

**Extracción de goma de fibra de maíz y su  
utilización como sustituto de  
carboximetilcelulosa en harina de  
autoconsumo reforzada**

Diego Antelo Hollweg

**Honduras**  
Diciembre, 2003

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

# **Extracción de goma de fibra de maíz y su utilización como sustituto de carboximetilcelulosa en harina de autoconsumo reforzada**

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado  
Académico de Licenciatura.

Presentado por:

**Diego Antelo Hollweg**

**Honduras**  
Diciembre, 2003

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

Diego Antelo Hollweg

**Honduras**  
Diciembre, 2003

**Extracción de goma de fibra de maíz y su utilización como  
sustituto de carboximetilcelulosa en harina de autoconsumo  
reforzada**

presentado por:

Diego Antelo Hollweg

Aprobada:

---

Gladys Fukuda, M.Sc.  
Asesor principal

---

Claudia García, Ph.D.  
Coordinadora de la Carrera  
de Agroindustria

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Asesor

---

Antonio Flores, Ph.D.  
Decano Académico

---

Carlos Rodríguez, Ing. Agr.  
Asesor

---

Kenneth Hoadley, Ph.D.  
Rector

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

A DEMASA por su apoyo en todo momento.

A la familia Rodríguez por tratarme como un hijo.

A Gladys Fukuda por todo su apoyo y paciencia sobretodo.

A todas las personas de Zamorano que permitieron que yo realizara este trabajo durante la práctica profesional.

## **AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES**

Agradezco al Ing. Carlos Rodríguez, gerente del departamento de abastecimiento de maíz de DEMASA Centro América, por la ayuda económica brindada durante la realización de esta investigación.

Agradezco a la Ing. Lidiette Villalobos, gerente del departamento de abastecimiento y conservación de maíz de DEMASA, por el financiamiento de los análisis efectuados al pericarpio de maíz.

## RESUMEN

Antelo, Diego. 2003. Extracción de goma de fibra de maíz y su utilización como sustituto de carboximetilcelulosa en harina de autoconsumo reforzada. Proyecto de graduación del Programa de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano, Honduras. 31 pp.

La empresa Derivados de Maíz Alimenticio S.A. (DEMASA), en Costa Rica, procesa de 2,500 a 3,000 t de maíz mensuales y genera como subproducto aproximadamente 60 t de pericarpio de maíz, el que es vendido para alimentación animal. Buscando una alternativa para reducir las mermas de producción, y maximizar el uso de la materia prima, se realizó este estudio con el objeto de extraer goma de fibra de maíz (CFG por sus siglas en inglés) del pericarpio para reemplazar la carboximetilcelulosa (CMC) de la harina de autoconsumo (AC), sin afectar los estándares de calidad de la fórmula comercial. La goma se extrajo en Zamorano con la metodología patentada por Kevin Hicks en 1998. La CFG se probó al 0, 1, 2, 2.5, 3 y 4% en la fórmula de harina AC reforzada. Se analizó el rendimiento, adhesividad, humedad, color seco y húmedo con la metodología descrita en el ISO 9002 de DEMASA denominado ITQ-007. Se realizaron análisis univariados de los datos de cada tratamiento, comparaciones múltiples de medias y pruebas de rango múltiples, comparándolos con los estándares de calidad de la harina AC reforzada. La CMC puede ser reemplazada por CFG, obteniendo el mismo rendimiento, adhesividad y color de la fórmula comercial. Con 2.5 y 3% de CFG en la fórmula se obtuvo características similares a la CMC al 0.04%. La metodología de extracción necesita ser mejorada porque tiene un rendimiento bajo y costos altos. Debido a que la extracción fue en laboratorio, el costo del proceso y uso de CFG es mayor que el de la CMC comercial. Sin embargo, el estudio demuestra el alto potencial del pericarpio de maíz como materia prima en la industria de ingredientes, lo cual le agrega valor a este subproducto. Adicionalmente, hay que evaluar el potencial del residuo de celulosa al extraer CFG, el cual podría ser otra alternativa de aprovechamiento del pericarpio.

**Palabras claves:** pericarpio, subproducto, hemicelulosa, rendimiento

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Agradecimiento a patrocinadores.....	v
Resumen.....	vi
Contenido.....	vii
Índice de Cuadros.....	ix
Índice de Gráficos.....	x
Índice de Anexos.....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 GOMAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA .....	4
2.2 PERICARPIO DE MAÍZ Y SU POTENCIAL .....	4
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
3.1 UBICACIÓN .....	6
3.2 MATERIALES .....	6
3.3 EQUIPO.....	6
3.4 MÉTODOS .....	7
3.4.1 Preparación del pericarpio .....	7
3.4.2 Purificación del pericarpio molido.....	7
3.4.3 Extracción de la goma de fibra de maíz.....	7
3.4.4 Análisis químico de la goma de fibra de maíz.....	8
3.4.5 Reemplazo de carboximetilcelulosa por goma de fibra de maíz .....	8
3.4.6 Diseño experimental y análisis estadístico .....	9
3.4.7 Análisis de costos de la elaboración de la goma de fibra de maíz a nivel de laboratorio y comparación con el uso de carboximetilcelulosa comercial.....	10
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>11</b>
4.1 ANÁLISIS DEL PERICARPIO .....	11
4.2 EXTRACCIÓN DE LA GOMA DE FIBRA DE MAÍZ .....	11
4.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA GOMA DE FIBRA DE MAÍZ .....	13
4.4 REEMPLAZO DE CARBOXIMETILCELULOSA CON GOMA DE FIBRA DE MAÍZ.....	14

4.5	ANÁLISIS DE COSTOS INCURRIDOS PARA LA EXTRACCIÓN DE GOMA DE FIBRA DE MAÍZ A NIVEL DE LABORATORIO .....	17
5.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	19
6.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	20
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	21
8.	<b>ANEXOS</b> .....	23

**ÍNDICE DE CUADROS**

## Cuadro

1.	Composición química del pericarpio de maíz .....	2
2.	Contenido de goma de fibra de maíz para los tratamientos de reemplazo de carboximetilcelulosa en la harina de autoconsumo reforzada. ....	8
3.	Estándares de calidad de la harina de autoconsumo reforzada.....	10
4.	Composición química del pericarpio de maíz de DEMASA y FAO (1993) .....	11
5.	Balance de masa para la extracción de goma de fibra de maíz .....	12
6.	Composición de pericarpio y residuo de celulosa .....	13
7.	Análisis químicos de los lotes de goma de fibra de maíz extraída en el Centro de Evaluación de Alimentos y la goma extraída por Doner (1998) .....	14
8.	Costos incurridos para el procesamiento a nivel de laboratorio de un lote de 1 kg de pericarpio con rendimiento de 21% de goma de fibra de maíz.....	18

**ÍNDICE DE FIGURAS**

## Figura

1.	Medias de rendimiento de harina según tratamiento.....	15
2.	Medias de adhesividad de la masa según tratamiento.....	15
3.	Medias de color seco y húmedo de la harina según tratamiento.....	16
4.	Medias de humedad de la harina según tratamiento.....	17

