



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTROAMERICA Y PANAMA
(INCAP)**



**CAMBIOS BIOQUIMICOS Y FUNCIONALES EN EL MAIZ
DURANTE LA FABRICACION DE LA TORTILLA
Y EFECTO DEL Ca(OH)_2**

CESAR ANTONIO ESTRADA MENDIZABAL

**CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN NUTRICION Y CIENCIAS DE ALIMENTOS
(CESNA)**

CURSO DE POSTGRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Guatemala, Septiembre de 1982

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA

**CAMBIOS BIOQUIMICOS Y FUNCIONALES EN EL MAIZ DURANTE LA
FABRICACION DE LA TORTILLA Y EFECTO DEL Ca(OH)_2**

T E S I S

CESAR ANTONIO ESTRADA MENDIZABAL

Previo a optar al grado de

MAESTRO

(Magister Scientifcae)

Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos

CESNA

**Curso de Postgrado en Ciencias y
Tecnología de Alimentos**

Guatemala, septiembre de 1982.

INCAP T-355

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano:	Dr. José Héctor Aguilar
Secretario:	Lic. Leonel Carrillo Reeves
Vocal Primero:	Lic. Luis Fernando Girón
Vocal Segundo:	Lic. Francisco Monterroso
Vocal Tercero:	Dr. Mario Roberto Molina
Vocal Cuarto:	Br. Sergio Molina
Vocal Quinto:	Br. Héctor Oliveros.

COMITE INTERINSTITUCIONAL DEL CESNA

Director del CESNA

Dr. Luis Octavio Angel

**Decano de la Facultad de
Ciencias Médicas**

Dr. Mario Moreno C.

**Decano de la Facultad de
Ciencias Químicas y Farmacia**

Dr. Héctor Aguilar

**Decano de la Facultad de Medicina
Veterinaria y Zootecnia**

Dr. Luis F. Rosales P.

**Director de la Escuela de
Nutrición**

Dr. Luis Octavio Angel

**Directora del Curso de Postgrado
en Salud Pública con Énfasis en
Nutrición y Materno-infantil**

Dra. América de Fernández

**Director del Curso de Postgrado
en Bioquímica y Nutrición Humana**

Dr. Oscar Pineda

**Director del Curso de Postgrado
en Ciencia y Tecnología
de Alimentos**

Dr. J. Edgar Braham.

COMITE ASESOR DE TESIS

Dr. Mario R. Molina

Dr. Ricardo Bressani

Dr. Luiz G. Elías

Dra. Delia Navarrete

DEDICO ESTA TESIS

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

Marco Antonio Estrada Santiago

A MI MADRE:

Rosaura Mendizábal de Estrada

A MI ESPOSA:

Sandra Bocaletti

A MIS HIJOS:

Luis César y Jorge Omar

A MIS HERMANOS:

Edgar, Arageme y Roxana

A LA MEMORIA DE MI HERMANO:

Jorge

A MIS FAMILIARES

Marta, Doroteo y Ofelia.

AGRADECIMIENTO

**Al International Development Research Centre (IDRC), Ottawa,
Canadá, quien financió mis estudios de postgrado**

**A todo el personal del INCAP, de manera especial al personal
de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos.**

RECONOCIMIENTO

AL INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTROAMERICA Y PANAMA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

I N D I C E

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
1. Composición química del maíz	4
2. Valor nutricional del maíz y de la tortilla	7
3. Cambios químicos que sufre el maíz durante la fabricación de la tortilla ..	9
III. OBJETIVOS	10
IV. JUSTIFICACIONES	13
V. MATERIALES Y METODOS	14
A. Análisis Químicos	15
B. Análisis Físicos	15
C. Pruebas Organolépticas	16
VI. RESULTADOS	19
VII. DISCUSION DE RESULTADOS	27
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
IX. RESUMEN	36
X. REFERENCIAS	38
XI. ANEXOS	42

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Sección transversal del grano de maíz	3
FIGURA 2. Comparación de la relación entre esfuerzo cortante y velocidad de flujo para fluidos no Newtonia- nos.....	54

INDICE DE TABLAS

		Página
TABLA 1.	Tiempos de cocción y humedades de las masas de maíz blanco y opaco-2. Cocciones con cal, soda, cloruro y control.....	43
TABLA 2.	Análisis químico proximal de maíz crudo, masa y tortilla de los maíces blanco y opaco-2. Cocción con cal	44
TABLA 3.	Almidón, amilosa, azúcares solubles, almidón dañado (como % del almidón total) y acidez de grasa (mg KOH/100g grasa) en el maíz - crudo, masa y tortilla de maíz - blanco y opaco-2	45
TABLA 4.	Cistina y lisina disponible para maíz crudo, masa y tortilla de los maíces blanco y opaco-2 (en g/16g N). (cocción con cal).....	46
TABLA 5.	Resultados de las pruebas organolépticas de sabor y apariencia en tortillas de maíz blanco y opaco-2 preparadas con soda, cal, cloruro y la cocción control (P<0.05).....	47
TABLA 6.	Coeficiente de compresión Kc' (en Kg/cm ²) de las diferentes tortillas de los maíces blanco y opaco-2.....	48
TABLA 7.	Indice de comportamiento de flujo de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2. (Las mediciones se hicieron a la temperatura constante de 23°C).....	49
TABLA 8.	Viscosidad amilográfica máxima (en unidades Brabender, UB) de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2	50
TABLA 9.	Absorción y retención de agua de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2.....	51

TABLA 10.	Almidón total y dañado (expresado como porcentaje del almidón total) de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2.....	52
TABLA 11.	Solubilidad proteínica en maíz blanco y opaco-2 crudos y sus masas.....	53

I. INTRODUCCION

El maíz, consumido bajo diferentes formas, es un alimento básico en la mayor parte del continente americano, utilizándose tanto en alimentación humana como animal. En Centro América el maíz contribuye notablemente a la ingestión calórica y proteica, hasta 59 y 45% de la ingestión total, respectivamente, especialmente en el sector rural de la población (Bressani, 1972; Katz y col., 1974).

En Mesoamérica, el maíz se consume principalmente bajo la forma de tortilla, alimento preparado a partir de la cocción alcalina de dicho cereal. Se desconoce la razón por la cual las antiguas civilizaciones indígenas prepararon el maíz, para ser consumido, por medio de la cocción alcalina. Lo cierto es que tal proceso aumenta su calidad nutricional, a pesar de producir la pérdida de ciertos nutrientes como tiamina, riboflavina y niacina, por medio de un ligero incremento en su valor proteico y mejoramientos notables en la cantidad de calcio y niacina biológicamente disponible (Bressani, 1958; Katz y col., 1974).

Como resultado de esfuerzos para encontrar un maíz que ofreciera mejor calidad proteínica a los habitantes de las regiones consumidoras de maíz en los países en vías de desarro-

llo, Mertz y col. (1964) informaron que el maíz opaco-2 tiene mayor contenido de lisina que el maíz normal. Desde entonces ha sido demostrado que el maíz opaco-2 es superior, en calidad proteínica, al maíz común (Frost y Robinson, 1971).

