-BERNAL		CAL-APAX		PIRACAL	
TIEMPO horas	FUERZA Kgf/g	TIEMPO horas	FUERZA Kgf/g	TIEMPO horas	FUERZA Kgf/g
17.50	0.109	5.25	0.069	3.00	0.093
		2.00	0.074	21.15	0.084

La textura de la tortilla varia según el tipo de cal que se emplee, como se observa en el CUADRO 19. Las tortillas obtenidas del proceso con "Cal-Apax" la resistencia a la compresión y extrusión aumenta con el tiempo de la nixtamalización, pero con la "Pira-Cal" sucede lo contrario, ya que la textura de la tortilla disminuye con el tiempo de nixtamalización. Esto es independientemente del tiempo de nixtamalización y del tipo de cal, la tortilla siempre se puede obtener sin que el consumidor detecte esta diferencia, a pesar de que exista una diferencia significativa entre ellas.

CUADRO 19. EFECTO DEL TIEMPO DE NIXTAMALIZACION EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DE TORTILLA DE MAIZ AMARILLO CON DIFERENTES TIPOS DE CAL

CAL-BERNAL		CAL-APAX		PIRA-CAL	
TIEMPO	FUERZA	TIEMPO	FUERZA	TIEMPO	FUERZA
horas	Kgf/g	horas	Kgf/g	horas	Kgf/g
17.50	5.56	5.25	5.05	3.00	11.24
		22.00	9.46	21.25	9.51

ESTUDIO DE LA TEXTURA DEL MAIZ Y SUS PRODUCTOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACION DE LA TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

Evaluación de la Calidad Física de los Granos de Maíz y Características de Humedad de Nixtamal, Masa y Tortilla

Una vez estudiado el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria, se muestrearon las cuatro industrias escogidas.

Considererando que CONASUPO entrega a las industrias el maíz necesario para la producción de tortilla de una semana, los muestreos por día de una semana corresponden al mismo lote.

Análisis Físico de los Granos de Maíz

En el CUADRO 20 se resume la calidad del maíz de las cuatro diferentes industrias en los tres lotes de muestreo.

CUADRO 20. ANALISIS FISICO DE LOS GRANOS DE MAIZ EN LAS CUATRO DIFERENTES INDUSTRIAS DE LOS TRES LOTES DE MUESTREO

INDUSTRIA	HUMEDAD %	% GRANOS DANADOS	% MATERIA EXTRANA	% OTROS GRANOS
A	9.16	21.18	0.32	0.0
B	9.82	18.64	0.45	0.0
C	11.30	33.97	0.70	2.6
D	10.98	23.5	0.30	2.3

La industria A y B reciben maíz el mismo día, que es aparentemente de un mismo lote de maíz, lo mismo ocurre con las industrias C y D. La humedad del grano de maíz presenta una media de 10.31%. Si se considera que para el maíz en grano se recomienda como valor máximo aceptable para el almacenamiento un 13.5% de humedad a 27 °C, todas las muestras quedaron dentro del límite aceptado por la Norma Mexicana de Calidad (7).

El porcentaje de impureza y materia extraña no rebasó el límite señalado en la Norma Codex de 1.5% de materia extraña. La materia extraña encontrada fue: paja, piedras, cascarilla, pedazos de olote y tierra; también se encontraron insectos vivos y muertos, excremento de roedores, clavos y pedazos de metal.

El porcentaje de granos dañados rebasa los límites del 10.0% establecidos por la Norma Mexicana. Estos límites son rebasados en un 100 y un 200%. Un 53% de los granos dañados era por insectos, un 38% por roedores, un 5.5% por hongos y un 3% por calor.

El porcentaje de granos extraños es muy pequeño y este incluye granos de maíz de otras variedades, ya que no debe haber más de un 5% de granos extraños.

#### Características de Humedad en Nixtamal, Masa y Tortilla

La humedad es un factor determinante en la textura del nixtamal, la masa y la tortilla, ya que cuando alguno de estos productos pierde humedad la fuerza de compresión-extrusión aumenta. La humedad del nixtamal en la pequeña industria se encontró entre un 45 y 50%; en la masa la humedad entre 52 y 53%; la humedad de la tortilla a 55 C se encontró entre 38 y 41%.

Estudio de las Variaciones de la Textura del Maíz y sus Productos en Cada una de las Industrias Durante el Proceso de Elaboración de la Tortilla

Industria A

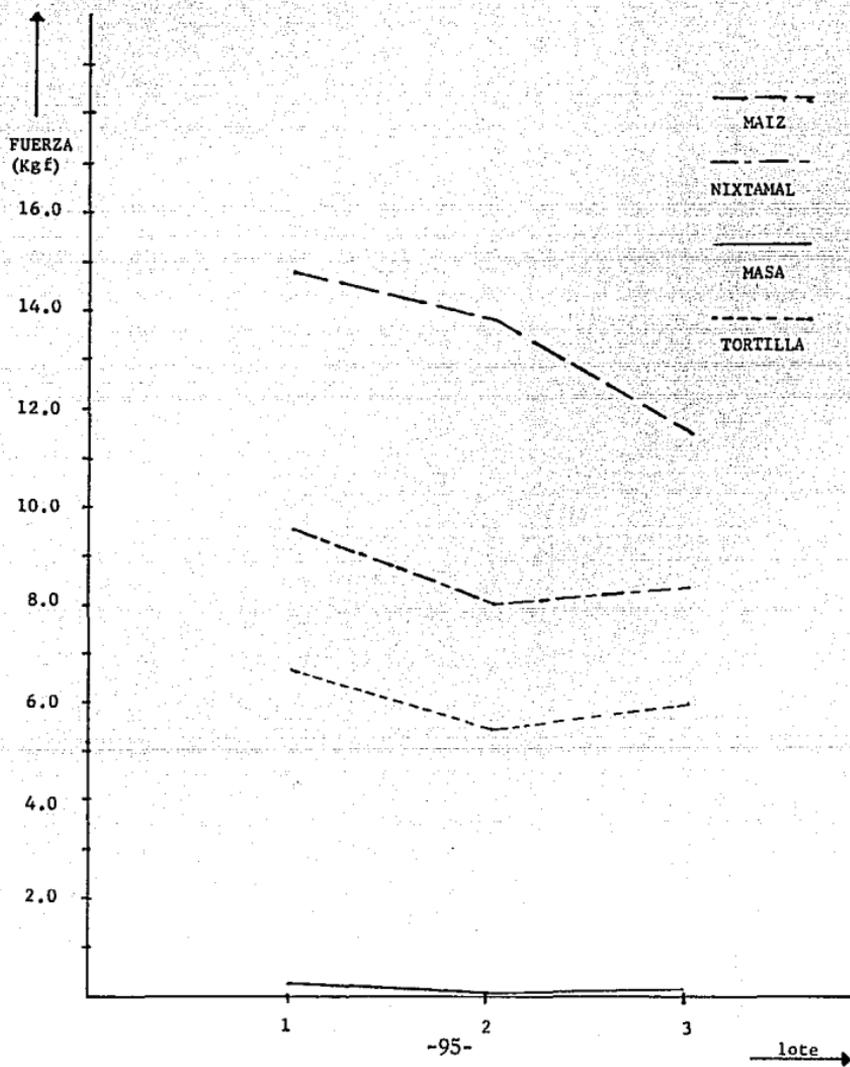
En la industria A, los valores medios de textura para el maíz, nixtamal, masa y tortilla se pueden observar en el CUADRO 21. Estos resultados fueron estudiados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), por medio del cual se encontró que la textura era diferente, por lo que posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se encontró que el maíz que esta industria recibió en cada uno de los tres lotes, presentaba una diferencia significativa del 5%. Al contrario de lo que sucedió con el nixtamal, la masa y la tortilla, ya que siendo el maíz de cada lote diferente, cada uno de estos productos tiene una textura diferente, sin embargo, no presentan una diferencia significativa. En la Figura 28, se representa esquemáticamente estas variaciones de la textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en los tres lotes.

CUADRO 21. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA EN EL NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LA INDUSTRIA A

LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/gr	MASA Kgf/gr	TORTILLA Kgf/gr
1	14.75	9.00	0.059	6.68
Tn-1	1.34	1.35	0.013	0.77
2	13.72	8.09	0.044	5.50
Tn-1	0.95	0.97	0.008	0.63
3	11.41	8.34	0.046	5.78
Tn-1	1.14	0.84	0.007	0.46

Tn-1 - desviación estándar

Figura 28. Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la Industria A en los tres lotes.