**ÍNDICE DE ANEXOS**

## Anexo

1.	Diagrama de flujo de producción de goma de fibra de maíz.....	24
2.	Proceso productivo de carboximetilcelulosa.....	25
3.	Resultados de las variables medidas en los tratamientos usados en la harina.....	26
4.	Análisis de varianza y separación de medias de las variables dependientes evaluadas en el estudio .....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa DEMASA ubicada en Costa Rica pertenece al Grupo Maseca (GRUMA), una transnacional de capital mexicano con operaciones en Centro América, Estados Unidos, Venezuela, Inglaterra y México. DEMASA procesa entre 2500 y 3000 t de maíz mensuales y produce cinco tipos distintos de harinas de maíz nixtamalizado. Hay tres tipos de harina a los cuales se les remueve entre 3 a 5% de pericarpio y son la harina súper 50, de exportación y de autoconsumo (AC). En DEMASA se producen mensualmente 60 t de pericarpio de maíz, como subproducto, las cuales son vendidas a Dos Pinos para la alimentación animal.

Mensualmente ellos producen 150 t de harina AC reforzada, ésta es un tipo de harina con germen de maíz que es destinada a la tortillería. Entre los ingredientes de esta harina podemos encontrar carboximetilcelulosa (CMC), en niveles de 0.04% de la formulación. La función de este aditivo es estandarizar el rendimiento de la harina<sup>1</sup>, aumentar la flexibilidad y mejorar la textura de la masa.

GRUMA actualmente vende el pericarpio producido en todas sus plantas al sector pecuario, donde es usado como materia prima para la elaboración de concentrados animales. Los molinos de producción tienen una merma aproximada de 1.6 % atribuido a este subproducto y que podría ser industrializado para obtener otros productos como aceite, alcohol o aditivos.

La CMC es celulosa finamente molida y digerida por medio de enzimas, tratamiento que deja radicales carboxilo libres (Chaplin, 2002), los cuales le dan propiedad emulsificante y estabilizante en emulsiones proteicas, junto con la capacidad de la celulosa de ligar agua, aumentando así el peso del producto sin aumentar calorías y mejorando la textura, volviéndola más suave y flexible.

Según FAO (1993), el pericarpio de maíz tiene una composición alta en fibra como se muestra en el Cuadro 1 y está formada por 67% de hemicelulosa, 23% de celulosa y 0.1% de lignina.

---

<sup>1</sup> París, A. 2003. Harina AC reforzada. DEMASA- Pavas, San José de Costa Rica. Comunicación personal.

Cuadro 1. Composición química del pericarpio de maíz.

<i>Componente</i>	<i>%</i>
Proteína cruda	3.70
Grasa	1.00
Fibra cruda	86.70
Ceniza	0.80
Almidón	7.30
Azúcar	0.34

Fuente: FAO, 1993.

Desde antes de 1997, el Servicio de Investigación para la Agricultura (ARS por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ya estaba trabajando con pericarpio de maíz, buscando una alternativa para darle plusvalía a este subproducto de la molienda húmeda. Documentos publicados indican (Roth, 2001; Doner *et al.*, 1998; Olson, 1998) que como resultado de esa línea de investigación se obtuvieron tres productos del pericarpio de maíz: aceite, alcohol etílico y una goma. El aceite obtenido tiene el nombre de "Amazing Oil", esto debido a su alto contenido de fitosteroles al cual le atribuyen la propiedad de disminuir el colesterol en la sangre. La goma tiene el nombre comercial de "Zeagen" o "corn fiber gum" (CFG por sus siglas en inglés), goma que tiene propiedades emulsificantes y un bajo poder espesante (Stanley, 1997).

Mensualmente se produce un aproximado de 60 t de pericarpio, el cual se vende a un precio de US \$ 92 por t<sup>2</sup>, precio que contrasta con el precio actual del maíz que es de alrededor de US \$ 180 por t<sup>3</sup>. La extracción de hemicelulosa B del pericarpio y su utilización como reemplazo de CMC en la harina AC reforzada puede representar una alternativa que permita al molino reducir mermas de producción y aumentar la eficiencia ecológica.

---

<sup>2</sup> Villalobos, L. 2003. Subproductos de molino. DEMASA-Pavas, San José de Costa Rica. Comunicación personal.

<sup>3</sup> Rodríguez, C. 2003. Precios del maíz. DEMASA-Pavas, San José de Costa Rica. Comunicación personal.

## **1.1 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

- La extracción de la CFG se realizó en el Centro de Evaluación de Alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana.
- La evaluación de la CFG como sustituto de CMC en la harina AC reforzada se hizo en DEMASA, bajo los estándares establecidos por la empresa.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Extraer la goma de fibra de maíz (CFG) del pericarpio y evaluar su uso como sustituto de carboximetilcelulosa (CMC) en la fórmula de harina de autoconsumo reforzada.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Extraer CFG del pericarpio de maíz producido por DEMASA, Costa Rica.
- Sustituir la CMC con CFG en la proporción que provea los mismos estándares de rendimiento de la harina, adhesividad, humedad y color de la harina AC reforzada.
- Cuantificar los costos de la extracción CFG a nivel de laboratorio.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 GOMAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

La industria alimentaria usa gran variedad de gomas de distintos orígenes. Las gomas según su origen se distinguen en (Pottí, 2003):

- Gomas de origen vegetal, esencialmente de naturaleza glucídica.
- Gomas de origen animal, de naturaleza proteica (caseínatos y gelatina).

De especial interés para este estudio son las gomas de origen vegetal cuyo principal uso es como espesantes, emulsificantes y gelificantes.

Actualmente DEMASA usa CMC en la fórmula de harina AC reforzada, la cual proviene de la casa comercial AMTEX de Colombia. Según AMTEX (2003), la CMC de sodio (Gelycel) es un polímero aniónico derivado de la celulosa, soluble en agua y tiene las siguientes funciones y propiedades:

- Se disuelve fácilmente en agua fría y caliente.
- Actúa como espesante, agente de suspensión y estabilizante de dispersiones.
- Retiene agua.
- Actúa como ligante y coloide protector.
- Regula las propiedades de flujo y actúa como agente de control reológico.
- Es fisiológicamente inerte.

El tipo de Gelycel que usa DEMASA es el F1-6000, aditivo que mejora la plasticidad y retención de humedad de la masa de tortilla.

### **2.2 PERICARPIO DE MAÍZ Y SU POTENCIAL**

Según la FAO (1993), el pericarpio de maíz constituye entre un 5 a 6 % del peso seco del grano. Actualmente los subproductos de la molienda húmeda del maíz son:

- Pericarpio de maíz, el cual es vendido como materia prima para alimentación animal.
- Tamo, nombre que se le da a todas las impurezas y grano quebrado que separa la limpiadora antes de entrar el maíz a proceso.