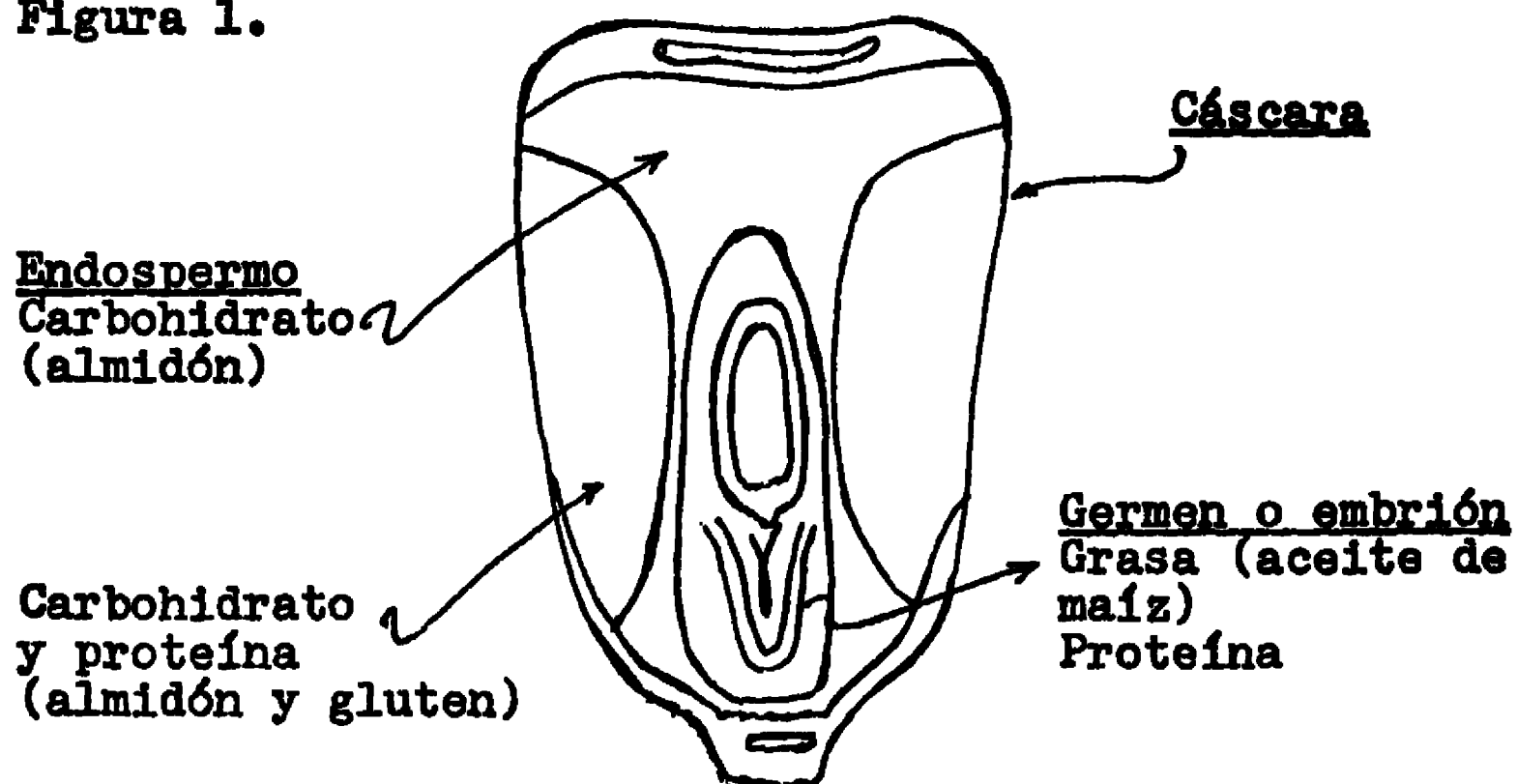
Dada la importancia que tiene la tortilla en las dietas de América Central, se hace necesario conocer más a fondo los cambios que sufre el maíz en su procesamiento alcalino y térmico. En este trabajo se investigaron los cambios químicos y funcionales que sufren los maíces opaco-2 y blanco de costa durante la fabricación de la tortilla, así como el papel que juega la cal (hidróxido de calcio) en las propiedades reológicas de la misma.

II. REVISION DE LITERATURA

El maíz, conocido botánicamente como Zea mays, es una de las pocas plantas de origen americano que pueden ser explotadas económicamente. Aparentemente, la primera referencia al maíz ocurrió el 5 de noviembre de 1492 durante el primer viaje de Cristobal Colón a América (Jugenheimer, 1976).

Botánicamente, el grano de maíz es un carióspside, es decir, un grano seco en el cual la corteza de la fruta y la semilla están fundidas. Tiene diferentes partes anatómicas, entre las cuales tenemos el pericarpio o cáscara (alrededor de 6% en peso), el endospermo, que constituye la fracción mayor del grano (cerca del 82.4%) y el germen que contribuye con un valor aproximado de 11.6% del peso del grano. En la Figura 1 puede apreciarse una sección transversal del grano de maíz (Frost y col., 1971; Bressani y col., 1960).

Figura 1.



1. Composición Química del Maíz

Los principales componentes del grano seco de maíz son almidón, proteínas y lípidos. También se encuentran presentes cantidades menores de fibra, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas incluyendo algunas vitaminas (Inglett, 1970). El grano de maíz contiene aproximadamente, en peso, de 6.8 a 12% de proteína, 74.5% de almidón, 12% de agua, 3.4% de grasa y 1% de ceniza y fibra cruda (Katz, 1974).

El almidón es el principal constituyente y el principal carbohidrato del maíz y consta de alrededor de 27% de amilosa y 73% de amilopectina. El contenido de azúcares libres oscila entre 1.0 y 3.0%, siendo la sacarosa el principal componente. La mayor cantidad de fibra cruda se encuentra principalmente en el pericarpio o cáscara (Mertz, 1970).

Como se mencionó anteriormente, el grano de maíz posee de 6.8 a 12% de proteína, la cual es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano. Proteínas de diferentes clases, de acuerdo a su solubilidad, han sido indentificadas en el maíz, principalmente en el germen y el endospermo -que posee del 90 al 95% de la proteína total-, entre las cuales tenemos las siguientes: (i) albúminas y (ii) globulinas, solubles en soluciones salinas diluidas; (iii) zeína,

que es una proteína heterogénea con un peso molecular de 20,000 a 50,000 y que está clasificada entre las prolaminas que son solubles en soluciones acuosas de etanol; y (iv) glutelinas, solubles en solución alcalina, que también es una proteína heterogénea y cuyo peso molecular varía de 20,000 a 1,000,000 (Katz, 1974). Esta gran variabilidad en el peso molecular de las glutelinas se debe a una gran cantidad de puentes disulfuro entre residuos de cisteína que explican la estructura terciaria de la proteína y su sensibilidad a la desnaturación en medio alcalino (Paulis y col., 1969). Según Bresani y col. (1960), el endospermo contiene de 76.0 a 79.7% de la proteína total, el germen, del 15.1 al 20.5% y la cáscara, del 2.9 al 5.2%. Además, las prolaminas constituyen el 42% del nitrógeno proteico y las glutelinas, el 29.5%.

El contenido de lípidos del maíz oscila entre 1.2 y 5.7% con un número de yodo entre 111 y 151 (Inglett, 1970). Weber (1979) usa n-butanol saturado con agua como el solvente más efectivo para extraer los lípidos del maíz.

Los lípidos forman el 32.5% del peso seco del germen lo que significa aproximadamente 80% de los lípidos totales. En el grano de maíz, los triglicéridos son el 82.4 de los lípidos, en tanto que los lípidos polares -fosfolípidos y

glicolípidos-, el 3.2%. El endospermo contiene solamente 2% de grasa (Weber, 1978) de la cual el 36.5% son ácidos grasos libres. El nivel total de ácidos grasos libres en el grano de maíz es 6.5% de la grasa total (Weber, 1979).

La alta calidad del aceite de maíz ha sido atribuida a su gran contenido del di-insaturado ácido linoleico; además, tiene la ventaja sobre el aceite de soya de poseer bajos niveles del tri-insaturado ácido linolénico que es muy susceptible a la oxidación. Del total de ácidos grasos en el maíz, 50% es linoleico (18:2), 29.9, oleico (18:1), 17.7, palmítico y 1.2% de linolénico y esteárico (Weber, 1978).

El maíz opaco-2 presenta algunas variantes con respecto al maíz común, entre las que puede mencionarse un germen más grande, que conlleva un incremento en la cantidad de proteína y de aceite y una disminución en los carbohidratos. A nivel comercial, la disminución de carbohidratos causa una disminución en la rentabilidad del maíz a pesar del pequeño aumento en el contenido de aceite. En la siguiente tabla puede apreciarse la composición aproximada de los maíces opaco-2 y común (Frost y Robinson, 1971).

Composición aproximada del maíz

<u>Componente</u>	<u>Maíz común (%)</u>	<u>Maíz opaco-2 (%)</u>
Humedad	10.6	13.8
Proteína	9.4	10.5
Grasa	4.3	5.3
Carbohidratos	72.8	67.0
Fibra	1.6	2.2
Cenizas	1.2	1.4

2. Valor nutricional del maíz y de la tortilla

Harmon y col. (1969) determinaron que la energía bruta del maíz está entre 4,033 y 4,076 cal/gramo. Si se asume que el 90% de esta energía es disponible a un hombre adulto de referencia, alrededor de 770g de maíz serían necesarios para satisfacer sus necesidades energéticas (Mertz, 1970).

En países donde el maíz constituye el principal alimento, se encuentran problemas de deficiencia proteínica pues las variedades actuales de maíz no son ricas en proteína y, además, son deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano (Senti y Schaefer, 1972). Por medio de técnicas de selección y de manejo de suelos se puede aumentar la cantidad de proteína del grano de maíz hasta casi 20 %. Sin embargo, se ha encontrado que paralelamente al aumento en proteína se produce un incremento en zeína, proteína de bajo valor biológico, deficiente en lisina y triptofano, con lo cual los maíces con alto contenido proteínico presentan

un bajo valor proteico (Hogan y col., 1955; Mitchel y col., 1952).

Una posible solución al problema anterior puede lograrse mediante la suplementación del maíz con lisina y triptofano, con lo cual se logra una calidad proteínica comparable a la caseína (Howe y col., 1965).