## Industria B

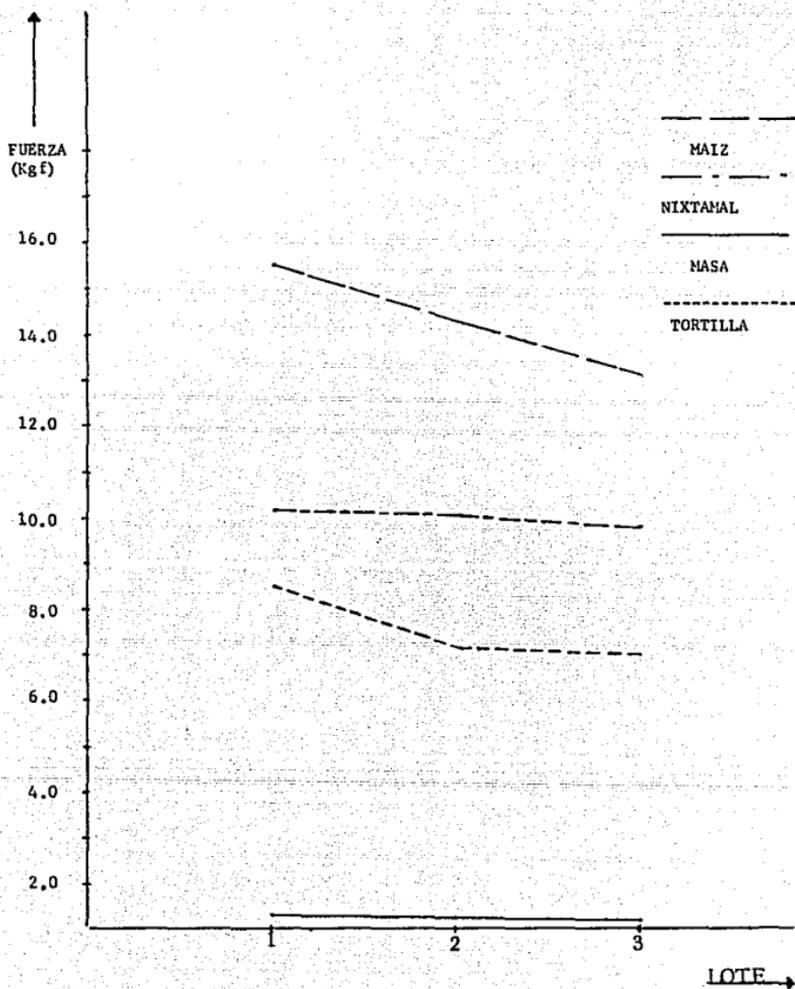
En la industria B, los valores medios de textura para el maíz, nixtamal, masa y tortilla se pueden observar en el CUADRO 22. Estos resultados fueron estudiados por un Análisis de Varianza (ANOVA), por medio del cual se encontró que para cada producto los tres lotes eran diferentes, posteriormente por un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se encontró que el maíz de los lotes 1 y 2 no eran significativamente diferentes, sin embargo el lote 3 si presentó una diferencia significativa del 5% con el lote 1 y 2. La textura del nixtamal, masa y tortilla en los tres lotes fue diferente, pero no se encontró una diferencia significativa entre los tres lotes de cada producto. La Figura 29 representa esquemáticamente esta variación de la textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en los tres lotes.

CUADRO 22. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA EN EL NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LA INDUSTRIA B

LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/gr	MASA Kgf/gr	TORTILLA Kgf/gr
1	13.55	8.03	0.042	7.30
Tn-1	1.61	0.87	0.001	1.21
2	13.06	8.90	0.053	6.13
Tn-1	0.62	1.62	0.005	0.43
3	11.89	8.75	0.065	5.94
Tn-1	0.83	1.16	0.009	1.45

Tn-1 desviación estándar

FIGURA 29. Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la industria B en los tres lotes.



## Industria C

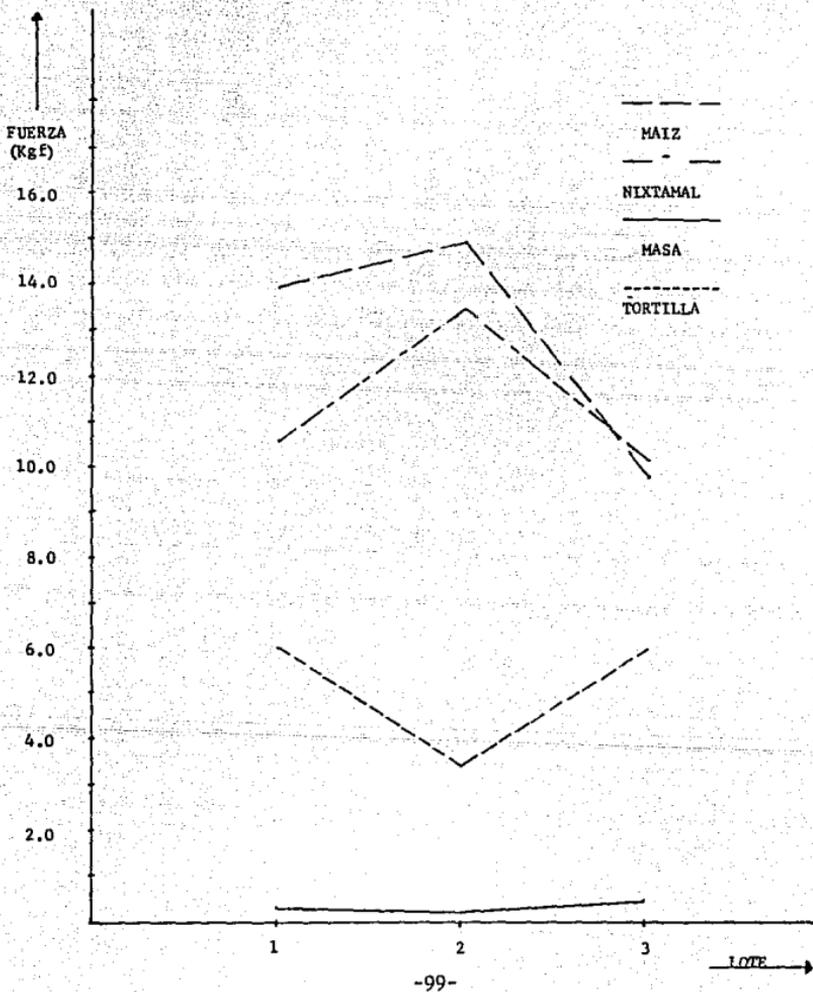
En la Industria C, los valores medios de textura para el maíz, nixtamal, masa y tortilla se resumen en el CUADRO 23. Estos resultados fueron estudiados por un Análisis de Varianza (ANOVA) por medio del cual se encontró que los tres lotes de maíz eran diferentes y por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, se encontró que entre los tres lotes existe una diferencia significativa del 5%. En cuanto a las características de textura del nixtamal, masa y tortilla son diferentes en cada lote, pero no fueron significativamente diferentes. La Figura 30, representa esquemáticamente esta variación de la textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla.

CUADRO 23. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA EN EL NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LA INDUSTRIA C

LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/gr	MASA Kgf/gr	TORTILLA Kgf/gr
1	13.74	10.49	0.047	6.03
Tn-1	0.43	3.54	0.008	0.61
2	14.85	9.24	0.045	4.35
Tn-1	0.96	2.19	0.01	0.47
3	9.71	10.05	0.053	5.84
Tn-1	1.57	1.47	0.007	0.69

Tn-1 desviación estándar

Figura 30. Textura del maíz, nixtamal, masa y tortilla en la Industria C en los tres lotes.



## Industria D

En la industria D sólo se pudieron analizar dos lotes de maíz, y los valores medios de textura se resumen en el CUADRO 24. Los dos lotes de maíz son diferentes, pero no presentan una diferencia significativa entre ellos. La textura del nixtamal, la masa y la tortilla no presenta una diferencia significativa del 5%. Estos resultados se representan esquemáticamente para en maíz, nixtamal, masa y tortilla en la Figura 31.

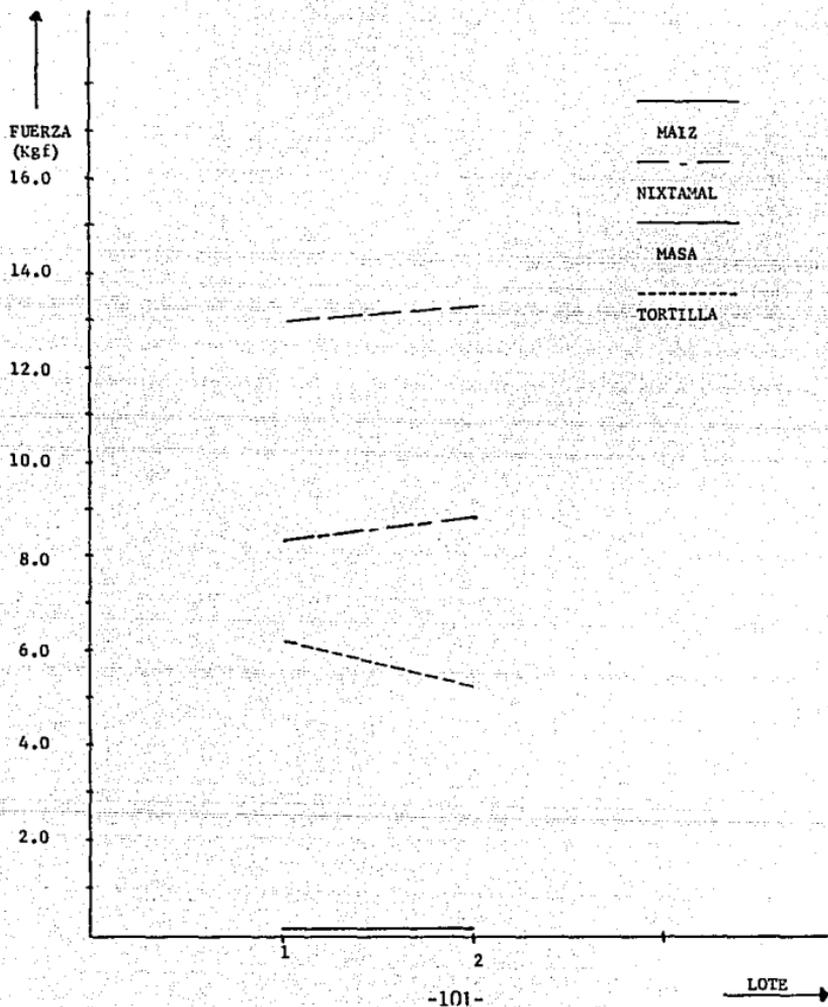
CUADRO 24. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA EN EL NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LA INDUSTRIA D

LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/gr	MASA Kgf/gr	TORTILLA Kgf/gr
1	13.36	8.35	0.044	6.22
Tn-1	1.22	1.12	0.008	1.05
2	13.62	8.81	0.057	5.43
Tn-1	0.44	0.80	0.009	0.59

Tn-1 desviación estándar

En el CUADRO 25 se resumen los resultados anteriores, donde podemos observar que a pesar de que es diferente el maíz que reciben las industrias cada semana, en cada una de estas industrias, el operario ajusta el proceso para obtener nixtamal, masa y tortilla con semejantes características de textura.