GRUMA genera como subproducto un 1.6 % de pericarpio del total de maíz que es procesado. En DEMASA Costa Rica se produce en promedio 60 t de pericarpio mensuales; pero las operaciones del grupo en México son de 20 mil t de maíz por semana, equivalentes a 320 t de pericarpio semanales.

En 1997 el Servicio ARS del USDA empezó a investigar usos alternativos de este subproducto de la molienda húmeda. La investigación dirigida por Kevin Hicks tuvo como resultado tres productos (Olson, 1998):

- Aceite de pericarpio, llamado "Amazing Oil" con el mayor contenido natural de fitosteroles, sustancia a la cual se le atribuye la propiedad de reducir el contenido de colesterol en la sangre.
- Alcohol, obtenido de los residuos de almidón presentes en el pericarpio.
- Goma de fibra de maíz (CFG) o "Zeagen", goma de alto poder emulsificante y bajo poder espesante.

Cabe recalcar que al extraer la CFG se obtienen dos subproductos: una solución de maltodextrinas y un residuo de celulosa alcalino.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN

Este estudio se realizó en la planta de DEMASA ubicada en Pavas, San José de Costa Rica, y en el Centro de Evaluación de Alimentos (CEA) de la Escuela Agrícola Panamericana, localizada en el valle del Yeguaré, Honduras.

#### 3.2 MATERIALES

Los materiales usados en este estudio incluyeron:

- Pericarpio de maíz (subproducto de DEMASA).
- Harina de maíz (de primer circuito).
- Ingredientes de fórmula de harina AC reforzada.
- Hidróxido de sodio.
- Ácido clorhídrico.
- Peróxido de hidrógeno al 30%.
- Alcohol etílico al 95%.
- Amilasa termoestable de *Bacillus licheniformis*, Termamyl LC, de Novozymes.
- Agua destilada para la extracción de CFG.

#### 3.3 EQUIPO

Los equipos usados en el procesamiento y en los análisis funcionales fueron los siguientes:

- Hornilla con agitador magnético.
- Cribas.
- Centrifuga de uso general.
- Molino Glenn – Miller.
- Penetrómetro Precision Scientific.
- Batidora Hobart.
- Aparato para medir adhesividad.
- Balanza.

### 3.4 MÉTODOS

El procesamiento del pericarpio consistió en una extracción de la goma de fibra de maíz según la patente número 006567 (Anexo 1), titulada “Método mejorado para el aislamiento de goma de fibra de maíz (CFG)” del ARS (Doner *et al.*, 1998). La metodología usada para la purificación y extracción se detalla a continuación.

#### 3.4.1 Preparación del pericarpio

El pericarpio proveniente de DEMASA se preparó de acuerdo al método estándar de la empresa, que se describe a continuación:

- Tomar una muestra de pericarpio representativa del de DEMASA (4 a 5 kg).
- Limpiar el pericarpio con criba 12/64”.
- Limpiar el pericarpio con criba 6/64”, guardar el material que no pase esta criba.
- Moler el pericarpio limpio.
- Cernir el pericarpio por malla número 20 (mesh 20).

#### 3.4.2 Purificación del pericarpio molido

Para este proceso se siguieron los pasos descritos a continuación:

- Pesar 250 g de pericarpio limpio y molido.
- Mezclar con 4 L de agua.
- Ajustar el pH a 6.5.
- Añadir 10 ml de Termamyl (enzima  $\alpha$  amilasa termoestable).
- Agitar a 85 – 90°C durante 4 horas.
- Centrifugar (5000 rpm, por 5 minutos)
- Decantar el sobrenadante.
- Lavar la fibra con agua y etanol (95%).
- Secar en horno a 60°C por 24 hrs.
- Pesar y separar por lotes de purificación.

#### 3.4.3 Extracción de la goma de fibra de maíz

El pericarpio purificado se sometió a la extracción de goma que consistió en:

- Mezclar 100 g de pericarpio molido purificado con 1 L de agua y 8 g de hidróxido de sodio (mantener esta proporción al trabajar con lotes más grandes).
- Hervir con agitación por 1 hora.

- Centrifugar (6000 rpm, por 10 minutos).
- Decantar sobrenadante y al precipitado añadir 800 ml de agua, calentar por 5 minutos con agitación y centrifugar de nuevo.
- Al sobrenadante añadir 33 ml de peróxido de hidrogeno al 30% y ajustar pH a 11.5
- Mezclar a temperatura ambiente por dos horas.
- Ajustar el pH a 4 – 4.5 con ácido clorhídrico (37%).
- Esperar 30 minutos a que la hemicelulosa A se precipite y filtrar al vacío con papel Whatman # 1 y celite.
- Mezclar con 2 volúmenes de alcohol al 95%.
- Esperar 10 minutos a que se precipite la hemicelulosa B (flóculos blancos).
- Decantar el sobrenadante y lavar con alcohol el precipitado.
- Filtrar.
- Secar en una campana de aire.
- Secar en un horno al vacío a 50°C por 1 hr.
- Moler a 80 mesh.

#### 3.4.4 Análisis químico de goma de fibra de maíz

De cada lote de extracción de CFG se tomó una muestra representativa para analizar y el resto fue mezclado para efectuar los ensayos de aplicación de la CFG, de esta mezcla se tomó también una muestra para caracterizarla.

Las muestras de CFG extraída y de la mezcla fueron analizadas según los métodos de la AOAC (1997) para la determinación de los siguientes componentes:

- Humedad (Horno de aire forzado a 105° C)
- Ceniza (Incineración a 550° C)
- Nitrógeno (Kjeldahl)

#### 3.4.5 Reemplazo de carboximetilcelulosa por goma de fibra de maíz

Con el fin de determinar la concentración adecuada de CFG en la harina que resultara en las mismas propiedades atribuidas al 0.04% de CMC, se ensayaron seis niveles de CFG (Cuadro 2) con granulometría de 80 mesh.

Cuadro 2. Contenido de goma de fibra de maíz para los tratamientos de reemplazo de carboximetilcelulosa en la harina autoconsumo reforzada.

<i>Tratamientos</i>	<i>% de CFG en harina</i>
1	0
2	1
3	2
4	2.5
5	3
6	4

### **3.4.6 Diseño experimental y análisis estadístico**

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), evaluando seis tratamientos con distintos niveles de CFG en 3 repeticiones, con el cual se compararon los promedios de las variables medidas, para los seis tratamientos, respecto a los estándares de calidad de la harina con CMC (Cuadro 3).

Se hizo análisis univariado, análisis de varianza de los tratamientos evaluados y separación de medias para establecer diferencias. Se uso el programa sistemas de análisis estadístico (SAS®).

#### **Las variables medidas fueron:**

- Rendimiento de la harina: obtenida para determinar la cantidad de masa con óptima consistencia que se obtiene de 1 kg de harina.
- Color seco y color húmedo: es un atributo que se mide en la harina seca y en la masa, se mide el porcentaje de reflectancia, lo cual es muy importante para la aceptación del producto. Una harina con baja reflectancia (oscura) no es aceptada por el consumidor.
- Adhesividad: obtenida para determinar la adherencia de las partículas de la masa de harina entre sí; una masa muy adhesiva no se podrá manipular y una masa con baja adhesividad se romperá al amasarla.
- Olor/sabor: esto es analizado por el departamento de calidad, al efectuar la prueba de rendimiento se prueba la masa y se determina si tiene sabor y olor característico o extraño.