Por otro lado, como consecuencia de su mejor balance de aminoácidos, el maíz opaco-2 tiene mejor calidad proteínica que el maíz común. Mertz y col. (1965) encuentran una mayor velocidad de crecimiento de ratas alimentadas con maíz opaco-2 que con maíz común. Asimismo, en estudios con niños Bressani (1966) concluye que el valor nutritivo de la proteína del maíz opaco-2 es alto, alrededor del 90% del de la leche descremada. Es interesante notar que para mantener el balance de nitrógeno en hombres adultos jóvenes se requieren aproximadamente 300 gramos de maíz opaco-2, en tanto que de maíz común son necesarios 600 g (Mertz, 1970).

Con respecto a la tortilla, se ha encontrado que su proteína es de mejor calidad que la del maíz crudo (Bressani, 1972). Además, la tortilla responde mejor que el maíz crudo a la fortificación con lisina y triptofano (Bressani y col., 1968).

El procesamiento alcalino hace que la tortilla aumente su contenido de niacina y calcio biológicamente disponible (Bressani, 1972).

3. Cambios químicos que sufre el maíz durante la fabricación de la tortilla.

El tratamiento alcalino le confiere al maíz un sabor y textura que no pueden ser imitados por otros procesamientoos (Inglett, 1970). Bressani y col. (1958) estudiaron los cambios químicos que sufre el maíz al transformarse en masa para preparar tortillas y, entre otros, reportan que el maíz blanco pierde un 44% de extracto etéreo, 46% de fibra cruda, 10% de nitrógeno, 60% de tiamina, 52% de riboflavina y 32% de niacina. Por otra parte, se ha encontrado que el contenido de fibra neutro y ácido detergente se encuentra aumentado al pasar de la masa a la tortilla, probablemente debido a reacciones de oscurecimiento no enzimático o reacción de Maillard (Reinhold, 1979).

Al estudiar el efecto del procesamiento alcalino en los aminoácidos del maíz, Sanderson y col. (1978) informan de una pérdida de arginina y cistina, juntamente con la aparición de los aminoácidos lisinoalanina (N - DL-2-amino-2-carboxietil -L-lisina), lantionina y ornitina. La lisinoalanina se forma a partir de la condensación del grupo -ami-

no de la lisina con el doble enlace de la dehidroalanina, que es un producto de la degradación alcalina de la cistina y la serina.

Es importante considerar la lisinoalanina pues se ha informado que está negativamente correlacionada con el NPU de proteínas tratadas con álcali (de Groot y Slump, 1969) y que causa nefrocitomegalia en la rata (Struthers, 1981).

Bressani y Scrimshaw (1958) encontraron que en la producción de masa a partir del maíz se observa una disminución en la solubilidad de la zeína, en una mayor extensión, y de las glutelinas. Sanderson y col. (1978) consideran que ello se debe a la formación de enlaces cruzados entre las proteínas por medio de la lisinoalanina.

Con respecto al papel que el ion calcio pueda jugar en las propiedades físicas de la masa, se ha informado que las sales modifican el comportamiento reológico de los almidones lo cual puede influenciar el comportamiento de la masa. El cloruro de sodio aumenta la consistencia máxima de las dispersiones de almidón, hecho que ha sido asociado con un incremento en la integridad del gránulo de almidón (Howling, 1980; Olkhu y Rha, 1978; Ganz, 1965). Hood y O'shea (1977) informan que el almidón puede ligar hasta 86 $\mu\text{gCa/g}$ de almi-

dón, por medio de enlaces no iónicos. Por otra parte, se ha sugerido que la presencia de complejos metal-fosfolípidos de Mg(II), Ni(II) o Ca(II) pueden provocar la formación de complejos mixtos de fosfolípido-metal-proteína, los cuales son insolubles cuando están constituidos por componentes específicos de las proteínas solubles en agua de la harina de trigo (Fullington y Hendrickson, 1966; Fullington, 1967).-

III. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue determinar los cambios bioquímicos y funcionales que ocurren en el proceso de transformación de maíz a masa y tortilla en un maíz de consumo corriente, el blanco de costa, y en el opaco 2.

Objetivos específicos:

- 1- Encontrar algunos cambios químicos y funcionales que el maíz opaco 2 experimenta en el proceso de fabricación de la tortilla.
- 2- Encontrar interacciones entre los cambios encontrados en los maíces Opaco-2 y blanco de costa.
- 3- Determinar el efecto que el hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 , ejerce sobre las propiedades reológicas y organolépticas de la tortilla.

IV. JUSTIFICACIONES

Dado que el maíz opaco-2 tiene un alto valor proteínico y que, consecuentemente, constituye una opción para aliviar el problema de deficiencia proteica en nuestros países, se hace necesario evaluar sus propiedades funcionales con respecto al proceso de fabricación de la tortilla que es la principal forma de consumo de maíz en Mesoamérica. Asimismo, el conocimiento de algunos de los efectos que el hidróxido de calcio ejerce sobre el maíz tratado térmicamente puede dar indicios acerca de la utilización de dicho proceso en otro tipo de productos alimenticios.-

V. MATERIALES Y METODOS

Materiales:

Se utilizó maíz blanco de costa y maíz opaco-2 y la masa y tortilla de ellos producidas. La tortilla se preparó de acuerdo al método tradicional empleado en Guatemala y descrito por Bressani (1972).

Métodos:

Se hicieron análisis químicos y funcionales (en duplicado) en los maíces crudos y en la masa y la tortilla que de ellos se obtuvieron. Para comparar los cambios que ocurrieron en cada fase del proceso maíz-masa-tortilla, se usó análisis de varianza para cada variable de interés (Snedecor y Cochran, 1980).

Con el objeto de investigar el efecto de diferentes reactivos de cocción y del medio alcalino sobre las propiedades funcionales de la masa y la tortilla, se hicieron cocciones del maíz con Ca(OH)_2 al 0.5%, con base en el maíz usado, y con CaCl_2 con una cantidad equimolar de Ca con respecto al Ca(OH)_2 , y con NaOH también en base a una cantidad equimolar de ion hidróxido OH^- . Como control se hizo una cocción del maíz sin ninguna sustancia agregada. Se determinaron los efectos que cada compuesto químico ejerce sobre las propiedades de la masa y la tortilla.

A. Análisis Químicos

- a.1 Análisis químico proximal: Se determinó humedad, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y almidón de acuerdo a los métodos de la AOAC (1975).
- a.2 Amilosa por el método de Williams y col. (1970).
- a.3 Azúcares solubles (Dubois y col., 1956).
- a.4 Almidón dañado (Farrand, 1964).
- a.5 Ácidos grasos libres (AOAC, 1975).
- a.6 Cambio en las distintas fracciones proteínicas del maíz de acuerdo a su solubilidad, según el método de fraccionamiento de Paulis y col. (1975).
- a.7 Determinación microbiológica de cistina (AOAC, 1975).
- a.8 Lisina disponible (Conkerton y Vernon, 1959).

B. Análisis Físicos

- b.1 Medición del coeficiente de compresión Kc' de la tortilla, por medio del penetrómetro Instron, de acuerdo a Peleg y Gómez-Brito (1975). Se usaron punzones de 2/16, 3/16, 4/16 y 5/16 de pulgada de diámetro.

- b.2 Absorción y retención de agua según los métodos de la AACC (1969).
- b.3 Propiedades reológicas de la masa por medio del índice de comportamiento de flujo, medido en un viscosímetro Brookfield. Dicho índice fue evaluado de acuerdo a - Heldman (1977).
- b.4 Tiempo de cocción del maíz (a presión atmosférica), determinado subjetivamente por una persona experta en la preparación de la tortilla, desde el inicio de la ebullición hasta el final de la cocción.

C. Pruebas organolépticas:

Se evaluaron organolépticamente las tortillas producidas con ambos tipos de maíz en las cocciones con cal, hidróxido de sodio, cloruro de calcio y del maíz procesado sin ningún reactivo agregado (cocción control), según el método de rangos descrito por Kramer y Twigg (1966), por un panel de doce individuos.

Los análisis anteriores fueron aplicados al maíz crudo, a la masa y a la tortilla de la siguiente manera:

	MAIZ	MASA	TORTILLA
Proteína cruda	X	X	X
Almidón total	X	X	X
Fibra cruda	X	X	X
Extracto etéreo	X	X	X
Cenizas	X	X	X
Azúcares solubles	X	X	X
Humedad	X	X	X
Amilosa	X	X	X
Tiempo de cocción	X	X	X
Almidón dañado		X	X
Absorción y retención de agua	X		
Índice de comportamiento de flujo	X		
Evaluación organoléptica			X
Fraccionamiento proteico	X	X	X
Cistina, lisina disponible	X	X	X
Ácidos grasos libres	X	X	X

Para evaluar el efecto de los diferentes reactivos usados en la cocción del maíz (cal, hidróxido de sodio, cloruro de calcio) sobre las propiedades de la masa, se realizaron las siguientes pruebas a las masas preparadas con dichos aditivos, así como a la masa control:

- Absorción y retención de agua
- índice de comportamiento de flujo (reología)
- almidón total y almidón dañado
- fraccionamiento de la proteína de acuerdo a su solubilidad
- pruebas organolépticas y penetrometría en la tortilla.