Figura 31. Textura en maíz, nixtamal, masa y tortilla en la Industria D en los 2 lotes.



CUADRO 25. EVALUACION DE LA TEXTURA EN MAIZ, NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA

INDUSTRIA	LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/g	MASA Kgf/g	TORTILLA Kgf/g
A	1	14.75	9.07	0.059	6.68
	2	13.72	8.09	0.044	5.50
	3	11.41	8.34	0.046	5.78
B	1	13.55	8.03	0.042	7.30
	2	13.06	8.90	0.053	6.13
	3	11.89	8.74	0.065	5.94
C	1	13.74	10.49	0.047	6.03
	2	14.85	10.14	0.045	4.34
	3	9.71	10.05	0.053	5.88
D	1	12.98	8.35	0.044	6.22
	2	13.62	8.81	0.057	5.43

a, b y c REPRESENTAN LA MEDIA DE CADA LOTE (1, 2 Y 3), LAS MEDIAS CON LA MISMA LETRA NO PRESENTAN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DEL 5.0%

Evaluación de la Textura entre Industrias en el Maíz, Nixtamal, Masa y Tortilla en los Tres Lotes

Como ya se estableció, el proceso de nixtamalización y la molienda se ajustan en cada industria para lograr la producción de la tortilla. Se analizaron los resultados de la industria A y B y de la industria C y D, que corresponden a una misma tecnología.

Maíz

En el CUADRO 26 se puede observar la textura del maíz en las cuatro industrias durante los tres diferentes lotes. Entre las industrias A y B, en los 3 lotes la textura del maíz es diferente, por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se observó que los lotes 1 y 2 eran significativamente diferentes. Entre las industrias C y D, en los dos lotes la textura es diferente, sin embargo por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan solo en el lote dos la textura del maíz es significativamente diferente.

CUADRO 26. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA ENTRE LAS INDUSTRIAS A, B, C Y D (Kgf/grano)

LOTE	A	B	C	D
1	14.75	13.55	13.74	13.36
Tn-1	1.34	1.61	0.43	1.22
2	13.72	13.06	14.85	13.62
Tn-1	0.95	0.62	0.96	0.44
3	11.42	11.89	9.71	-
Tn-1	1.14	0.83	1.57	

Tn-1 desviación estándar

Se pudo comprobar que CONASUPO entrega maíz a las industrias A y B el mismo día y que corresponde a un mismo lote, y lo mismo ocurre con las industrias C y D, pero en diferente día. Las diferencias significativas que se encontraron, se atribuyen a una calidad de textura en el maíz no homogénea que proporciona CONASUPO.

#### Nixtamal

En el CUADRO 27 se observan los valores medios de textura del nixtamal en cada uno de las industrias en los tres lotes. Se comparó la textura del nixtamal entre las industrias A y B, y se observó que durante los tres lotes la textura es diferente entre ellos, mostrando una diferencia significativa del 5%; en las industrias C y D se observa la misma diferencia significativa en la textura del nixtamal.

CUADRO 27. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DEL NIXTAMAL EN LAS INDUSTRIAS A, B, C Y D (Kgf/gr)

LOTE	A	B	C	D
1	9.00	8.03	10.49	8.35
Tn-1	1.35	0.87	3.54	1.12
2	8.09	8.90	9.24	8.81
Tn-1	0.97	1.62	2.19	0.80
3	8.34	8.75	10.05	-
Tn-1	0.84	1.16	1.47	

Tn-1 desviación estándar

Esta diferencias significativas son el resultado del ajuste que el operario de cada industria realiza de acuerdo a su experiencia o criterio personal en cuanto a si aumenta el tiempo de nixtamalización o se adiciona más cal.

#### Masa

El análisis de la comparación de la textura de la masa, entre las industrias A y B y entre las industrias C y D, se puede apreciar en el CUADRO 28. Durante este análisis la textura de la masa muestra una diferencia significativa entre las industrias A y B, y entre las industrias C y D en todos los lotes.

CUADRO 28. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DE LA MASA ENTRE LAS INDUSTRIAS A, B, C Y D (Kgf/gr)

LOTE	A	B	C	D
1	0.059	0.042	0.047	0.044
Tn-1	0.013	0.001	0.008	0.008
2	0.044	0.053	0.045	0.057
Tn-1	0.008	0.005	0.01	0.009
3	0.046	0.065	0.065	-
Tn-1	0.007	0.009	0.007	

Tn-1 desviación estándar

Estas diferencias significativas, nuevamente se pueden atribuir a la experiencia del operario, que durante la molienda modifica la cantidad de agua a adicionar, el ajuste entre las

piedras del molino y el número de veces que posteriormente recirculan la masa.

### Tortilla

La tortilla al ser el producto final de este proceso, debería tener características semejantes de textura en todas las industrias, pero los resultados del CUADRO 29 indican que la textura de la tortilla entre las industrias A y B presenta una diferencia significativa en el lote 1 y 2, sin embargo, en el lote 3 no son significativamente diferentes. Entre las industrias C y D en el lote 1 y 2 la textura es diferente, solo en el lote 2 la textura de la tortilla es significativamente diferente entre C y D.

CUADRO 29. COMPARACION DEL EFECTO POR LOTE DE MAIZ EN LA RESPUESTA DE TEXTURA DE LA TORTILLA EN LAS INDUSTRIAS A, B, C Y D EN Kgf/gramo

LOTE	A	B	C	D
1	6.68	7.30	6.03	6.22
Tn-1	0.77	1.21	0.61	1.05
2	5.50	6.13	4.34	5.43
Tn-1	0.63	0.43	0.47	0.59
3	5.78	5.94	5.84	-
Tn-1	0.46	1.45	0.65	-

Tn-1 desviación estándar

En esta etapa del proceso el operario no interviene, por lo que, como era de esperarse, las diferencias encontradas se pueden atribuir a las diferencias previas del proceso, como nixtamalización, molienda y amasado.

En el CUADRO 30 se presenta un análisis comparativo de textura entre las industrias A-B y C-D, en el maíz, nixtamal, masa y tortilla en los tres lotes. Se puede observar por los resultados obtenidos, que cada industria obtiene características semejantes en cada uno de los productos, pero no son iguales ya que presentan diferencia significativas entre ellos. La marca de la máquina tortilladora no influye en la textura final de la tortilla, ya que entre las industrias que trabajan con una misma máquina tortilladora, no obtienen al final tortillas con la misma textura.

#### Límites de Textura del Maíz, Nixtamal, Masa y Tortilla en la Pequeña Industria

La textura del maíz es diferente en cada lote y para cada industria, esto no depende de ellas, pues no pueden seleccionar el grano que compran para elaborar las tortillas. Cada industria trabaja entre diferentes límites de textura, tanto para el nixtamal, como para la masa y la tortilla; estos límites de textura van a variar dependiendo de las modificaciones que realicen durante el proceso.

CUADRO 30. COMPARACION DE LA TEXTURA ENTRE INDUSTRIAS EN EL MAIZ,  
NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA EN LOS TRES LOTES

INDUSTRIA LOTE	MAIZ Kgf/grano	NIXTAMAL Kgf/g	MASA Kgf/g	TORTILLA Kgf/g
A - B 1	14.75-13.55	9.00-8.00	0.059-0.042	6.70-7.30
A - B 2	13.72-13.06	8.09-8.90	0.044-0.053	5.50-6.13
A - B 3	11.41-11.89	8.34-8.35	0.046-0.065	5.79-5.94
C - D 1	13.74-12.98	10.49-8.35	0.047-0.044	6.03-6.22
C - D 2	14.85-13.62	10.14-8.81	0.045-.057	4.34-5.43

a y b REPRESENTAN LA MEDIA DE CADA LOTE (1, 2 Y 3) ENTRE LAS INDUSTRIAS A - B Y C - D. LAS MEDIAS CON LAS MISMAS LETRAS NO PRESENTAN DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DEL 5.0%.

## Maíz

El maíz con el que trabajó la industria A, como se puede observar en el CUADRO 31, en el lote 1, se encontraron los valores de textura del maíz entre 13.74 y 16.96 Kgf/grano, obteniendo un valor medio de 14.75 Kgf/grano con una desviación estándar de 1.34. En el lote 2 estos límites fueron de 12.71 y 14.91 Kgf/grano, con un valor medio de textura de 13.72 y con una desviación estándar de 0.95. Para el lote 3, los valores de textura se encontraron entre 9.62 y 12.49 Kgf/grano, la media de estos valores fue de 11.41 Kgf/grano y la desviación estándar de 1.14.

CUADRO 31. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL MAIZ EN LA INDUSTRIA A, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/grano)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	13.74	12.88	12.27
2	16.96	12.71	9.62
3	15.05	13.74	11.12
4	13.88	14.38	11.55
5	14.13	14.91	12.49
X	14.75	13.72	11.41
Tn-1	1.34	0.95	1.14

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

La industria B recibe el maíz el mismo día que la industria A, y a pesar de que es un mismo lote de maíz, la textura del maíz se encontró entre diferentes límites de textura, como se muestra en el CUADRO 32; en el lote 1 fue entre 10.83 y 14.87 Kgf/grano con un valor medio de textura de 13.55 Kgf/grano y una desviación estándar de 1.61. En el lote 2 los valores de textura del maíz se encontraron entre 12.07 y 13.74 Kg/grano, con un valor medio de 13.06 y una desviación estándar de 0.62. En el lote 3, la textura del maíz se encontró entre 10.78 y 12.69 Kgf/grano, el valor medio de textura fue de 11.89 Kgf/grano con una desviación estándar de 0.82.