Cuadro 3. Estándares de calidad de la harina de autoconsumo reforzada.

<b>Variable</b>		<b>Rango</b>
Rendimiento (g)		2300 - 2340
Adhesividad (u)		0.5 – 0.85
Humedad (%)		9 - 11.5
pH		5.7 – 6.1
Granulometría %	25 mesh	0
	35 mesh	0.0 – 2.0
	45 mesh	2.0 – 12.0
	60 mesh	11.5 – 26.0
	<100 mesh	70.0 – 85.0
Color	Seco	74 % reflectancia mín.
	Húmedo	33 % reflectancia mín.
Olor / sabor		característico

Fuente: DEMASA<sup>4</sup>

### 3.4.7 Análisis de costos de la elaboración de la goma de fibra de maíz a nivel de laboratorio y comparación con el uso de carboximetilcelulosa comercial

Se analizaron los costos incurridos a nivel de laboratorio para la purificación y extracción de la CFG, y tomando en cuenta únicamente los costos de los reactivos, material de laboratorio usados y los costos de la electricidad usada durante los procesos de purificación y extracción de la goma.

<sup>4</sup> Sanabria, M. 2003. Estándares de calidad de harinas. DEMASA- Pavas, San José de Costa Rica. Comunicación personal.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DEL PERICARPIO

Se obtuvieron los porcentajes de humedad, proteína cruda, fibra cruda, fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND) y lignina del pericarpio de maíz. La fracción de hemicelulosa es la más importante para este estudio y los análisis hechos en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica (Cuadro 4) mostraron un 58.8% de hemicelulosa presente en el pericarpio de maíz evaluado. Lo cual demostró que la fracción a aislar era mayoritaria en el pericarpio de maíz.

Cuadro 4. Composición química del pericarpio de maíz de DEMASA y FAO (1993).

Componente	%	
	DEMASA	Según FAO (1993)
Humedad	8.20	----
Proteína cruda	3.90	3.70
Fibra cruda	15.20	----
Fibra ácido detergente (FAD)	18.30	23.10
Fibra neutro detergente (FND)	77.10	90.10
Hemicelulosa	58.80	67.00
Celulosa	18.00	23.00
Lignina	0.30	0.10

### 4.2 EXTRACCIÓN DE LA GOMA DE FIBRA DE MAÍZ

El proceso de la extracción de CFG (Anexo 2) no se pudo realizar tal como establece la patente, debido a limitantes del equipo de laboratorio. La filtración de hemicelulosa A demostró ser un proceso demasiado lento, lo cual afecta los costos incurridos en esta etapa del procedimiento.

Se observa en el Cuadro 5 el balance de materia efectuado durante la extracción de CFG. Se logró cuantificar un 8% de hemicelulosa A en el último proceso de aislamiento.

Cuadro 5. Balance de masa para la extracción de goma de fibra de maíz.

	Fracción	%
Pericarpio 100%	Residuo de Celulosa	45
	CFG	21
	Hemicelulosa A	8

En el balance de masa efectuado durante la extracción de CFG se logró cuantificar hasta el 74% del peso inicial, atribuyéndose el restante 26% a pérdida de los solubles de pericarpio.

Durante el proceso de extracción se observó que el rendimiento de CFG puede disminuir hasta la mitad del rendimiento teórico esperado de 40% (Doner *et al.*, 1998) cuando la solución de hemicelulosa se mantiene por más tiempo del especificado a pH 4.5. El rendimiento de estos lotes fue de hasta 5%; tales lotes no fueron usados para el ensayo con la formulación de la harina.

El proceso de extracción de CFG tuvo un rendimiento promedio de 20.81% (en base seca) con una DE de 4.63% y un CV de 22.25%, lo cual sugiere baja variabilidad del proceso y de la calidad de la goma extraída entre lotes (n = 5).

Los resultados de los análisis realizados al residuo de celulosa reflejan el elevado contenido de hemicelulosa que no se logró aislar del pericarpio; asimismo, el residuo celulósico tiene un alto contenido de celulosa que podría ser usado para la producción de derivados celulósicos (AMTEX, 2003; CYTED, 2002). En el Cuadro 7 se observa la diferencia en composición del pericarpio que es usado como materia prima y el subproducto de celulosa. Los análisis de FND y FAD indicaron que quedaba un residuo de hemicelulosa en el extracto alcalino de celulosa hasta de un 30%. Esto se atribuyó al tipo de centrífuga que se usó, ya que ésta no alcanzaba las velocidades indicadas en el método. El residuo celulósico además presenta una digestibilidad *in vitro* de materia orgánica de 75.87%, lo que significa que es un alimento fibroso de elevado aprovechamiento alimentación animal.

Cuadro 6. Composición de pericarpio y residuo de celulosa.

Componente	%	
	Pericarpio	Residuo de celulosa
Humedad	8.20	10.42
Proteína	3.90	1.61
Cenizas	----	13.87
Fibra neutro detergente (FND)	77.10	62.55
Fibra ácido detergente (FAD)	18.30	35.01
Hemicelulosa	58.80	27.54
Celulosa	18.00	33.32
Lignina	0.30	1.69
Digestibilidad <i>in vitro</i> de materia orgánica	----	75.87

#### 4.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA GOMA DE FIBRA DE MAÍZ

Se realizaron análisis de humedad, ceniza y nitrógeno de la CFG de cada lote, para determinar la homogeneidad de la goma extraída. La mezcla tiene un contenido menor de humedad debido a que ésta junto con los lotes 3 y 4 fueron secados al vacío por una hora. Al comparar la mezcla de CFG usada en los tratamientos con la goma extraída por Doner (1998), se puede observar mayor cantidad de cenizas en la mezcla pero menor cantidad de nitrógeno en la goma extraída en este estudio.

Las desviaciones estándar (DE) de humedad (1.06) y ceniza (0.38) y los coeficientes de variación (CV) (10.88 y 13.76% respectivamente) sugieren que la CFG extraída de distintos lotes es similar entre sí. Por otro lado, a pesar del elevado CV del nitrógeno (42.85%), el contenido absoluto de nitrógeno es menor de 0.1%, lo cual sugiere que la funcionalidad de la goma no se ve afectada por este componente.