VI. RESULTADOS

Preparación de las masas:

Los tiempos de cocción para los maíces blanco y opaco-2 utilizando cal (hidróxido de calcio), soda (hidróxido de sodio) y cloruro de calcio, así como un control donde no se usó ningún reactivo de cocción, se muestran en la Tabla 1. Puede observarse que en ambos tipos de maíz la cocción con soda fue la que necesitó menos tiempo (45 y 55 minutos para maíz blanco y opaco-2, respectivamente) en tanto que el control tuvo el mayor tiempo de cocción, 60 y 63 minutos. En la misma Tabla 1 pueden apreciarse las humedades (en base húmeda) de las distintas masas en el punto previo a la preparación de la tortilla. Las masas de maíz opaco-2 tuvieron en general más humedad que las masas de maíz blanco.

Cambios químicos en el proceso de elaboración de la tortilla:

En la Tabla 2 se resumen los resultados del análisis proximal realizado en el maíz, la masa y la tortilla (tanto para el maíz blanco como para el opaco-2) con el objeto de seguir los cambios sufridos por el maíz en la preparación tradicional de la tortilla. Todos los resultados se dan en base seca. La humedad (que fue mayor para el maíz opaco-2 que para el maíz blanco) tal como era de esperarse, es mayor en la masa que en la tortilla y que en el maíz crudo. En cuanto al contenido

de ceniza, para ambos maíces, éste es mayor en la masa y en la tortilla que en el maíz crudo; el maíz opaco-2 tuvo mayor contenido de cenizas que el maíz blanco. La proteína, en el caso del maíz blanco, aumento de 8.3, en el maíz crudo, a 8.9 g por 100 de materia seca en la masa y en la tortilla. En el maíz opaco-2 se observó la misma tendencia y la proteína aumentó de 8.6 a 9.1% base seca al pasar del maíz crudo a la masa y a la tortilla.

La fibra cruda siguió el mismo patrón de cambio en ambos maíces y al opaco-2 correspondieron los mayores valores. Como consecuencia de la cocción alcalina y de la eliminación de la cáscara del maíz, la fibra cruda disminuyó en la masa con respecto al maíz crudo. En la tortilla se observa un ligero aumento de la fibra cruda con respecto a la masa. Finalmente, el extracto etéreo fue mayor en el maíz opaco-2 que en el blanco y en ambos maíces se observó la misma tendencia en los cambios sufridos durante la producción de la tortilla, a saber, una disminución al pasar de maíz crudo a masa y de ésta a la tortilla.

Los resultados de almidón, amilosa, azúcares solubles, almidón dañado y acidez de grasa aparecen en la Tabla 3. En cada una de estas variables se obtuvo la misma tendencia de cambios en ambos maíces. El almidón disminuyó de 62.0%, en

el maíz crudo, a 60.7% en la tortilla del maíz blanco, en tanto que en el opaco-2 dicho cambio fue de 59.1 a 58.2%. La amilosa también disminuyó desde 24.5% en el maíz crudo hasta 24.0% en la masa y 23.9% en la tortilla en el maíz blanco, mientras que los valores correspondientes al maíz crudo, masa y tortilla en el opaco-2 fueron 22.9, 22.8 y 22.7%. El almidón dañado aumentó de 66% del almidón total en la masa a 72% en la tortilla en el maíz blanco; en el maíz opaco-2, los cambios correspondientes fueron de 69% en la masa a 72% en la tortilla. Las azúcares solubles aumentaron al producir la masa. En el maíz blanco, el contenido de azúcares solubles para el maíz crudo fue de 1.0% y para la masa de 1.1%; en el opaco-2 crudo fue de 1.0 en tanto que en la masa fue de 1.2%. Por último, en la Tabla 3 se aprecia la acidez de grasa expresada en mg KOH/100g de grasa. En ambos tipos de maíz se registró un aumento notorio de la acidez de grasa al pasar de maíz crudo a masa, y de ésta a la tortilla.

Las pruebas hechas para seguir los cambios químicos terminan en la Tabla 4 donde se presentan los resultados para cistina y lisina disponible. Ambos aminoácidos manifestaron un descenso, en los dos tipos de maíz, en la masa y en la tortilla con respecto al maíz crudo. La cistina disminuyó de 1.5 g/16gN en el maíz blanco crudo a 1.3g/16gN en la masa y en la tortilla, en tanto que en el opaco-2, el cambio fue de 2.1

g/16gN en el maíz crudo a 1.9g/16gN en la masa y en la tortilla. Por su parte, la lisina disponible en el maíz blanco crudo fue de 3.3g/16gN, en la masa de 3.2g/16gN y en la tortilla de 3.1g/16gN, mientras que en el opaco-2 crudo se obtuvo un resultado de 5.6, 5.4 en la masa y 5.3g/16gN en la tortilla.

Propiedades funcionales de las masas:

En esta sección se informa de los resultados que se obtuvieron al evaluar distintas propiedades funcionales de las masas de maíz blanco y opaco-2 preparadas a partir de la cocción con hidróxido de calcio (cal), hidróxido de sodio (soda), cloruro de calcio y una cocción control únicamente con agua sin ningún reactivo.

A partir de las distintas masas se prepararon tortillas cuyas propiedades organolépticas fueron evaluadas según el método de rangos descrito por Kramer y Twigg (1966). Las tortillas fueron evaluadas en sabor y en apariencia por un panel de doce individuos. En las pruebas de sabor las tortillas preparadas a partir de la cocción con cal y soda fueron las mejores aunque solamente en el caso del maíz blanco haya sido significativa ($P \leq 0.05$) la diferencia para la tortilla de cal como la mejor en sabor. Las pruebas de apariencia fí

sica (visual y táctil) al consumidor dieron a la tortilla preparada con soda como la mejor, seguida de la preparada con cal ($P \leq 0.05$); las tortillas preparadas con cloruro de calcio y las de la masa control fueron catalogadas en los últimos lugares. Estos resultados se resumen en la Tabla 5.

También se hicieron pruebas de textura a las tortillas anteriormente descritas con el objeto de encontrar alguna relación entre los resultados organolépticos y las propiedades físicas. Para ello se hicieron pruebas de compresión y corte a las tortillas usando el penetrómetro "Instron Universal Testing Instrument, Table Model 1130" del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Guatemala. En la Tabla 6 se informan los coeficientes de compresión Kc' (en Kg/cm^2) de acuerdo a Peleg y Gómez-Brito (1975). Mientras mayor es el valor de Kc' , más resistencia presenta la tortilla a la compresión. En ambos maíces la tortilla preparada con soda obtuvo el menor valor de Kc' (1.80 para el blanco y 1.82 Kg/cm^2 para el opaco-2), seguida de la tortilla preparada con cal (1.99 para el blanco y 2.00 para el opaco-2). Los mayores valores de Kc' se obtuvieron para las tortillas preparadas con cloruro de calcio y para las tortillas control, los cuales oscilaron entre 2.09 y 2.13 Kg/cm^2 .

Las propiedades reológicas de las masas fueron examinadas mediante la determinación del índice de comportamiento de flujo, n , que se relaciona a la velocidad de corte $-dv/dy$, al esfuerzo cortante y al coeficiente de consistencia m , según la expresión:

$$\tau = m(-dv/dy)^n.$$

Se siguió el método descrito por Heldman (1975) y se utilizó un viscosímetro Brookfield, modelo LVT del mismo instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Guatemala. Para hacer las determinaciones se dispersaron 25g de masa (base seca) en 200 ml de agua; la temperatura se mantuvo constante en 23°C. En el caso de ambos maíces, la masa producida con soda tuvo el mayor índice de comportamiento de flujo, seguida de la masa producida con cal. (El índice de comportamiento de flujo, que es un parámetro adimensional, en la masa preparada con soda fue de 0.70 para el maíz blanco y 0.80 para el opaco-2, en tanto que para la masa preparada con cal dichos valores fueron de 0.67 y 0.76, respectivamente para dichos maíces). Las masas control tuvieron el menor valor de n (0.60 para el maíz blanco y 0.72 para el opaco-2). En la Tabla 7 aparecen estos resultados.