CUADRO 32. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL MAIZ EN LA INDUSTRIA B, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/grano)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	13.47	13.74	11.38
2	14.52	13.18	11.95
3	10.83	12.07	12.69
4	14.87	13.32	12.67
5	14.08	13.01	10.78
X	13.55	13.06	11.89
Tn-1	1.61	0.62	0.83

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

Los valores de textura del maíz en la industria C en los tres lotes fue diferente, como se puede apreciar en el CUADRO 33. En el lote 1 la textura del maíz se encontró entre 13.06 y 14.2 Kgf/grano, con un valor medio de 13.74 y una desviación estándar de 0.43. En el lote 2 se encontró entre 13.46 y 15.78 Kgf/grano, con un valor medio de textura de 14.85 Kgf/grano con una desviación estándar de 0.96. En el lote 3 fue de 8.50 y 12.21 Kgf/grano, la media de 9.71 Kgf/grano y la desviación estándar de 1.57.

CUADRO 33. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL MAIZ EN LA INDUSTRIA C, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/grano)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	14.20	15.69	12.21
2	13.97	15.78	10.32
3	13.06	13.46	8.73
4	13.65	14.37	8.79
5	13.83	15.02	8.50
X	13.74	14.85	9.71
Tn-1	0.43	0.96	1.57

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

Las industrias C y D reciben maíz el mismo día, y al igual que entre las industrias A y B, la textura del maíz es diferente. En el CUADRO 34 se observa que para la industria D en el lote 1, la textura del maíz se encontró entre 11.93 y 14.94 Kgf/grano, con un valor medio de textura de 12.98 Kgf/grano y una desviación estándar de 1.22. Finalmente en el lote 2 se encontró entre 13.25 y 14.31 Kgf/grano, con una media de 13.62 Kgf/grano y una desviación estándar de 0.44.

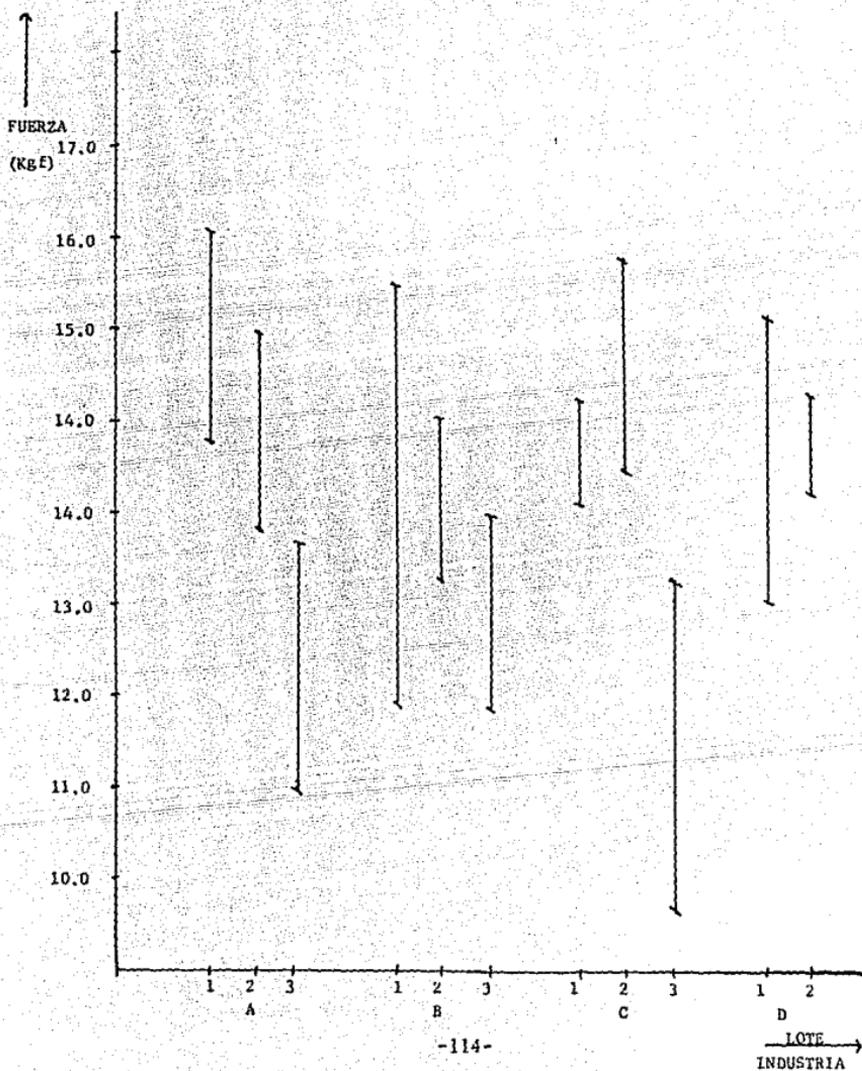
CUADRO 34. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL MAIZ EN LA INDUSTRIA D, EN LOS LOTES 1 Y 2. (Kgf/grano)

DIA	LOTE	
	1	2
1	12.94	13.25
2	13.82	14.31
3	11.99	13.8
4	14.94	13.46
5	13.18	13.29
X	13.36	13.62
Tn-1	1.22	0.44

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la Figura 32 se observa la variación que existe en la textura del maíz en las cuatro industrias durante los tres lotes. Los resultados indican que dentro de un mismo lote de maíz existe variación en la textura; esto demuestra que el proceso de nixtamalización para elaborar la tortilla debe ser ajustado cada día, según las características que presente el grano. En los molinos de nixtamalización, se detectan estas variaciones hasta que el grano se esta nixtamalizado, ya que no se le desprende fácilmente el pericarpio y se debe dejar nixtamalizar durante más tiempo.

Figura 32. Límites de textura del maíz en las industrias A, B, C y D.



## Nixtamal

Cada industria obtiene nixtamal con diferentes propiedades de textura, sin embargo, durante los tres diferentes lotes de maíz, la textura del nixtamal fue prácticamente la misma, ya que no presentó una diferencia significativa por medio del Análisis de Comparación Múltiple de Duncan.

En la industria A, como se puede observar en el CUADRO 35, la textura del nixtamal en el lote 1 se encontró entre 7.72 y 10.71 Kgf/gramo, con un valor medio de 9.00 Kgf/gramo y una desviación estándar de 1.35. En el lote 2 el nixtamal presentó una resistencia a la compresión-extrusión entre 6.79 y 8.90 Kgf/gramo, y un valor medio de 8.09 Kgf/g con una desviación estándar de 0.97. Durante el lote 3 la textura del nixtamal se encontró entre 7.44 y 9.63 Kgf/g, con una media de 8.34 Kgf/g y una desviación estándar de 0.84.

CUADRO 35. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL NIXTAMAL EN LA INDUSTRIA A, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	8.15	7.32	7.76
2	7.72	8.60	8.39
3	7.72	8.90	8.47
4	10.71	8.82	9.63
5	9.40	6.71	7.44
X	9.00	8.09	8.34
Tn-1	1.35	0.97	0.84

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

La industria B, como se puede observar en el CUADRO 36, trabajo entre diferentes límites de textura; durante el primer lote, el nixtamal presentó una resistencia a la compresión extrusión entre 7.32 y 9.28 Kgf/g, con un valor medio de 8.03 Kgf/g y una desviación estándar de 0.87. En el lote 2 la textura del nixtamal se encontró entre 7.85 y 11.74 Kgf/g, y un valor medio de 8.90 Kgf/gr y una desviación estándar de 1.62. En el tercer lote, la textura estaba entre 6.93 y 9.76 Kgf/gr, la media fue de 8.75 Kgf/g y una desviación estándar de 1.16.

CUADRO 36. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL NIXTAMAL EN LA INDUSTRIA B, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	7.32	8.47	9.34
2	9.28	7.91	9.42
3	7.34	11.74	8.26
4	8.58	8.53	9.76
5	7.63	7.85	6.93
X	8.03	8.90	8.74
Tn-1	0.87	1.62	1.15

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

En la industria C, el valor medio de la textura del nixtamal en los tres lotes no presentó una diferencia significativa por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan, como se puede observar en el CUADRO 37. En el lote 1, un día el nixtamal presentó una resistencia a la compresión-extrusión de 16.71 Kgf/g, lo cual fue un valor de textura muy alto comparado con el valor medio de textura del nixtamal, el cual fue de 10.49 Kgf/g y una desviación estándar de 3.54. En el lote 2, la textura se encontró entre 7.55 y 13.48 Kgf/g, con un valor medio de 9.94 y una desviación estándar de 2.19. En el tercer lote, la textura del nixtamal fue entre 8.85 y 12.58 Kgf/g con un valor medio de 10.05 Kgf/g y una desviación estándar de 1.47.

CUADRO 37. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL NIXTAMAL EN LA INDUSTRIA C, EN EL LOTE 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	8.29	10.09	10.05
2	16.71	9.29	9.28
3	9.23	7.55	9.50
4	8.34	9.29	8.85
5	9.90	13.48	12.58
X	10.49	9.94	10.05
Tn-1	3.54	2.19	1.47

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la industria D, como lo muestra el CUADRO 38, los dos valores medios de textura obtenidos en los lotes 1 y 2 son muy semejantes y no presentan una diferencia significativa por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan. En el lote 1, los valores de textura del nixtamal se encontraron entre 6.71 y 9.20 Kgf/g, con un valor medio de 8.35 Kgf/g y una desviación estándar de 1.12. En el lote 2, la textura del nixtamal fue entre 7.87 y 9.84 Kgf/g, con un valor medio de 8.81 Kgf/g y con una desviación estándar de 0.80.