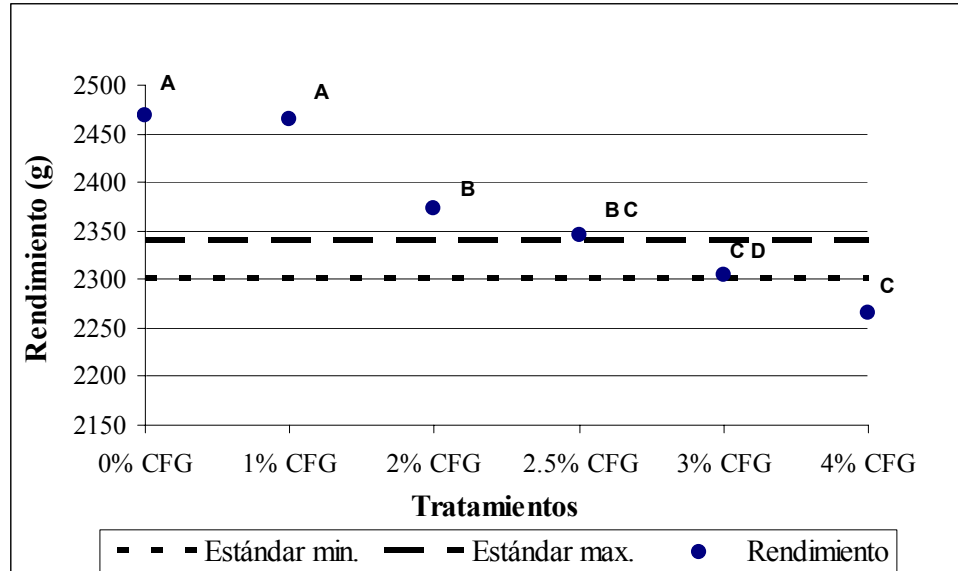
Cuadro 7. Análisis químicos de los lotes de goma de fibra de maíz extraída en el Centro de Evaluación de Alimentos y la goma extraída por Doner (1998).

Muestra	Humedad (%)	Ceniza (%)	Nitrógeno (%)
Mezcla	8.60	2.62	0.05
Lote 1	10.18	2.60	0.06
Lote 2	10.74	3.21	0.07
Lote 3	9.13	2.34	0.04
Lote 4	8.19	3.10	0.13
Lote 5	10.48	2.55	0.06
<b>Promedio</b>	<b>9.74±1.06</b>	<b>2.76±0.38</b>	<b>0.07±0.03</b>
<b>CV (%)</b>	<b>10.88</b>	<b>13.76</b>	<b>42.85</b>
<b>Error estándar</b>	<b>0.47</b>	<b>0.47</b>	<b>0.47</b>

#### 4.4 REEMPLAZO DE CARBOXIMETILCELULOSA CON GOMA DE FIBRA DE MAÍZ

Los estándares de calidad más importantes en harinas son: rendimiento, humedad y color seco y húmedo (aunque una diferencia de 10 unidades o menos en color no es perceptible por el consumidor).

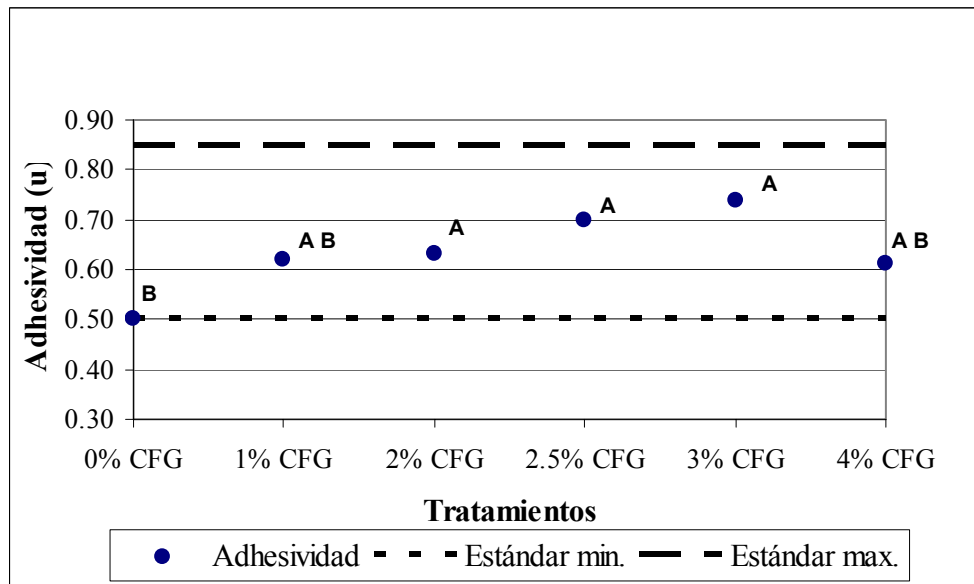
La principal función de la CMC es estandarizar el rendimiento de la harina, ésta fue la prioridad al reemplazarla con CFG. Primero, se probaron los tratamientos con 0, 1, 2, 3 y 4% de CFG y al observar que los tratamientos con 2 y 3% estaban cerca del estándar permitido de rendimiento de la harina, se decidió evaluar otro tratamiento con 2.5% de CFG en la fórmula. Los resultados de las variables medidas se pueden observar en el Anexo 3 y los análisis de varianza y separación de medias en el Anexo 4. La concentración de CFG en la fórmula tiene una relación inversa con el rendimiento (igual que la CMC) y en la Figura 1 se puede observar cómo la concentración óptima de CFG está entre 2.5 y 3% de la fórmula de harina AC reforzada. En las pruebas de rendimiento los tratamientos con 2.5 y 3% de CFG fueron estadísticamente iguales ( $P < 0.05$ ).



Medias con letras diferentes señalan diferencia entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Figura 1. Medias de rendimiento de harina según tratamiento.

En la Figura 2 se puede observar cómo con una concentración entre 2.5 y 3% de CFG el valor de adhesividad de la masa cae en el punto central del rango permitido por las normas de calidad. El único tratamiento que fue distinto a los demás tenía 0% de CFG en la harina ( $P < 0.05$ ), ésta variable tuvo un CV de 13.44% y su ajuste al modelo lineal fue de 46.75% (Anexo 4).



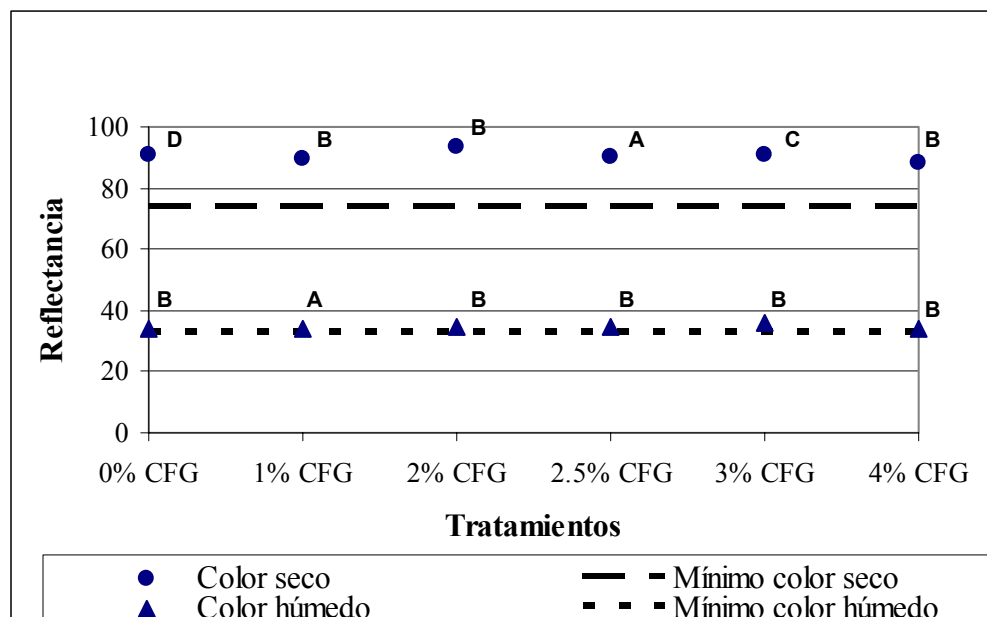
Medias con letras diferentes señalan diferencia entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Figura 2. Medias de adhesividad de la masa según tratamiento.