Los resultados de las pruebas de amilografía, obtenidos

en un amilógrafo Brabender (modelo AV-10) pueden verse en la Tabla 8. Se reporta el pico de viscosidad máxima (en unidades Brabender, UB) a una temperatura inicial de 25°C. Para ambos maíces las masas que obtuvieron el menor pico de viscosidad fueron las preparadas con soda (1190 para el maíz blanco y 1192 UB para el opaco-2). Les siguieron las masas preparadas con la adición de cal (1396 para el blanco y 1398 UB para el opaco-2) y luego las preparadas con cloruro de calcio. Las masas control tuvieron los mayores valores para el pico de viscosidad, a saber, 1470 y 1474 UB para el maíz blanco y el maíz opaco-2, respectivamente ($P \leq 0.05$).

Los ensayos de absorción y retención de agua para las diferentes masas aparecen en la Tabla 9. En las masas de ambos tipos de maíz y tanto en absorción como en retención de agua, la masa preparada con soda obtuvo los menores valores seguida de la masa preparada con la adición de cal ($P \leq 0.05$). En el maíz blanco, por ejemplo, la absorción de agua en la masa con soda fue de 271% y la retención de 295%. La masa control y la preparada con cloruro de calcio obtuvieron los valores máximos. (En la masa control de maíz blanco la absorción de agua fue de 290% y la retención de 314%). En general, las masas de maíz blanco tuvieron menores valores en absorción y retención de agua que las masas de opaco-2.

Los resultados de almidón total y de almidón dañado (como porcentaje del total) para las diferentes masas se resumen en la Tabla 10. En los dos maíces se encontró que la masa preparada con adición de soda tuvo el menor contenido de almidón (58.2 para el blanco y 57.1% para el opaco-2) y la mayor cantidad de almidón dañado (81 para el blanco y 75% del total para el opaco-2). Las masas control tuvieron la menor cantidad de almidón dañado (68% del total en las masas de ambos maíces).

El fraccionamiento de la proteína de acuerdo a su solubilidad se realizó en los maíces crudos y en sus correspondientes masas, de acuerdo al método descrito por Paulis y col. (1975). Ambos maíces mostraron las mismas tendencias en la solubilidad de sus proteínas. En la Tabla 11 pueden apreciarse los resultados obtenidos, donde se observa que el contenido de zeína es menor en todas las masas que en su correspondiente maíz crudo. Asimismo, puede apreciarse que las glutelinas reducidas solubles en alcohol se encuentran en mayor concentración en las masas preparadas con la adición de soda. Las glutelinas reducidas, insolubles en alcohol, se ven en general aumentadas en concentración en las masas con respecto a los correspondientes maíces crudos, pero este aumento es menor en el caso de las masas preparadas con la adición de soda ($P \angle 0.05$).

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

Preparación de las masas:

Las masas de maíz blanco y opaco-2 fueron preparadas mediante la cocción tradicional con cal (hidróxido de calcio) de acuerdo al procedimiento descrito por Bressani y col. (1-958) y con cloruro de calcio e hidróxido de sodio usando una concentración equimolar de iones calcio o iones hidróxido, respectivamente, con relación a la cal usada. Se preparó también una masa control sin ningún reactivo de cocción. En ambos maíces (blanco y opaco-2) la masa con soda fue la que tuvo el menor tiempo de cocción y la masa control el mayor, lo cual puede atribuirse a que el hidróxido de sodio es la base más fuerte de los reactivos usados para cocer el maíz, lo cual acelera la gelatinización del almidón, la hidrólisis de algunas macromoléculas y el desprendimiento de la cáscara del maíz.

En general, en todos los casos y con los diferentes aditivos estudiados, el maíz opaco-2 tuvo mayores tiempos de cocción que el maíz blanco.

Cambios químicos en la preparación de la tortilla:

En ambos tipos de maíz, el contenido de cenizas fue mayor en la masa y en la tortilla que en el maíz crudo

debido a la adición de las sales de cocción y a los cambios en materia seca del maíz durante su cocimiento. En el caso de la cocción con cal, la característica anterior ha hecho que la tortilla aumente su importancia nutricional como fuente de calcio.

La grasa cruda o extracto etéreo disminuyó al pasar de maíz crudo a masa y a tortilla. La fibra cruda disminuyó, tanto en el maíz amarillo como en el opaco-2, al producir la masa. Esto puede deberse al desprendimiento de la cáscara o pericarpio que es donde se encuentra la mayor cantidad de fibra (Mertz, 1970). Sin embargo, la fibra aumentó al pasar de masa a tortilla, lo cual está de acuerdo con Reinhold (1979) quien informa que el contenido de fibra neutro y ácido detergente aumenta en la tortilla con respecto a la masa, probablemente debido a reacciones de oscurecimiento no enzimático o reacción de Maillard. En los dos maíces estudiados, la proteína cruda ($N \times 6.25$) mostró la misma tendencia en sus cambios, a saber, un aumento al convertir el maíz crudo en masa y tortilla. Esto pareciera estar en oposición a otros resultados previamente informados (Bressani, 1958). No obstante, es muy importante tomar en cuenta que los resultados que se informan aquí son en base seca de cada material estudiado.

En lo que respecta al almidón y sustancias relacionadas, es interesante notar que el contenido de almidón disminuye paralelamente con un aumento en las azúcares solubles y en el almidón dañado al pasar de maíz crudo a masa y a tortilla ($P < 0.05$).

La disminución en cistina y lisina disponible al pasar de maíz a tortilla está de acuerdo con datos informados anteriormente (Bressani, 1958; Sanderson y col. 1978).

Propiedades funcionales de las masas:

El hecho de que en las pruebas organolépticas la tortilla preparada con cal haya sido clasificada significativamente ($P < 0.05$) como la de mejor sabor, indica que el hidróxido de calcio, aparte de sus características nutricionales y de su acción en la cocción del maíz, es de mucha importancia en la producción del sabor deseado en la tortilla. Es decir, aun cuando pudiera emplearse otro método de cocción, los datos señalan que la cal es imprescindible para la aceptación de la tortilla por el consumidor. Ahora bien, en apariencia física las tortillas preparadas con la adición de soda fueron las mejores, seguidas de las adicionadas de cal; la textura de las primeras fue más suave y mejor su coloración. La mayor suavidad detectada por el panel para las tortillas

preparadas con soda o cal puede relacionarse a la basicidad de los hidróxidos de sodio y de calcio, y es interesante notar cómo esta característica detectada organolépticamente es confirmada instrumentalmente mediante las mediciones con el penetrómetro Instron. Efectivamente, las tortillas preparadas con soda o con cal tuvieron los menores valores del coeficiente de compresión K_c' , es decir, presentaron menos resistencia a fuerzas de compresión y, por ende, fueron más suaves.

Las propiedades reológicas de todas las masas evidenciaron un comportamiento de flujo no Newtoniano, específicamente, pseudoplástico. Para un fluido pseudoplástico, mientras más cercano a 1 es el valor del índice de comportamiento de flujo (n), más próximo está al comportamiento Newtoniano, siendo además menor el espesor del fluido (Ver Figura 2). En las masas de maíz blanco y de opaco-2, la masa preparada con soda tuvo el mayor valor de índice de comportamiento de flujo (n), seguida de la masa con cal. Los menores valores correspondieron a las masas con cloruro de calcio y control.

Los resultados amilográficos corroboran los datos obtenidos en las pruebas reológicas para el índice de comportamiento de flujo, pues de todas las masas, las preparadas con adición de soda o cal presentaron los menores valores en el

pico de máxima viscosidad amilográfica, en tanto que la masa preparada con cloruro de calcio y la masa control, los mayores. En una masa, la viscosidad amilográfica máxima depende del grado de integridad de los gránulos de almidón (Olkku y Rha, 1978), es decir, del almidón dañado, y se ha encontrado que es un índice de la adecuación de las masas para la producción de tortillas (Molina y col, 1977). Asimismo, los materiales con mayor grado de procesamiento son los que alcanzan menores picos de viscosidad máxima (Anderson y col., 1969).

Las masas preparadas con soda o con cal obtuvieron también los menores valores para la absorción y la retención de agua, lo cual está de acuerdo con lo informado por Anderson y col. (1969) de que la absorción de agua depende del grado de procesamiento de la masa.

Todo lo anterior parece indicar que los hidróxidos de sodio y de calcio (soda y cal) produjeron un mayor grado de procesamiento, tanto en el maíz blanco como en el opaco-2, que se refleja en los menores valores obtenidos en las masas preparadas con soda o con cal, tanto en los parámetros amilográficos y de absorción y retención de agua como en el menor grado de espesor indicado por los mayores valores observados en el índice de comportamiento de flujo. Dicha severi

dad en el procesamiento debería manifestarse en los componentes del grano de maíz que están presentes en mayor cantidad y que son responsables en alto grado de las propiedades reológicas de la masa vale decir, el almidón y la proteína, y en efecto, las masas preparadas con soda o con cal fueron las que presentaron los mayores valores de almidón dañado, dejando a las preparadas con cloruro de calcio y a las control con los menores contenidos del mismo. En concordancia a esto último, se puede concluir, observando sus propiedades funcionales, que la masa preparada con adición de cloruro de calcio y la masa control tuvieron el menor grado de procesamiento.