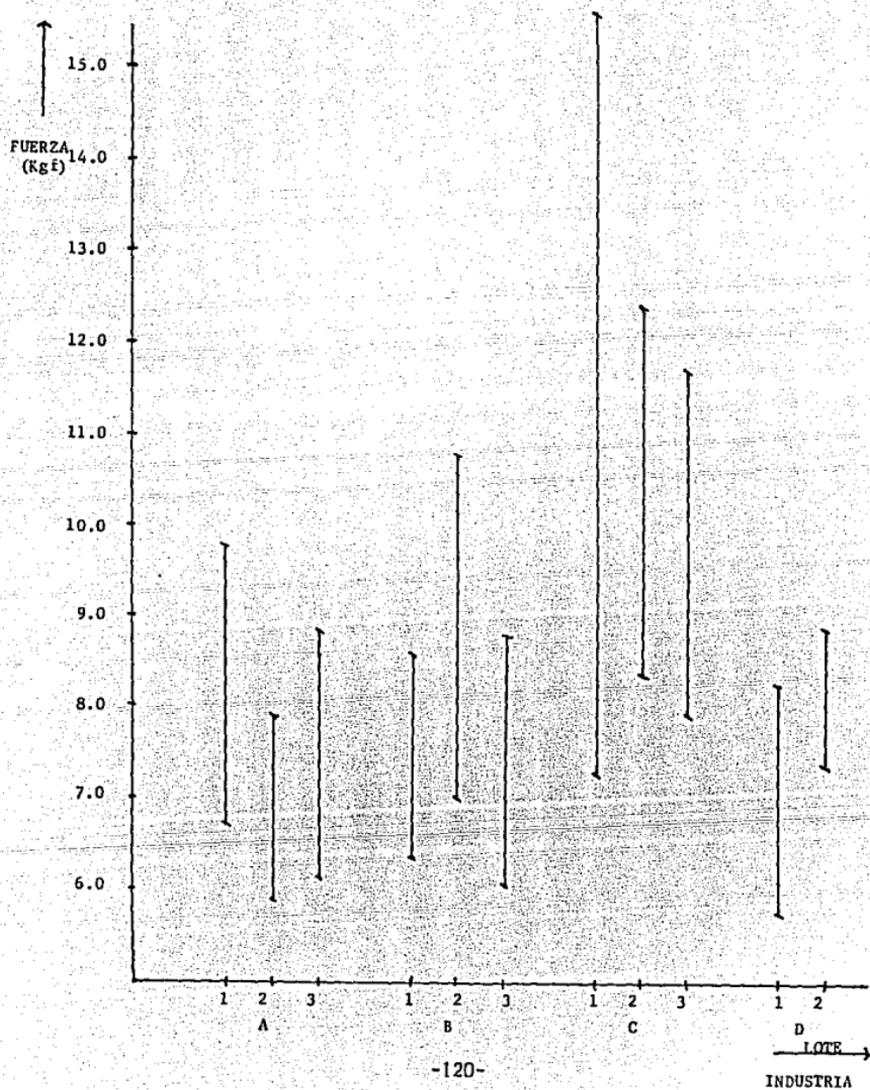
CUADRO 38. COMPARACION DE LA TEXTURA DEL NIXTAMAL EN LA INDUSTRIA D, EN LOS LOTES 1 Y 2. (Kgf/g)

DIA	LOTE	
	1	2
1	8.60	8.29
2	6.71	9.37
3	9.20	9.84
4	8.90	8.66
5	8.57	7.87
X	8.35	8.81
Tn-1	1.12	0.80

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la Figura 33 se observa la variación que existe en la textura del nixtamal en las cuatro industrias durante los tres lotes de maíz. Cada industria obtiene nixtamal con textura diferente todos los días, esto se pudo observar por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA); pero por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se vió que para cada industria, el nixtamal obtenido durante los tres lotes, no presentó una diferencia significativa; esto es, que cada una de estas industrias modifica su proceso para obtener un nixtamal que pueda ser molido para obtener la masa y la tortilla.

Figura 33. Límites de textura del nixtamal en las industrias A, B, C y D.



## Masa

Entre las diferentes industrias la textura de la masa que se obtiene para elaborar la tortilla es diferente, pero cada industria obtiene masa con las mismas características, ya que no presenta un diferencia significativa del 5% por medio de un Análisis de Comparación Múltiple de Duncan.

En la industria A, como lo muestra el CUADRO 39, la textura de la masa en el lote 1 se encontró entre 0.044 y 0.077 Kgf/g, con un valor medio de 0.059 Kgf/g y una desviación estándar de 0.013. En el lote 2 el nixtamal presentó una resistencia a la compresión y extrusión entre 0.031 y 0.051 Kgf/g, teniendo un valor medio de 0.044 Kgf/g y una desviación estándar de 0.008. Durante el tercer lote la textura de la masa se encontró entre 0.033 y 0.051 Kgf/g, con una media de 0.046 Kgf/g y una desviación estándar de 0.007.

CUADRO 39. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA MASA EN LA INDUSTRIA A, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	0.052	0.047	0.047
2	0.061	0.051	0.047
3	0.077	0.049	0.051
4	0.063	0.031	0.033
5	0.044	0.040	0.051
X	0.059	0.044	0.046
Tn-1	0.013	0.008	0.007

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

La industria B, como se observa en el CUADRO 40, trabaja entre diferentes límites de textura; durante el primer lote, la masa presentó una resistencia a la compresión-extrusión entre 0.040 y 0.043 Kgf/g, con un valor medio de 0.042 Kgf/g y una desviación estándar de 0.001. En el lote 2, la textura de la masa se encontró entre 0.047 y 0.059 Kgf/g, y un valor medio de 0.053 y una desviación estándar de 0.005. En el tercer lote, la textura de la masa estaba entre 0.052 y 0.074 Kgf/g, la media fue de 0.065 Kgf/g y una desviación estándar de 0.009.

CUADRO 40. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA MASA EN LA INDUSTRIA C, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g).

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	0.040	0.047	0.060
2	0.043	0.050	0.052
3	0.043	0.055	0.074
4	0.043	0.049	0.067
5	0.041	0.059	0.073
X	0.042	0.053	0.065
Tn-1	0.001	0.005	0.009

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

En la industria C, el valor medio de la textura de la masa en los tres lotes no presentó una diferencia significativa, como se puede observar en el CUADRO 41. En el lote 1, la textura de la masa se encontró entre 0.038 y 0.059 Kgf/g, con un valor medio de 0.047 Kgf/g y una desviación estándar de 0.008. En el lote 2, la masa presentó una resistencia a la compresión y a la extrusión entre 0.031 y 0.057 Kgf/g, con una media de 0.045 Kgf/g y una desviación estándar de 0.01. En el tercer lote, la textura fue entre 0.044 y 0.062 Kgf/g, con un valor medio de 0.053 Kgf/g y una desviación estándar de 0.007.

CUADRO 41. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA MASA EN LA INDUSTRIA C, EN EL LOTE 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	0.059	0.057	0.044
2	0.046	0.031	0.047
3	0.046	0.040	0.052
4	0.048	0.052	0.062
5	0.038	0.047	0.058
X	0.047	0.045	0.053
Tn-1	0.008	0.01	0.007

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la industria D, como lo muestra el CUADRO 42, los dos valores medios de textura obtenidos en los lotes 1 y 2 no son significativamente diferentes. En el lote 1, los valores de textura de la masa se encontraron entre 0.030 y 0.049 Kgf/g, con un valor medio de textura de 0.044 Kgf/g y una desviación estándar de 0.008. En el lote 2, la masa presentó una resistencia a la compresión y a la extrusión entre 0.047 y 0.049 Kgf/g, con una media de 0.057 Kgf/g y una desviación estándar de 0.009.

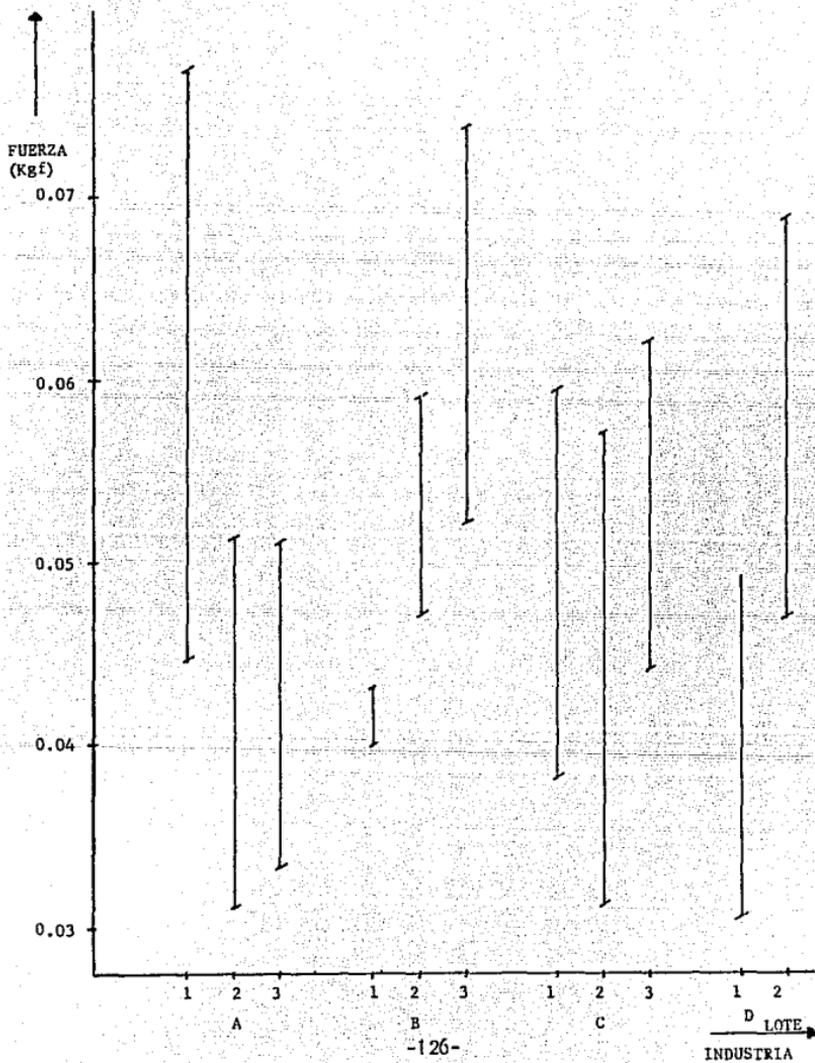
CUADRO 42. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA MASA EN LA INDUSTRIA D, EN LOS LOTES 1 Y 2. (Kgf/g)

DIA	LOTE	
	1	2
1	0.030	0.047
2	0.043	0.060
3	0.049	0.059
4	0.049	0.049
5	0.049	0.069
X	0.044	0.057
Tn-1	0.008	0.009

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la Figura 34 se observa la variación que existe en la textura de la masa en las cuatro industria durante los tres lotes de maíz. Cada industria obtiene masa con una textura diferente todos los días, esto se pudo observar por medio de una Análisis de Varianza (ANOVA); pero por medio de una Análisis de Comparación Múltiple de Duncan se vió que para cada industria, la masa obtenida durante los tres lotes, no presentó una diferencia significativa; esto es, que en cada una de estas industrias, el operario modifica el proceso de molienda y amasado para obtener una masa que se pueda trabajar en la máquina tortilladora.