El color húmedo de la masa y el color seco de la harina son variables que sólo tienen un mínimo de reflectancia permitido. En la Figura 3 se puede observar cómo todas las concentraciones de CFG en la formulación de harina AC reforzada, obtienen valores arriba del mínimo permitido.

El color seco de la harina tuvo un ajuste al modelo lineal de 93.84% y un CV de 0.53% (Anexo 4) lo que demuestra que el experimento fue bien conducido, además los tratamientos con 0, 2.5 y 3% de CFG fueron diferentes entre sí y distintos a los demás tratamientos ( $P < 0.05$ ).

El color húmedo de la masa mostró un ajuste al modelo lineal de 56.39% y un CV de 1.87% (Anexo 4), el único tratamiento distinto a los demás fue el que contenía 1% de CFG en la fórmula ( $P < 0.05$ ).



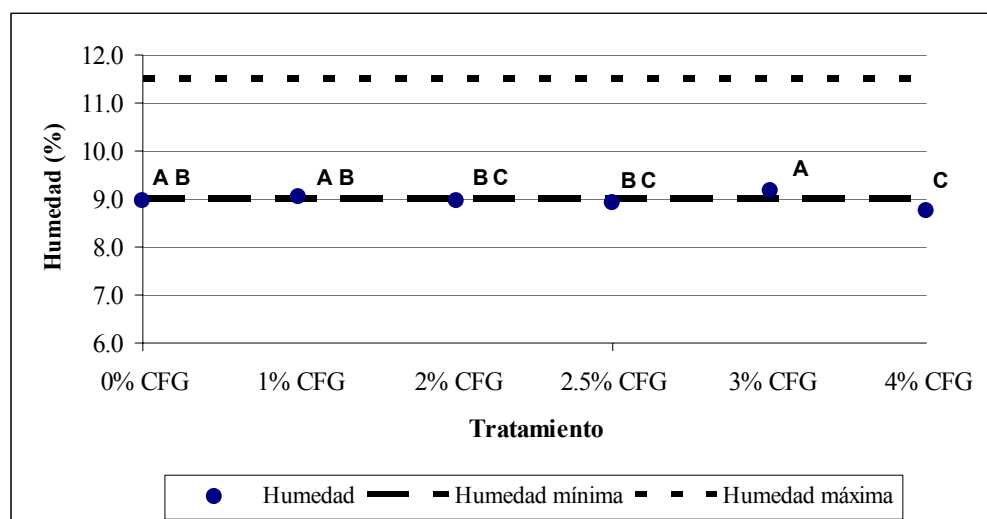
Medias con letras diferentes señalan diferencia entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Figura 3. Medias de color seco y húmedo de la harina según tratamiento.

Aunque la humedad de la harina tiene un rango definido por las normas de calidad DEMASA, el producto sólo es rechazado si tiene una humedad mayor al máximo. En la Figura 4 se observa cómo las distintas concentraciones de CFG no afectan de manera significativa la humedad del producto, esto debido a su baja humedad y a que es un aditivo agregado en concentraciones bajas.

El ajuste al modelo lineal observado (64.61%) muestra que el diseño usado no es el mejor para medir esta variable, aunque el CV de 1.3% (Anexo 4) muestra que el experimento fue bien conducido. Los tratamientos con 3 y 4% fueron distintos entre sí ( $P < 0.05$ ). Todos los

valores observados en los distintos tratamientos son permitidos para la posterior comercialización de la harina AC reforzada.



Medias con letras diferentes señalan diferencia entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Figura 4. Medias de humedad de la harina según tratamiento.

El olor/sabor es un parámetro de control de calidad de la harina AC reforzada. Al usar 4% de CFG en la fórmula, se observó un cambio del típico olor/sabor de la masa; mientras que con 2 y 3% no se detectó ningún cambio en estos atributos.

En el Anexo 3 se pueden observar los resultados de todos los análisis de control de calidad realizados a la harina con diferentes concentraciones de CFG. En el Anexo 4 se pueden observar todas las comparaciones realizadas entre tratamientos con el programa SAS®.

#### 4.5 ANÁLISIS DE COSTOS INCURRIDOS PARA LA EXTRACCIÓN DE GOMA DE FIBRA DE MAÍZ A NIVEL DE LABORATORIO

Los costos de la goma han sido calculados con el rendimiento promedio de la extracción (21%), tomando en cuenta la cantidad total de reactivos usados en la extracción y el promedio del tiempo de uso del equipo. En el procesamiento de 4.5 kg de pericarpio de maíz se gastaron US \$ 221 en reactivos de laboratorio, obteniendo un rendimiento de 21%. Esto significa que el costo en reactivos es de US \$ 235 por kg de CFG extraído. En el Cuadro 9 se muestran los costos incurridos en un lote de 1 kg de pericarpio para obtener 210 g de CFG.

Cuadro 8. Costos incurridos para el procesamiento a nivel de laboratorio de un lote de 1 kg de pericarpio con rendimiento de 21% de goma de fibra de maíz.

Equipo/ reactivos	Cantidad	Unidad	Precio unitario (US \$)	Tiempo usado (hr)	Costo (US \$)	Aporte a costo total (%)
<b>Centrífuga</b>	0.81	kW	0.07	0.7	\$0.04	0.06
<b>Bomba de filtrado</b>	0.45			3	\$0.09	0.12
<b>Hornilla</b>	0.12			5	\$0.04	0.06
<b>Molino Glenn - Miller</b>	0.99			3	\$0.21	0.29
<b>Costos de energía eléctrica</b>					<b>\$0.38</b>	<b>0.52</b>
<b>Termamyl</b>	66.67	ml	0.03	no aplica	\$1.67	2.29
<b>Acido Clorhídrico</b>	64.44	ml	0.01		\$0.78	1.07
<b>Peróxido de Hidrógeno</b>	88.89	ml	0.18		\$16.00	22.03
<b>Hidróxido de Sodio</b>	71.11	g	0.05		\$3.75	5.17
<b>Etanol 95%</b>	14.44	L	1.80		\$26.00	35.80
<b>Papel filtro</b>	0.22	cajas	20.24		\$4.50	6.19
<b>Fibra de vidrio</b>	0.22	bolsa	88.00		\$19.56	26.93
<b>Costo de reactivos</b>					<b>\$72.25</b>	<b>99.48</b>
<b>Costo de 210 g de CFG</b>					<b>\$72.63</b>	
<b>Costo por kg de CFG</b>					<b>\$345.86</b>	

La mayor parte de los costos de producción de CFG se atribuyen a los gastos en reactivos; éstos se podrían reducir a escala industrial al usar insumos que no sean grado reactivo, como el peróxido de hidrógeno que se usó o la fibra de vidrio y el papel filtro (Se recomienda no filtrar sino usar una centrífuga a 10,000 rpm para agilizar el proceso). Asimismo, el alcohol usado en la precipitación y la enzima podrían reusarse reduciendo los costos.