El fraccionamiento de la proteína en las masas de acuerdo a su solubilidad mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) solamente entre la masa preparada con soda con respecto a las restantes, en lo concerniente a su contenido de glicelinas reducidas solubles en alcohol. Se presume que esto podría deberse al hecho de que el hidróxido de sodio es la base más fuerte de todos los compuestos usados, lo cual le daba mayor capacidad hidrolítica sobre las proteínas.

Las diferencias halladas entre la solubilidad proteínica en los maíces crudos y las masas producidas a partir de ellos fueron todas significativas ($P < 0.05$), lo cual está

de acuerdo, entre otros autores, con Bressani y Scrimshaw (1958) quienes informan de los cambios en la solubilidad de las proteínas del maíz como consecuencia de la cocción con cal.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El maíz opaco-2 presentó mayores tiempos de cocción que el maíz blanco en la producción de las masas.
2. El maíz opaco-2, al igual que el maíz blanco, sufre (en base seca) cambios significativos ($P < 0.05$) al ser transformado en masa y luego en tortilla. En el caso del opaco-2, la proteína aumenta de 8.6% en el maíz crudo a 9.1% en la masa y en la tortilla, el extracto etéreo disminuye de 5.9% en el maíz crudo a 4.2% en la tortilla. En el mismo maíz, la ceniza aumenta desde un valor inicial de 1.5% en el maíz crudo hasta 1.6% en los productos finales, asimismo, la fibra cruda sufre un descenso de 2.1% en el grano a 1.6% en la tortilla. El maíz blanco mostró las mismas tendencias que el opaco-2 en los cambios sufridos, es decir, un aumento en los contenidos de proteína y de cenizas, y una disminución en fibra cruda y extracto etéreo.
3. La cal, hidróxido de calcio, es necesario para la formación del sabor adecuado en las tortillas tanto de maíz blanco como de maíz opaco-2.
4. Las cocciones con adición de soda (hidróxido de sodio) y cal dieron lugar a tortillas de mejor apariencia visual y táctil.

En cuanto a la textura, este resultado organolépticamente detectado fue corroborado instrumentalmente mediante mediciones en el penetrómetro Instron.

5. Al analizar las propiedades funcionales de las masas, se encontró que la soda y la cal produjeron un mayor grado de procesamiento en el maíz, tal como quedó demostrado por su mayor contenido en almidón dañado, su baja viscosidad amilográfica máxima, su menor grado de espesor (mayor índice de comportamiento de flujo) y los menores valores obtenidos de absorción y de retención de agua.
6. El maíz opaco-2 y el blanco sufrieron cambios significativos ($P < 0.05$) en el patrón de solubilidad de sus proteínas durante el proceso de fabricación de la tortilla con cal. Específicamente, disminuyó el contenido de albúminas y globulinas, y el de zeína, mientras que las glutelinas reducidas tanto solubles como insolubles en alcohol, aumentaron.-

IX. RESUMEN

En este trabajo se pretendió determinar cambios bioquímicos y funcionales que ocurren en el maíz durante el proceso de producción de la tortilla. Asimismo, se investigó el efecto de la cal (hidróxido de calcio) sobre las propiedades de la tortilla. Se estudiaron el maíz blanco y el opaco-2.

La tortilla se preparó según la tradicional cocción alcalina usando 1.2 litros de agua por kilogramo de maíz y 0.5% de cal con respecto al grano a cocer. Para evaluar el efecto de la cal sobre las propiedades funcionales de la masa, se hicieron otras tres cocciones usando hidróxido de sodio, cloruro de calcio y una cocción control solamente con agua sin ningún reactivo. Las cantidades de hidróxido de sodio y cloruro de calcio fueron tales que se mantuviera constante la concentración de iones hidróxido o iones calcio con respecto a la cocción con cal.

Los cambios químicos sufridos durante la preparación tradicional de la tortilla (expresados en base seca) mostraron la misma tendencia tanto para el maíz blanco como para el maíz opaco-2. La proteína cruda y las cenizas evidenciaron un aumento en su concentración, en tanto que la fibra cruda y el extracto

to etéreo, una disminución en su contenido.

Según las pruebas organolépticas de sabor, evaluado por el método de rangos, se encontró que la cal es indispensable para la formación del sabor y textura aceptables en la tortilla. Asimismo, las cocciones con adición de soda (hidróxido de sodio) y cal produjeron tortillas de mejor apariencia visual y táctil. En cuanto a la textura, este resultado organolépticamente obtenido fue corroborado instrumentalmente mediante mediciones en el penetrómetro Instron.

La soda y la cal produjeron un mayor grado de procesamiento en el maíz, tal como quedó demostrado por su mayor contenido en almidón dañado, su baja viscosidad amilográfica máxima, su menor grado de espesor (mayor índice de comportamiento de flujo) y sus menores valores de absorción y retención de agua.

El maíz opaco-2 y el maíz blanco sufrieron cambios significativos ($P \leq 0.05$) en el patrón de solubilidad de sus proteínas durante el proceso de fabricación de la tortilla con cal. Específicamente, disminuyó el contenido de albúminas y globulinas, y el de zeína, mientras que las glutelinas reducidas tanto solubles como insolubles en alcohol, aumentaron.-

X. REFERENCIAS

1. American Association of Cereal Chemists. "Approved Methods of the AACCC". St. Paul, Minn. 1976.
2. Anderson, R.A.; H.F. Conway, V.F. Pfeifer y E.L. Griffin Jr. "Gelatinization of corn grits by roll -and extru sion- cooking". Cereal Sci. Today, 14:4-12. 1969.
3. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. Official methods of analysis of the A.O.A.C. 12th ed. Washington, D.C., 1975. 1094 p.
4. Bressani, R.; R. Paz y Paz y N.S. Scrimshaw. "Chemical changes in corn during preparation of tortillas". J. Agr. Food Chem., 6:770-774. 1959.
5. Bressani, R. y N.S. Scrimshaw. "Effect of lime treatment on in vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn". J. Agr. Food Chem., 6:774-778. 1958.
6. Bressani, R.; L.G. Elías, M. Santos, D. Navarrete y N.S. Scrimshaw. "El contenido de nitrógeno y de aminoácidos esenciales de diversas selecciones de maíz". Arch. Venez. Nut., 10:85-100. 1960.
7. Bressani, R. "Protein quality of opaque-2 maize in children". En: Proceedings of the high lysine corn conference. Purdue University, June 21-22, 1966. Washington, D.C., Corn Industries Research Foundation. pp. 34-39. 1966.
8. Bressani, R.; L.G. Elías y J.E. Braham. "Suplementación, con aminoácidos, del maíz y la tortilla". Arch. Latinoamer. Nutr., 18:123-134. 1968.
9. Bressani, R. "La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países". En: Conferencia (sobre) Mejoramiento Nutricional del Maíz. INCAP. Guatemala 6-8 de marzo de 1972. Memoria. (Guatemala, INCAP, 1972). pp. 5-30.
10. Conkerton, E.J. y V.L. Frampton. "Reaction of gossypol with free ϵ -amino groups of lysine in proteins". Arch. Biochem. Biophys., 81:130-134. 1959.

11. De Groot, A.P. y P. Slump. "Effects of severe alkali treatment of proteins on amino acid composition and nutritive value". J. Nut., 98:45-56. 1969.
12. Dubois, M.; K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Reibers y F. Smith. "Colorimetric method for determination of sugars and related substances". Anal. Chem., 28:350-356. 1956.
13. Farrand, E.A. "Flour properties in relation to modern bread processes in the United Kingdom, with special reference to alpha-amylase and starch damage". Cereal Chem., 41:98-111. 1964.
14. Frost, C.H. y D. Robinson. "High lysine corn -What lies ahead?" J. Am. Oil Chem. Soc., 48:407-411. 1971.
15. Fullington, J.G. y H.S. Hendrickson. "Phospholipid-metal complexes". J. Biol. Chem., 241:4097-4100. 1966.
16. Fullington, J.G. "Interaction of phospholipid-metal complexes with water-soluble wheat protein". J. Lipid Res., 8:609-614. 1967.
17. Ganz, A.J. "Effect of sodium chloride on the pasting of wheat starch granules". Cereal Chem., 42:429-431. 1965.
18. Harmon, B.G.; D.E. Becker, A.H. Jensen y D.H. Baker. "Nutrient composition of corn and soybean meal. J. Animal Sci., 28:459-464. 1969.
19. Heldman, D.R. "Rheology of processed food". En: Food process engineering. Westport, Conn. Avi Pub. Co., pp. 25-85. 1977.
20. Hogan, A.G.; G.T. Gillespie, O. Koctürk, B.L. O'dell y L.M. Flynn. "The precentage of protein in corn and its nutritional properties". J. Nut., 57:225-239. 1955.
21. Hood, L.F. y G.K. O'Shea. "Calcium binding by hydroxy-propyl distarch phosphate and unmodified starches". Cereal Chem., 54:226-271. 1977.
22. Howe, E.E.; G.R. Jansen y E.W. Gilfillan. "Amino Acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply". Am. J. Clin. Nut., 16:315-320. 1965.