Figura 34. Límites de textura de la masa en las industrias A, B, C y D.



## Tortilla

Las tortillas obtenidas por la industria A, como se puede observar en el CUADRO 43, en el lote 1, se encontraron los valores de textura de la tortilla entre 5.51 y 7.59 Kgf/g, con un valor medio de 6.68 Kgf/g con una desviación estándar de 0.77. En el lote 2 estos límites fueron de 4.65 y 6.31 Kgf/g, con una media de 5.50 Kgf/g y con una desviación estándar de 0.63. Para el tercer lote, los valores de textura se encontraron entre 4.99 y 6.09 Kgf/g, la media de estos valores fue de 5.78 Kgf/g y la desviación estándar de 0.46.

CUADRO 43. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA TORTILLA EN LA INDUSTRIA A, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	7.08	5.79	5.82
2	6.56	5.15	6.09
3	7.59	6.31	4.99
4	6.68	5.62	5.99
5	5.51	4.65	6.05
X	6.68	5.50	5.78
Tn-1	0.77	0.63	0.46

X - valor medio

Tn-1 desviación estándar

Para la industria B, como se muestra en el CUADRO 44, en el primer lote la textura de la tortilla se encontró entre 5.94 y 8.51 Kgf/g, con un valor medio de textura de 7.30 Kgf/g y una desviación estándar de 1.21. En el lote 2 la tortilla presentó una resistencia a la compresión y extrusión entre 5.68 y 6.84 Kgf/g, con una media de 6.13 y una desviación estándar de 0.43. En el lote 3, estos límites fueron de 4.10 y 8.12 Kgf/g, el valor medio de la textura fue de 5.94 Kgf/g con una desviación estándar de 1.45.

CUADRO 44. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA TORTILLA EN LA INDUSTRIA B, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	8.33	5.96	5.74
2	6.12	6.06	5.50
3	5.94	5.68	6.25
4	7.59	6.09	8.12
5	8.51	6.84	4.10
X	7.30	6.13	5.94
Tn-1	1.21	0.43	1.45

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

Los valores de textura de la tortilla en la industria C, en los tres lotes es diferente, como se puede apreciar en el CUADRO 45. En el lote 1 la textura de la tortilla se encontró entre 5.57 y 6.91 Kgf/g, con un valor medio de 6.03 Kgf/g y una desviación estándar de 0.61. En el lote 2, se encontró entre 3.89 y 5.01 Kgf/g con un valor medio de textura de 4.35 Kgf/g y una desviación estándar de 0.47. En el tercer lote la tortilla presentó una resistencia a la compresión y extrusión entre 5.04 y 6.58 Kgf/g, con una media de 5.84 Kgf/g y la desviación estándar de 0.69.

CUADRO 45. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA TORTILLA EN LA INDUSTRIA C, EN LOS LOTES 1, 2 Y 3. (Kgf/g)

DIA	LOTE		
	1	2	3
1	5.57	4.19	5.36
2	6.91	5.01	5.88
3	5.63	3.89	5.04
4	5.60	4.29	6.35
5	6.43	4.30	6.58
X	6.03	4.35	5.84
Tn-1	0.61	0.47	0.69

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la industria D, como lo muestra el CUADRO 46, los dos valores medios de textura obtenidos en los lotes 1 y 2 son diferentes, sin embargo, no fueron significativamente diferentes. En el lote 1, los valores de textura de la tortilla se encontraron entre 5.02 y 7.72 Kgf/g, con un valor medio de textura de 6.22 Kgf/g y una desviación estándar de 1.05. En el segundo lote, estos límites de textura fueron de 4.63 y 6.19 Kgf/g, con un valor medio de 5.43 Kgf/g y una desviación estándar de 0.59.

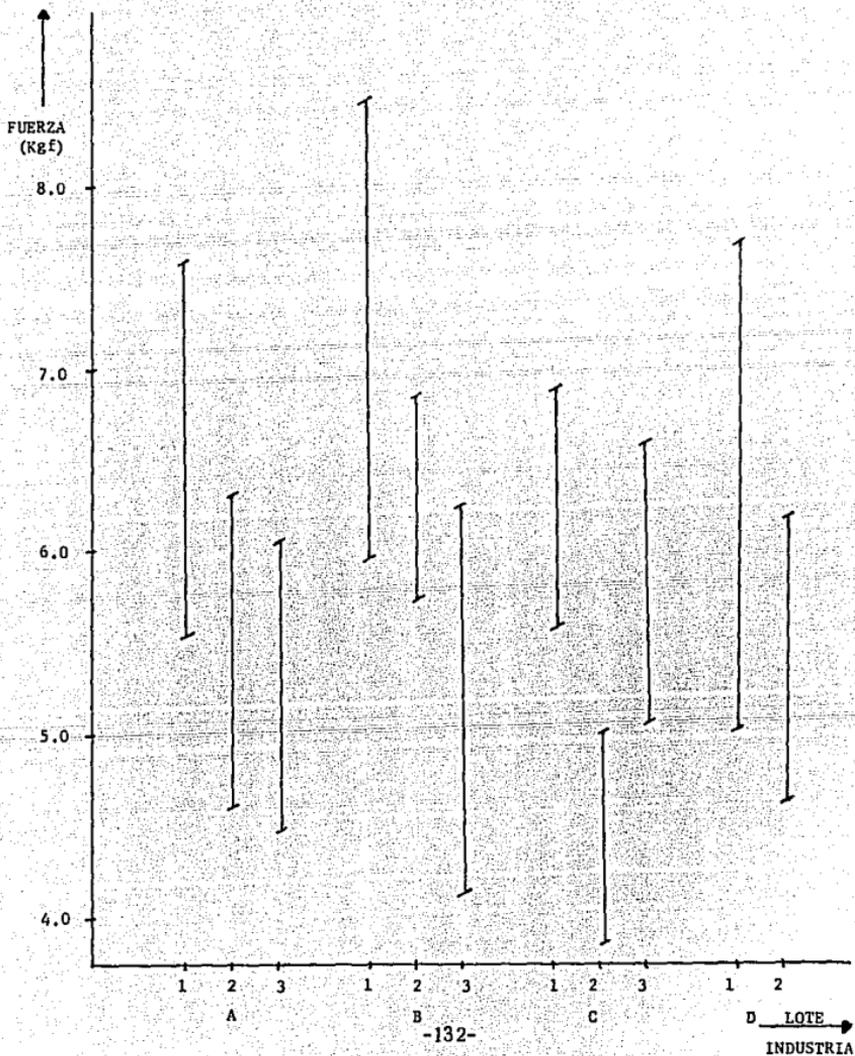
CUADRO 46. COMPARACION DE LA TEXTURA DE LA TORTILLA EN LA INDUSTRIA D, EN LOS LOTES 1 Y 2. (Kgf/g)

DIA	LOTE	
	1	2
1	5.47	6.19
2	5.02	5.77
3	6.60	4.63
4	6.31	5.33
5	7.72	5.22
X	6.22	5.43
Tn-1	1.05	0.59

X - valor medio      Tn-1 desviación estándar

En la Figura 35 se observa la variación que existe en la textura en la tortilla de maíz nixtamalizado en las cuatro industrias, durante los tres lotes. Las industrias A y B trabajan con una máquina tortilladora Verástegui, y las industrias C y D trabajan con una máquina Celorio. Los resultados indican que esto no determina que la textura de la tortilla de las industrias A y B o C y D no sea diferente, esto es, que cada industria obtiene tortillas con características de textura diferentes y que son aceptadas por el consumidor.

Figura 35. Límites de textura de la tortilla en las industrias A, B, C y D.



Efecto de la Textura del Maíz en la Textura del Nixtamal, Masa y Tortilla

Por medio de una regresión lineal se buscó una correlación entre la textura del maíz con la textura del nixtamal, masa y tortilla entre cada una de las industrias; posteriormente se busco una correlación entre la textura del nixtamal con la textura de la masa y la tortilla, y finalmente la correlación de la textura de la masa con la textura de la tortilla. Estos resultados se resumen en el CUADRO 47.

CUADRO 47. PORCIENTO DE CORRELACION DE LA TEXTURA DEL MAIZ CON LA TEXTURA DEL NIXTAMAL, MASA Y TORTILLA.

CORRELACION ENTRE	INDUSTRIA			
	A	B	C	D
MAIZ-NIXTAMAL	26.69	2.37	5.12	50.59
MAIZ-MASA	32.40	54.26	45.30	35.24
MAIZ-TORTILLA	32.31	65.69	44.87	1.74
NIXTAMAL-MASA	9.93	8.38	1.26	11.56
NIXTAMAL-TORTILLA	4.50	7.65	40.11	41.76
MASA-TORTILLA	71.25	41.55	14.06	16.07

Como se puede observar entre la textura del maíz y la del nixtamal en la industria B existe una correlación de tan solo un 2.37% y en la industria C del 5.12%, sin embargo, en la industria D esta correlación es del 50.59%, con estos resultados no se puede afirmar que la textura del nixtamal dependa de la textura del maíz. Entre la textura del maíz y la textura de la masa, existe en las cuatro industrias una correlación que varía entre un 32.40% y un 54.26%, lo cual indica que existe una relativa influencia de la textura del maíz con la textura de la masa. Entre la textura del nixtamal y la textura de la tortilla existe una variación aún mayor, ya que se encontró una correlación del 1.74% y otra del 65.69%, con lo cual no se puede afirmar que la textura de la tortilla este determinada por la textura del grano de maíz.