La CMC es un producto industrial que cuesta US \$ 3.3 por kg; mientras que el costo de la CFG extraída de US \$ 345 fue cargado únicamente a la goma, sin tomar en cuenta las otras fracciones obtenidas del proceso. Si el rendimiento fuera del 40% como establecieron Hicks y Doner (1997) los costos de la CFG a nivel de laboratorio serían de US \$ 181.58 por kg.

## 5. CONCLUSIONES

- Se extrajo la goma con un rendimiento de 21% de goma de fibra de maíz sobre la base seca del pericarpio, lo cual equivale a 50% del rendimiento esperado.
- La goma extraída de los distintos lotes presentó baja variación de humedad y cenizas en su composición, pero no así el nitrógeno.
- La goma de fibra de maíz entre 2.5 y 3% puede reemplazar a la carboximetilcelulosa, sin cambiar los estándares de calidad de la harina autoconsumo reforzada.
- El costo de la goma de fibra de maíz extraída a nivel de laboratorio fue de US \$ 345 por kg, que contrasta con los US \$ 3.3 por kg de carboximetilcelulosa comercial.
- La extracción de goma de fibra de maíz produce un 45% de residuo de celulosa seca, el cual contiene 33% de celulosa alta digestibilidad para rumiantes (75.87%) y 28% de hemicelulosa.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Realizar la extracción con una centrifuga que alcance 10,000 rpm en vez de filtrar al final del proceso.
- Separar la CFG por centrifugación a 10,000 rpm en lugar de filtración, dada la lentitud y el bajo rendimiento producido.
- Efectuar un estudio de factibilidad de la extracción y uso de goma de fibra de maíz a nivel industrial.
- Evaluar la industrialización del residuo de celulosa en la obtención de derivados celulósicos.
- Evaluar la extracción de otras fracciones del pericarpio, como el aceite y los residuos de almidón.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Association of Analytical Communities (AOAC), 1997. Official Methods of Analysis of AOAC International. Editado por Patricia Cunnif. 16<sup>a</sup> edición revisada. Editorial AOAC Internacional. Gaithersburg, Maryland, USA.

AMTEX. 2003. Nuestros Productos. Visitada en Mayo de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.amtex.com.co/nuestrosproductos.htm>

Chaplin, M. 2002. Carboxymethylcellulose (CMC). Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.sbu.ac.uk/water/hycmc.html>

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). 2002. Producción de derivados de la celulosa a partir de desechos del agro. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.redhucyt.oas.org/mercocyt/mercocyt/proyectosCB/piv8.htm>

Doner, L. 1998. Novel Process for Isolation of Corn Fiber Gum. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/000008/25/0000082515.html>

Doner, L.W.; Chau, H.K.; Fishman, M.L.; Hicks K.B. 1998. An Improved Process for Isolation of Corn Fiber Gum (# 6567). Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.arserrc.gov/page/pubsearch.htm>

Food and Agriculture Organization (FAO). 1993. El maíz en la nutrición humana. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S00.htm#Contents>

Hicks, K.B.; Doner, L.W. 1997. Isolation of Hemicellulose from Corn Fiber by Alkaline Hydrogen Peroxide Extraction ( # 6392) . Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.arserrc.gov/page/pubsearch.htm>

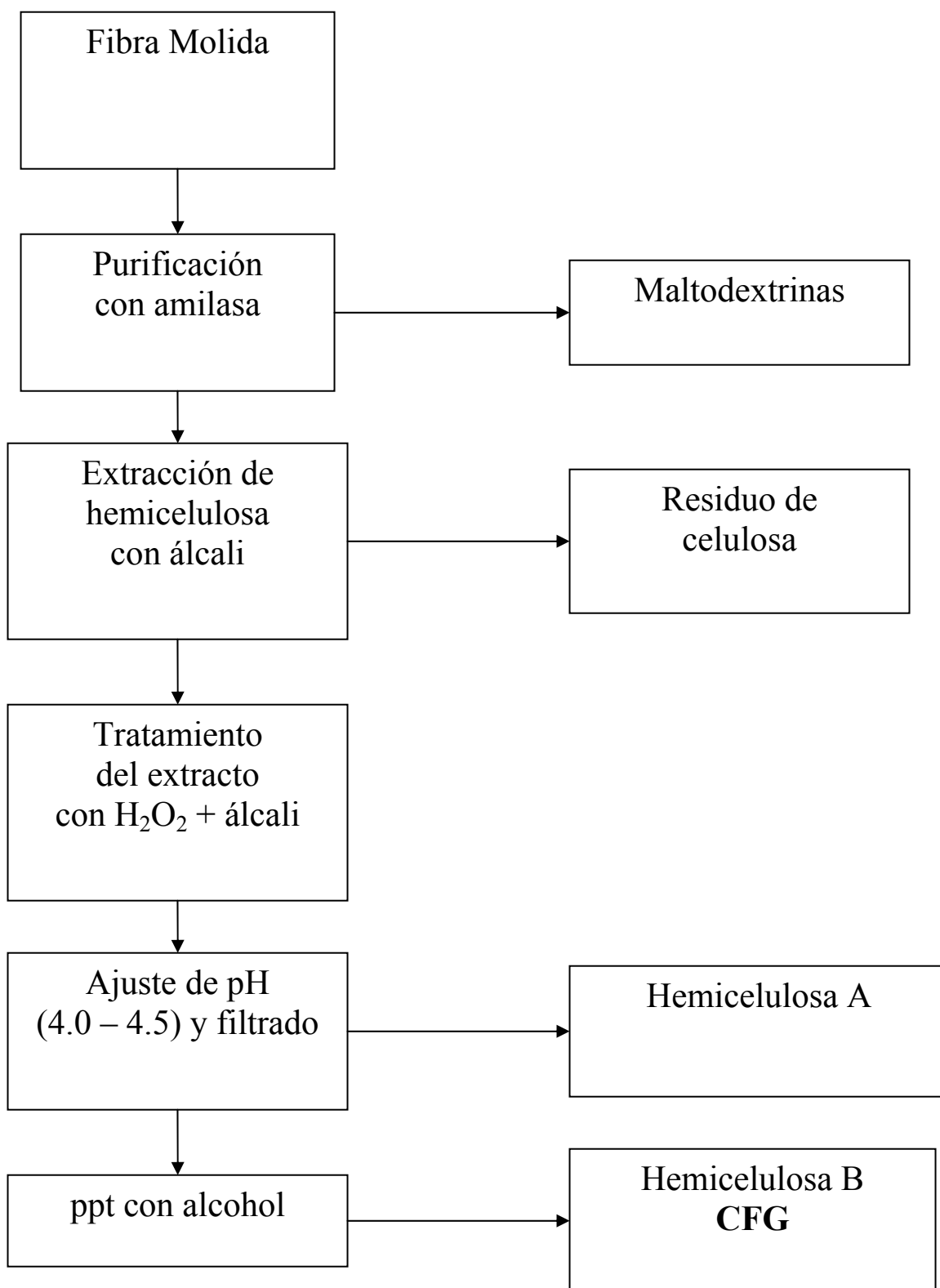
Olson, J. 1998. Hull gives up oil and gum. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.auri.org/news/ainjul98/elsewher.htm>