23. Howling, D. "The influence of the structure of starch on its rheological properties". Food Chemistry, 6: 51-61. 1980.
24. Inglett, E. "Food uses of corn around the world". En: Corn: culture, processing, products; major feed and food crops in agriculture and food series. G.E. Inglett. Ed. Westport, Connecticut, Avi, Publishing Co., Inc., pp. 138-150. 1970.
25. Inglett, G.E. "Kernel structure, composition and quality". En: Corn: culture, processing, products; major feed and food crops in agriculture and food series. G.E. Inglett. Ed. Westport, Connecticut, Avi Publishing Co., Inc., pp. 125-132. 1970.
26. Jugenheimer, R.W. Corn. Improvement, seed production and uses. John Wiley and Sons, New York. pp. 25. 1976.
27. Katz, S.H.; M.L. Hediger y L.A. Valleroy. "Traditional maize processing techniques in the New World". Science, 184:765-773. 1974.
28. Kramer, A. y B.A. Twigg. Fundamentals of quality control for the food industry. (Revised and augmented edition). p. 142. Avi Publishing Co. Inc. Westport, CT. 1966.
29. Mertz, E.T.; L.S. Bates y O.E. Nelson. "Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm". Science, 145:279-280. 1964.
30. Mertz, E.T.; O.A. Veron, L.S. Bates y O.E. Nelson. "Growth of rats fed on opaque-2 maize". Science, 148:1741-1742. 1965.
31. Mertz, E.T. "Nutritive value of corn and its products". En: Corn: culture, processing, products; major feed and food crops in agriculture and food series. G.E. Inglett. Ed. Westport, Connecticut, Avi Publishing Co., Inc. pp. 350-359. 1970.
32. Mitchell, H.H.; T.S. Hamilton y J.R. Beadles. "The relationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein". J. Nut., 48:461-475. 1952.
33. Molina, M.R.; M. Letona y R. Bressani. "Drum drying for the improved production of instant tortilla flour".

J. Food Sci., 42:1432-1434. 1977.

34. Olkhu, J. y C. Rha. "Gelatinization of starch and wheat flour starch -A review". Food Chemistry, 3:293-317. 1978.
35. Paulis, J.W.; C. James y J.S. Wall. "Comparison of glutelin proteins in normal and high-lysine corn endosperms". J. Food Agr. Chem., 17:1301-1305. 1969.
36. Paulis, J.W.; J.A. Bietz y J.S. Wall. "Corn protein subunits: molecular weights determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis". J. Agr. Food Chem., 23:197-201. 1975.
37. Peleg, M. y L. Gómez-Brito. "Estimation of the components of a penetration force of some tropical fruits". J. Food Sci., 40:1030-1032. 1975.
38. Reinhold, J.G. y J.S. García. "Fiber of the maize tortilla". Am. J. Clin. Nutr., 32:1326-1329. 1979.
39. Sanderson, J.; J.S. Wall, G.L. Donaldson y F.F. Cavins. "Effect of alkaline processing of corn on its amino acids". Cereal Chem., 55:204-213. 1978.
40. Senti, F.R. y W.C. Schaefer. "Corn: Its importance in food, feed and industrial uses". Cereal Sci. Today, 17:352-356. 1972.
41. Snedecor, G.W. y W.A. Cochran. Statistical Methods. Seventh Edition. The Iowa State University Press. 1980.
42. Struthers, B.J. "Lysinoalanine: production, significance and control in preparation and use of soya and other food proteins". J. Am. Oil Chem. Soc., 58:501-503. 1981.
43. Weber, E.J. "Corn Lipids". Cereal Chem., 55:572-584. 1978.
44. Weber, E.J. "The lipids of corn germ and endosperm". J. Am. Oil Chem. Soc., 56:637-641. 1979.
45. Williams, P.C.; F.D. Kusina e I.H. Hlynka. "A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours". Cereal Chem., 47:411-420. 1970.-

A N E X O S

Tabla 1. Tiempos de cocción y humedades de las masas de maíz blanco y opaco-2. Cocciones con cal, soda, cloruro y control.

	Maíz blanco				Maíz opaco-2			
	Cal	Soda	Cloruro	Control	Cal	Soda	Cloruro	Control
Tiempo de cocción (minutos)	50	45	58	60	60	55	62	63
Humedad (base húmeda) %	64.0	64.2	64.2	65.0	69.2	66.0	63.7	68.2

Tabla 2. Análisis químico proximal de maíz crudo, masa y tortilla de los maíces blanco y opaco-2. Cocción con cal. (Coeficiente de variación $s/\bar{X} = 0.01$).

% en base seca *	Maíz blanco			Maíz opaco-2		
	crudo	masa	tortilla	crudo	masa	tortilla
Humedad (base seca)	13.77	177.0	55.2	16.69	224.7	56.1
Cenizas	1.1	1.3	1.3	1.5	1.6	1.6
Proteína (Nx6.25)	8.3	8.9	8.9	8.6	9.1	9.1
Fibra cruda	1.6	1.1	1.2	2.1	1.5	1.6
Extracto etéreo	5.7	4.1	4.0	5.9	4.4	4.2

* Basado en materia seca. El contenido porcentual de un componente x se calculó como gramos x/gramos materia seca . 100.-

Tabla 3. Almidón, amilosa, azúcares solubles, almidón dañado (como % del almidón total) y acidez de grasa (mg KOH/100g grasa) en el maíz crudo, masa y tortilla de maíz blanco y opaco-2. (Coeficiente de variación $s/\bar{X} = 0.01$).

% en base seca *	Maíz blanco			Maíz opaco-2		
	crudo	masa	tortilla	crudo	masa	tortilla
Almidón	62.0	60.8	60.7	59.1	58.2	58.2
Amilosa	24.5	24.0	23.9	22.9	22.8	22.7
Azúcares solubles	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	1.1
Almidón dañado (% del total)	--	66	72	--	69	72
Acidez de grasa (mgKOH/100g/grasa)	19.4	98.6	110.7	23.1	102.2	119.5

*Calculado como 100. g componente/g materia seca.

Tabla 4. Cistina y lisina disponible para maíz crudo, masa y tortilla de los maíces blanco y opaco-2 (en g/16g N). (cocción con cal).

Aminoácido g/16g N	Maíz blanco			Maíz opaco-2		
	crudo	masa	tortilla	crudo	masa	tortilla
Cistina	1.5	1.3	1.3	2.1	1.9	1.9
Lisina disponible	3.3	3.2	3.1	5.6	5.4	5.3

Tabla 5. Resultados de las pruebas organolépticas de sabor y apariencia en tortillas de maíz blanco y opaco-2 preparadas con soda, cal, cloruro y la cocción control. ($P \leq 0.05$).

MAIZ BLANCO

- 1) Pruebas de sabor: * (25) (31) (31) (43)
 $\leftarrow \text{Cal} > \text{soda} = \text{cloruro} > \text{control}$
 Mejor sabor
- ii) Pruebas de apariencia (20) (30) (32) (48)
 $\leftarrow \text{Soda} > \text{cal} > \text{control} > \text{cloruro}$
 mejor apariencia

MAIZ OPACO-2

- i) Pruebas de sabor: No hubo diferencias significativas entre las tortillas. Sin embargo hubo tendencia a calificar las preparadas con cal y soda como las de mejor sabor.
- ii) Pruebas de apariencia (19) (26) (37) (38)
 $\leftarrow \text{soda} > \text{cal} > \text{control} = \text{cloruro}$
 mejor apariencia
-

*Los números entre paréntesis son las sumas de los rangos encontrados por el panel compuesto por doce individuos.-

Tabla 6. Coeficiente de compresión Kc' (en Kg/cm^2) de las diferentes tortillas de los maíces blanco y opaco-2. (Coeficiente de variación $s/\bar{X} = 5.0 \times 10^{-4}$).

Maíz blanco				Maíz opaco-2			
Cal	Soda	Cloruro	Control	Cal	Soda	Cloruro	Control
1.99	1.80	2.10	2.11	2.00	1.82	2.09	2.13

Tabla 7. Índice de comportamiento de flujo de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2. (Las mediciones se hicieron a la temperatura constante de 23°C). *

Maíz blanco				Maíz opaco-2			
Cal	Soda	Control	Cloruro	Cal	Soda	Control	Cloruro
0.67	0.70	0.60	0.65	0.76	0.80	0.72	0.72

*Coeficiente de variación $s/X = 1.50 \times 10^{-3}$.