Entre la textura del nixtamal y la masa no se encontró una correlación, ya que los resultados se encuentran entre 1.26 y 11.56%, lo cual indica que la textura de la masa no se ve influenciada por la textura del nixtamal. Entre la textura del nixtamal y la tortilla de las industrias A y B se encontró una correlación del 4.5 y 7.65% respectivamente lo cual indica que no existe un efecto en la textura del nixtamal con la textura de la tortilla, sin embargo, en las industrias C y D la correlación fue de 40.11 y 41.76% respectivamente, lo que indicaría una cierta correlación entre la textura del nixtamal y la tortilla. Entre la textura de la masa y la de la tortilla, en la industria A existe una correlación del 71.25% entre la textura de la masa y la tortilla, lo cual indica que existe una cierta correlación, sin embargo, en las industrias C y D esta correlación es tan solo del 14.06 y 16.07%. Por medio de estos resultados no se puede afirmar que exista una correlación entre la textura de la masa y la textura final de la tortilla.

## CONCLUSIONES

El Texturómetro Universal Instron, constituyo un método confiable y sensible para la determinación de textura en el maíz, nixtamal, masa y tortilla, variando las celdas de prueba.

Los granos de maíz que compran las industrias a CONASUPO, no cumplen con la Norma Oficial Mexicana, ya que rebasan hasta en un 200% la cantidad permitida de granos danados por calor, insectos, roedores u hongos. Aún cuando la humedad de los granos, no excedio el límite máximo de 13.5%.

Se concluye que en la textura de nixtamal, masa y tortilla no influyen la maquinaria utilizada en el proceso, ni la materia prima inicial de la que parten, sino que depende de las condiciones del proceso reguladas por los operarios de cada industria.

No hubo correlación positiva entre la textura del nixtamal, la de la masa y la de la tortilla. Asi como tampoco existio una correlación de esta propiedad reologica entre la masa y la tortilla.

## BIBLIOGRAFIA

1.- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS, 1974, APROVED METHODS OF AACC, ST. PAUL MINN.

2.- ABBAS, H.K., MIROCHA, C.J., ROSILES, R., Y CARVAJAL, M. 1988, "DECOMPOSITION OF ZEARALENONE AN DEOXYNIVALENOL IN THE PROCESS OF MAKING TORTILLAS FROM CORN" CEREAL CHEMISTRY VOL.65 (1):15-19.

3.- ALARCON, A.L., GUERRA, R., PEDROZA DE BRENES, R., NIETO DE MELENDEZ, Z. Y DURAN DE BAZUA, C. 1985, "MEZCLAS NIXTAMALIZADAS DE MAIZ Y SORGO. EVALUACIONES EN MASAS Y TORTILLAS. PRUEBAS REOLOGICAS Y SENSORIALES" TECNOLOGIA DE ALIMENTOS VOL. 20(1):6-11

4.- ALCANTARA LOPEZ, LOIDA. 1981, "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEXTURA DEL GRANO DE MAIZ DURANTE SU PROCESAMIENTO PARA LA OBTENCION DE NIXTAMAL" TESIS DE LICENCIATURA DEL I.P.N., MEXICO.

5.- ANONIMO, 1977 "CERTIFICACION DE MAIZ", DEPARTAMENTO DE ALMACENES Y CONSERVACION. ALMACENES NACIONALES DE DEPOSITO, S.A., MEXICO.

6.- ANONIMO, 1979 "LA TECNOLOGIA DE LA TORTILLA", INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA (ICYT), VOL.1(6):16-20 CONACYT, MEXICO.

7.- ANONIMO, 1982, NORMA DE CALIDAD MEXICANA PARA LA COMERCIALIZACION DEL GRANO (Zea mais L.); NMC-AG/3-1981 PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION EL 2 DE FEBRERO DE 1982; MEXICO, D.F.

8.- BADUI D., SALVADOR. COMUNICACION VERBAL SOBRE LA SITUACION ACTUAL DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EN MEXICO. MEXICO, FEBRERO DE 1990.

9.- BAZUA, C.D., GUERRA, R. Y STERNER, H. 1979 "EXTRUDED CORN FLOUR AS AN ALTERNATIVE TO LIME-HEATED CORN FLOUR FOR TORTILLA PREPARATION" JOURNAL OF FOOD SCIENCE VOL.44:940-941

- 10.- BEDOLLA, SANTIAGO Y ROONEY, L.W. 1982 "COOKING MAIZE FOR MASA PRODUCTION" CEREAL FOODS WORLD VOL.27(5):210-221.
- 11.- BEDOLLA, S., G. de PALACIOS, M., ROONEY, L.W., DIEHL, K.C. Y KHAN, M.N. 1983 " COOKING CHARACTERISTICS OF SORGHUM AND CORN FOR TORTILLA PREPARATION BY SEVERAL COOKING METHODS" CEREAL CHEMISTRY VOL. 60(4):263-268.
- 12.- BEDOLLA, S. Y ROONEY, L.W. 1984 " CARACTERISTICAS DE LA HARINA DE MAIZ INSTANTANEA PARA PREPARAR TORTILLAS Y BOTANAS" CEREAL FOODS WORLD VOL.29(11):732-735.
- 13.-BONFIL BATALLA, GUILLERMO, 1982 "EL MAIZ, FUNDAMENTO DE LA CULTURA POPULAR MEXICANA". MUSEO DE CULTURAS POPULARES, MEXICO.
- 14.- BOURNE, MALCOLM C. 1982 "FOOD TEXTURE AND VISCOSITY" ACADEMIC PRESS, U.S.A.
- 15.- BRANDT, M.A., SKINNER, Z.E. Y COOLEMAN, J.A. 1963 " TEXTURE PROFILE METHOD". JOURNAL OF FOOD SCIENCE, VOL.28(3):404-409.
- 16.- BRESSANI, R., PAZ Y PAZ, R. Y SCRIMSHAW, S. 1958 " CHEMICAL CHANGES IN CORN DURING PREPARATION OF TORTILLAS" JOURNAL AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY, VOL.6(10):770-773.
- 17.- BRESSANI, R. Y SCRIMSHAW, S. 1958 " EFFECT OF LIME TREATMENT ON IN VITRO AVAILABILITY OF ESSENTIAL AMINO ACIDS AND SOLUBILITY OF PROTEIN FRACTIONS IN CORN" JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY, VOL.6(10):774-777.
- 18.- BRESSANI, R. Y MARENCO, E. 1963 "THE ENRICHMENT OF LIME-TREATED CORN FLOUR WITH PROTEINS, LYSINE AND TRYPTOPHAN, AND VITAMINS" JOURNAL AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY, VOL.11(6):517-522.
- 19.- BRUNING, J.L. Y KINTZ, B.L., 1977 "COMPUTATIONAL HANDBOOK OF STATISTICS", SEGUNDA EDICION, SCOTT, FORESMAN AND COMPANY, U.S.A.

20.- BUENDIA GONZALEZ, MARIA OFELIA, 1981, "CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE MAZORCA, PROPIEDADES FISICAS Y DE CALIDAD PROTEICA DEL MAIZ (Zea mays L.) NORMAL Y MEJORADO, RELACIONADO CON EL PROCESO DE NIXTAMALIZACION" TESIS PROFESIONAL, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHAPINGO, MEXICO.

21.- CABRERA REYES, A. R. P. 1983 "PROCESAMIENTO DEL MAIZ PARA LA ELABORACION DE TORTILLAS" TESIS DE LICENCIATURA DEL I.P.N., MEXICO.

22.- CASTELLO, TERESA. 1986, "PRESENCIA DE LA COMIDA PREHISPANICA". FOMENTO CULTURAL BANAMEX, A.C., MEXICO, D.F.

23.- CHOKYUM RHA, 1975 "THEORY, DETERMINATION AND CONTROL OF PHYSICAL PROPERTIES OF FOOD MATERIALS" THE REIDEL PUBLISHING COMPANY, U.S.A.

24.- CHOTO, C.E., MORAD, M.M. Y ROONEY, L.W. 1985 " THE QUALITY OF TORTILLAS CONTAINING WHOLE SORGHUM AND PEARLED SORGHUM ALONE AND BLENDED WITH YELLOW MAIZE" CEREAL CHEMISTRY, VOL.62(1):51-55.

25.- CHU, N.T., 1976 "EFFECT OF ALKALI TREATMENT ON THE FORMATION OF LYSINOALANINE IN CORN" JOURNAL AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY VOL. 24(5):1084-1085.

26.- COLLINS, J.L. Y SANCHEZ, F. 1980 " QUALITY PARAMETERS OF TORTILLAS FORTIFIED WITH SOY AND CHEESE" JOURNAL FOOD SCIENCE, VOL.45(8):667-670.

27.- CUEVAS, R. Y PUCHE, C., 1986 " STUDY OF THE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF CORN DOUGH USING THE FARINOGRAPH" CERAL CHEMISTRY, VOL.63(4):294-297.

28.- DE MAN, J.M. 1976 " RHEOLOGY AND TEXTURE IN FOOD QUALITY" THE AVY PUBLISHING CO. INC. U.S.A.

29.- DEL VALLE, F.R. 1974 " ENRICHMENT OF TORTILLAS WITH SOY PROTEINS BY LIME COOKING OF WHOLE RAW CORN-SOYBEAN MIXTURES" J. FOOD SCI. VOL.39:244-247.

- 30.- DEL VALLE, F.R., 1976 "INDUSTRIAL PRODUCTION OF SOY-ENRICHED TORTILLA FLOUR BY LIME COOKING OF WHOLE RAW CORN SOYBEAN MIXTURES" JOURNAL OF FOOD SCIENCE, VOL. 41(2):349-351.
- 31.- GUERRA, R. RODRIGUEZ, A. Y DURAN DE BAZUA, C., 1983 "EXTRUSION OF HIGH-LYSINE CORN AND APPLICATIONS IN MEXICAN FOODS" PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE INGERIERIA Y ALIMENTOS, BOSTON, MA. AGOSTO 9-13 DE 1983.
- 32.- GREEN, J.J., LAWHON, C.M., CATER, C.M. Y MATTIL, K.F. 1976 "PROTEIN FORTIFICATION OF CORN TORTILLAS WITH OILSEED FLOURS" J. FOOD SCI. VOL.41(3):656-660.
- 33.- ILLESCAS, RAFAEL. 1943 " LA TEORIA QUIMICA DE LA FORMACION DEL NIXTAMAL" REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE HISTORIA NATURAL TOMO IV (3)Y(4):129-1347.
- 34.- INGLETT, G.E. 1970 " FOOD USES OF CORN AROUND THE WORLD. CORN: CULTURE, PROCESING PRODUCTS", AVI PUBLISHING CO. INC. WESTPORT, U.S.A.
- 35.- JACKSON, D.S., ROONEY, L.W., KUNZE, O.R. Y WANISKA, R.D. 1988 " ALKALINE PROCESSING PROPERTIES OF STRESS-CRACKED AND BROKEN CORN (Zea Mais L.)" CEREAL CHEMISTRY, VOL.65(2):133-137.
- 36.- JIMENEZ-APARICIO, A., ARENAS O., L. Y GALLARDO N., Y., 1987 "TEXTURA Y ATRIBUTOS SENSORIALES DE TORTILLAS ELABORADAS CON MEZCLAS DE MAIZ Y DISTINTAS PROPORCIONES DE SORGO" REV. AGROQUIM. TECNOL. ALIMENT. VOL.27(1);67-74.
- 37.-JOHNSON, B.A., ROONEY, L.W. Y KHAN, M.N., 1980 " TORTILLA - MAKING CHARACTERISTICS OF MICRONIZED SORGHUM AND CORN FLOURS" J. FOOD SCI. VOL. 45(3):671-674
- 38.- KHAN, M.N., Des ROSIERS, M.C., ROONEY, L.W., MORGAN, R.G., SWEAT, V.S., 1982 " CORN TORTILLAS: EVALUATION OF CORN COOKING PROCEDURES" CEREAL CHEMISTRY, VOL.59(4):279-284.

39.- MACHORRO, V.L. Y VALDIVIA, L.A., 1984 "CAMBIOS CUANTITATIVOS EN LAS AFLATOXINAS DURANTE EL PROCESO DE LA NIXTAMALIZACION Y ELABORACION DE LA TORTILLA" TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, VOL.19(4):10-13.

40.- MARTINEZ HERRERA, M.L. Y LACHANCE, P.A., 1979 "CORN (Zea mays) KERNEL HARDNESS AS AN INDEX OF THE ALKALINE COOKING TIME FOR TORTILLA PREPARATION" J. FOOD SCI., VOL.44(2):377-380.

41.- MATA MONTES DE OCA, MIGUEL. 1983, "ENRIQUECIMIENTO DE TORTILLAS CON PROTEINAS DE PLASMA DE SANGRE DE BOVINOS". MEXICO, TESIS DE MAESTRIA DE LA E.N.C.B. DEL I.P.N.

42.- MOLINA, M.R., LETONA, M., BRESSANI,R., 1977 " DRUM DRYING FOR THE IMPROVED PRODUCTION OF INSTANT TORTILLA FLOUR" J. FOOD SCI. VOL. 42(6):1432-1434.

43.- MORAD, M.M., ISKANDER, F.Y., ROONEY, L.W. Y EARP,C.F.,1986 "PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ALKALI-COOKED CORN USING TRADITIONAL AND PRESOAKING PROCEDURES" CEREAL CHEMISTRY, VOL.63(3):255-259.

44.- MUSEO DE CULTURAS POPULARES.1982, "EL MAIZ, FUNDAMENTO DE LA CULTURA POPULAR MEXICANA". SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA. MEXICO.

45.- OCHOA CORTEZ, OSCAR J. 1981, "ESTUDIO DE LOS FACTORES DUREZA, TEMPERATURA Y TIEMPO EN LA NIXTAMALIZACION DEL MAIZ", TESIS PROFESIONAL DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHAPINGO, MEXICO.

46.- ORTEGA, E.I., VILLEGAS, E. Y VASAL, S.K., 1986 "A COMPARATIVE STUDY OF PROTEIN CHANGES IN NORMAL AND QUALITY PROTEIN MAIZE DURING TORTILLA MAKING", CEREAL CHEM.VOL.63(5):446-451.

47.- PADUA,G.W. Y WHITNEY,R. McL., 1982, "APPLICATION OF THE INSTRON TESTER FOR INVESTIGATION OF RHEOLOGY OF CORN DOUGH", CEREAL CHEM. VOL.59(5):361-366.

- 48.- PADUA, G.W. Y PADUA MAROUN, H., 1984, "RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF VENEZUELAN AREPA DOUGH FROM PRECOOKED CORN FLOUR", CEREAL CHEM. VOL.61(1):37-41.
- 49.- PAREDES LOPEZ, O. Y SAHAROPULOS, M.E., 1982, "SCANNING ELECTRONMICROSCOPY STUDIES OF LIMMED CORN KERNELS FOR TORTILLA MAKING", J. FD. TECHNOL. VOL.17:687-693.
- 50.- PEREZ RAMIREZ, R. Y RODRIGUEZ MENDEZ, J. 1988, "ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS REOLOGICAS Y SENSORIALES DE TORTILLAS DE MAIZ, SORGO Y MEZCLAS DE MAIZ Y SORGO", TESIS PROFESIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, MEXICO.
- 51.- POMERANZ, Y., MARTIN, C.R., TRAYLOR, D.D. Y LAI, F.S., 1984, "CORN HARDNESS DETERMINATION", CEREAL CHEM. VOL.61(2):147-150.
- 52.- POMERANZ, Y., CZUCHAJOWSKA, Z., MARTIN, C.R. Y LAI, F.S. 1985 "DETERMINATION OF CORN HARDNESS BY THE STENVERT HARDNESS TESTER", CEREAL CHEM. VOL.62(2):108-112.
- 53.- RIVERA BRECHU, M.E. Y TORREBLANCA, R.A., 1985 "ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL MAIZ QUE SE UTILIZA EN LOS MOLINOS PARA NIXTAMAL EN EL DISTRITO FEDERAL" TECNOL. ALIMENT. VOL.20(1):21-26.
- 54.- RIZLEY, N.F. Y SUTER, D.A., 1977 "SORGHUM TORTILLAS: PROCESS AND PRODUCT ATTRIBUTES" JOURNAL OF FOOD SCIENCE VOL.42(6):1435-1438.
- 55.- ROBLES, R.R., MURRAY, E.D. Y PAREDES LOPEZ, O. 1988 "PHYSICO-CHEMICAL CHANGES OF MAIZE STARCH DURING THE LIME-HEAT TREATMENT FOR TORTILLA MAKING", INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY VOL.23:91-98.
- 56.- RODRIGUEZ VALLEJO, JOSE, 1988 "LA PRODUCCION Y LA DEMANDA DE GRANOS BASICOS EN MEXICO" COMERCIO EXTERIOR VOL.38(7):606-623.
- 57.- SANDERSON, J., WALL, J.S., DONALDSON, G.L. Y CAVINS, J.F. 1978 "EFFECT OF ALKALINE PROCESSING OF CORN ON ITS AMINO ACIDS" CEREAL CHEM. VOL. 55(2):204-213.

- 58.- SERIE PRODUCTOS BASICOS I. ALIMENTOS. RECOPIACION, MEXICO 1981.
- 59.- SMITH, O. DE BUCKLE, T.S., DE SANDOVAL, A.M. Y GONZALES, G.E. 1979 "PRODUCTION OF PRE-COOKED CORN FLOURS FOR AREPA MAKING USING AN EXTRUSION COOKER" J. FOOD SCI. VOL.44(3):816-819
- 60.- SZCZESNIAK, A.S. 1963 "CLASSIFICATION OF TEXTURAL CHARACTERISTICS" J. FOOD SCI. VOL. 28(3):385-389.
- 61.- ULLOA SOSA, M. Y SCHROEDER, H.W., 1969 "NOTE ON AFLATOXIN DECOMPOSITION IN THE PROCESS OF MAKING TORTILLAS FROM CORN" CEREAL CHEM. VOL.46(7):397-400.
- 62.- WOLF, M.J., BUZAN, C.L., MacMASTER, M.M. Y RIST, C.E., 1952 "STRUCTURE OF THE MATURE CORN KERNEL. I. GROSS ANATOMY AND STRUCTURAL RELATIONSHIPS" CEREAL CHEM. VOL.29(5):321-333.
- 63.- WOLF, M.J., BUZAN, C.L., MacMASTER, M.M. Y RIST, C.E. 1952 "STRUCTURE OF THE MATURE CORN KERNEL. II. MICROSCOPIC STRUCTURE OF PERICARP, SEED COAT, AND HILAR LAYER OF DENT CORN" CEREAL CHEM. VOL.29(5):334-348.
- 64.- WOLF, M.J., BUZAN, C.L., MacMASTER, M.M. Y RIST, C.E. 1952 "STRUCTURE OF THE MATURE CORN KERNEL. III. MICROSCOPIC STRUCTURE OF THE ENDOSPERM OF DENT CORN" CEREAL CHEM. VOL.29(5):349-361.
- 65.- WOLF, M.J., BUZAN, C.L., MacMASTER, M.M. Y RIST, C.E. 1952 "STRUCTURE OF THE MATURE CORN KERNEL. IV. MICROSCOPIC STRUCTURE OF THE GERM OF DENT CORN" CEREAL CHEM. VOL.29(5):362-382.