Tabla 8. Viscosidad amilográfica máxima (en unidades Brabender, UB) de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2. *

Maíz blanco				Maíz opaco-2			
Cal	Soda	Cloruro	Control	Cal	Soda	Cloruro	Control
1396	1190	1447	1470	1398	1192	1440	1474

*Coeficiente de variación $s/X = 1 \times 10^{-3}$.

Tabla 9. Absorción y retención de agua de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2.*

	Maíz blanco				Maíz opaco-2			
	Cal	Soda	Cloruro	Control	Cal	Soda	Cloruro	Control
Absorción de agua (%)	282	271	289	290	285	269	288	292
Retención de agua (%)	301	295	312	314	309	296	310	312

* Coeficiente de variación $s/X = 1 \times 10^{-3}$.

Tabla 10. Almidón total y dañado (expresado como porcentaje del almidón total) de las diferentes masas de los maíces blanco y opaco-2. *

	Maíz blanco				Maíz opaco-2			
	Cal	Soda	Cloruro	Control	Cal	Soda	Cloruro	Control
Almidón total (%)	60.8	58.2	60.6	60.2	58.2	57.1	58.9	59.4
Almidón dañado (% del total) **	75	81	70	68	69	75	70	68

* Coeficiente de variación $s/\bar{X} = 0.01$

** Calculado en base al almidón total indicado en la primera línea horizontal.

Tabla 11. Solubilidad proteínica en maíz blanco y opaco-2 crudos y sus masas.
(Coeficiente de variación s/X = 0.01).

	% del N total									
	Maíz blanco					Maíz opaco-2				
	Maíz crudo	Masa cal	Masa soda	Masa cloruro	Masa control	Maíz crudo	Masa cal	Masa soda	Masa cloruro	Masa control
Albúminas y globulinas	25.0	23.1	25.2	23.7	23.5	35.0	33.1	36.8	32.9	32.8
Zeínas	42.0	35.4	35.1	35.8	34.0	34.3	28.2	28.4	28.4	28.0
Glutelinas redu- cidas solubles en alcohol	10.1	10.6	15.5	9.1	10.9	7.6	7.7	8.5	7.6	7.8
Glutelinas redu- cidas insolubles en alcohol	22.5	29.0	24.5	30.2	29.8	23.4	29.4	23.6	28.6	29.2

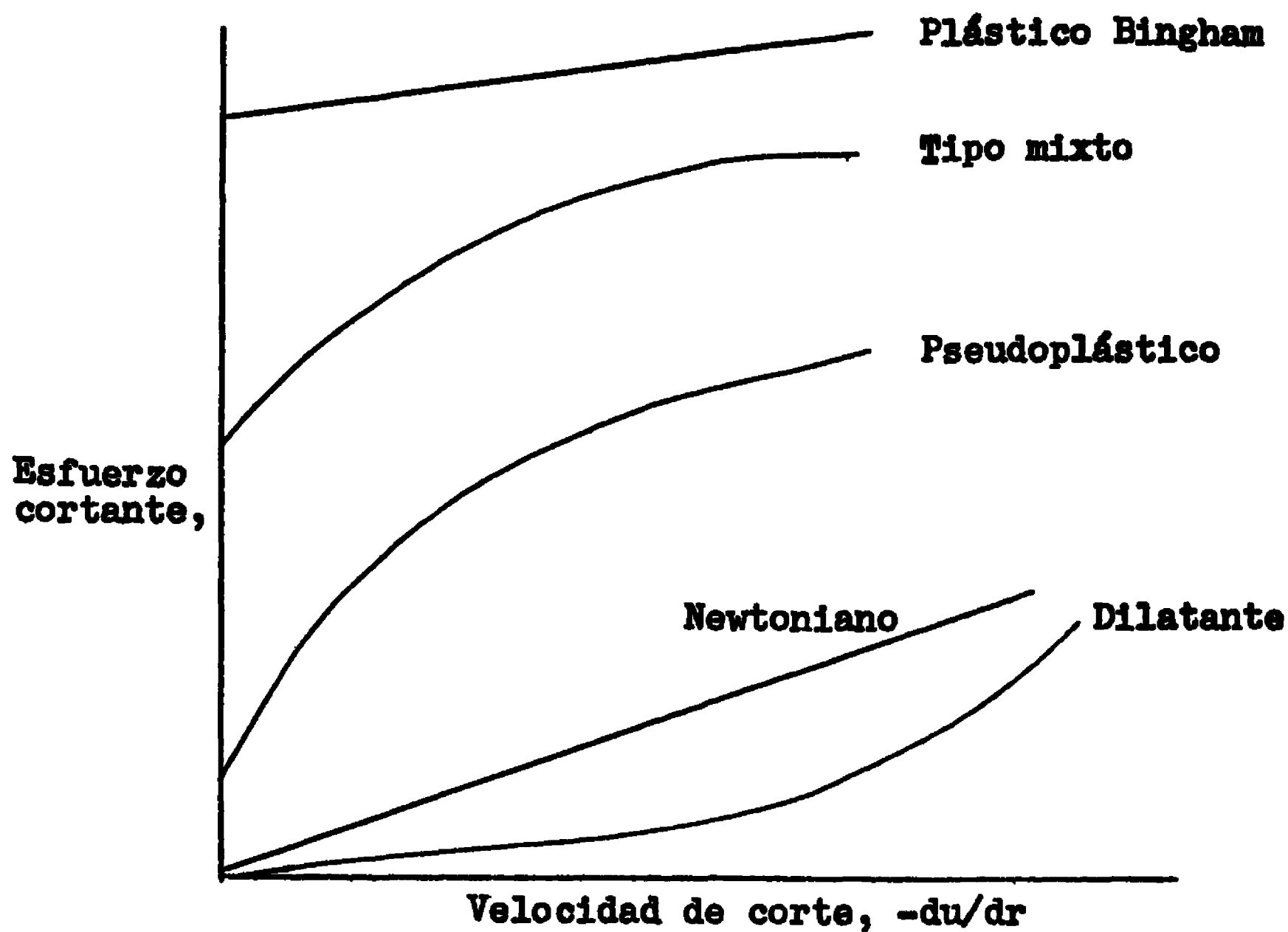


Fig. 2. Comparación de la relación entre esfuerzo cortante y velocidad de flujo para fluidos no Newtonianos y Newtonianos. (Tomado de Heldman, D.R., "Food Process Engineering", 1975).-

VISTO BUENO

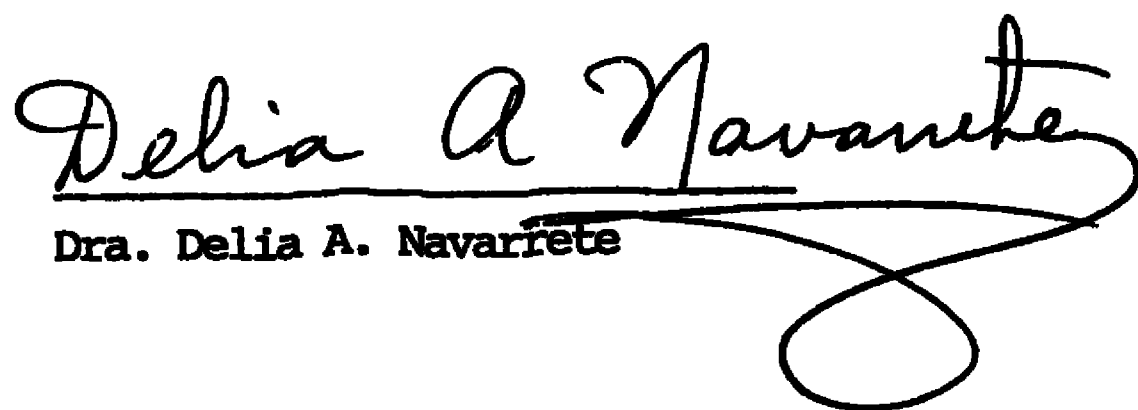
COMITE DE TESIS


Dr. Mario B. Molina

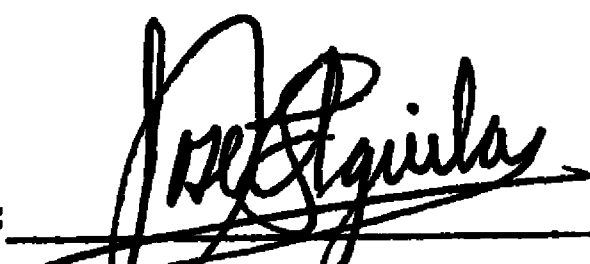

César Antonio Estrada Mendizábal


Dr. Ricardo Bressani


Dr. Luiz G. Elías


Dra. Delia A. Navarrete

Imprímase:


Dr. José Héctor Aguilar
Decano de la Facultad de
Ciencias Químicas y Farmacia.