Pottí, D. 2003. Efectos espesantes, gelificantes y estabilizantes con hidrocoloides. Visitada en Mayo de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.mundohelado.com/materiasprimas/estabilizantes-intro.htm>

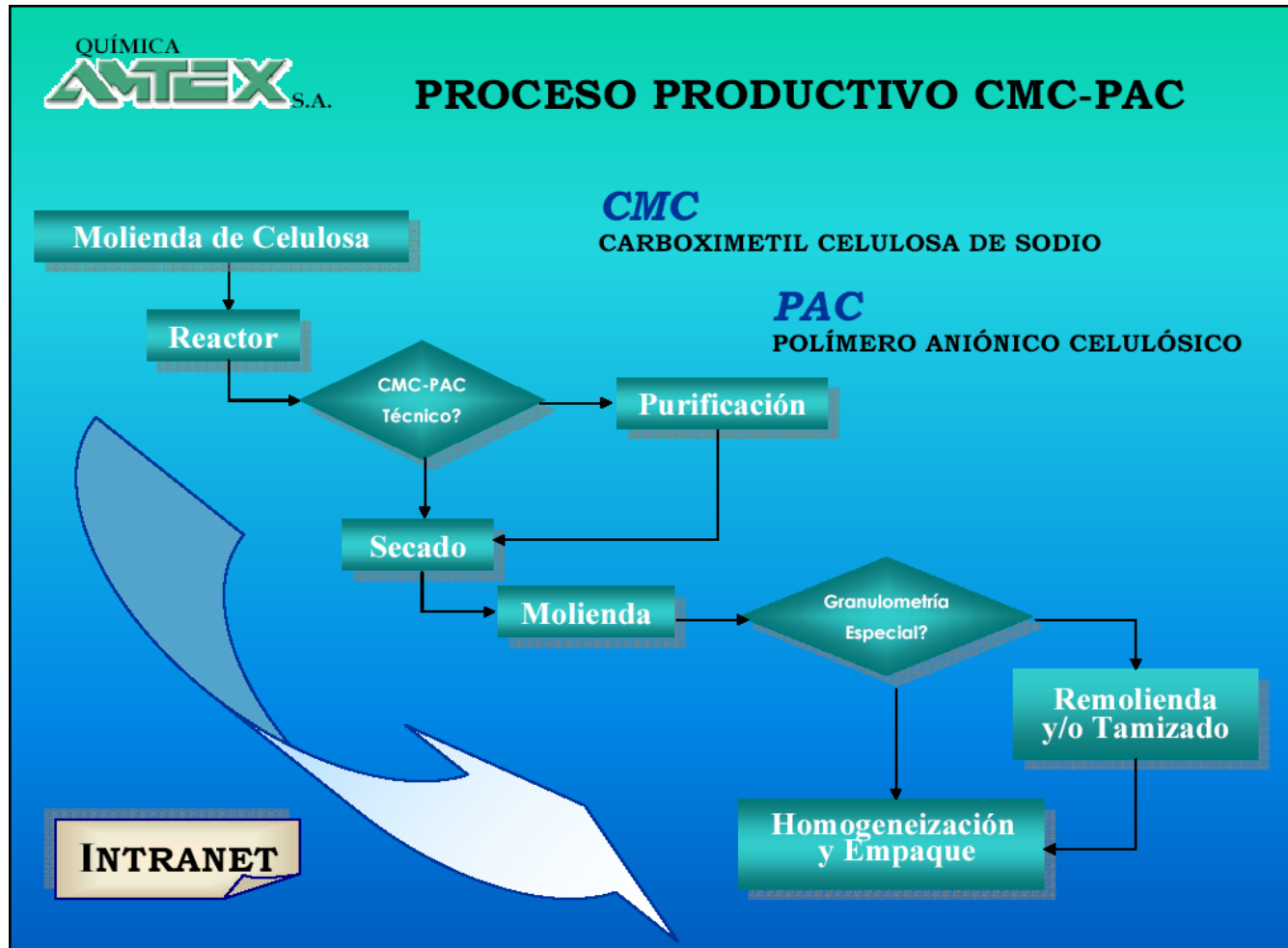
Roth, G. 2001. New Corn Uses Sprout from Local USDA Lab. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://cornandsoybeans.psu.edu/articles/CA30.html>

Stanley, D. 1997. Gold in Them Thar Hulls. Visitada en Febrero de 2003. En línea. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/is/pr/1997/971218.htm>

## **8. ANEXOS**

**Anexo 1. Diagrama de flujo de producción de goma de fibra de maíz.**

## Anexo 2. Proceso productivo de carboximetilcelulosa.



Fuente: AMTEX, 2003.

**Anexo 3. Resultados de las variables medidas en los tratamientos usados en la harina.**

Tratamiento	Medidas de dispersión	Rendimiento	Humedad	Adhesividad	COLOR	
					Seco	Humedo
0% CFG	Media	2467.50	8.97	0.50	88.50	34.25
	DE	44.19	0.15	0.11	0.58	0.50
	CV	1.79	1.72	21.60	0.65	1.46
1% CFG	Media	2464.40	9.03	0.62	91.00	35.67
	DE	40.62	0.12	0.13	0.00	0.58
	CV	1.65	1.34	20.24	0.00	1.62
2% CFG	Media	2372.60	8.94	0.63	90.33	34.33
	DE	60.78	0.06	0.07	0.58	0.58
	CV	2.56	0.71	10.65	0.64	1.68
2.5% CFG	Media	2344.60	8.93	0.70	93.33	34.33
	DE	33.92	0.06	0.10	0.58	0.58
	CV	1.45	0.71	14.29	0.62	1.68
3% CFG	Media	2304.50	9.16	0.74	89.33	33.67
	DE	22.75	0.15	0.03	0.58	0.58
	CV	0.99	1.66	3.39	0.65	1.71
4% CFG	Media	2266.40	8.73	0.61	91.00	34.00
	DE	29.95	0.11	0.02	0.00	1.00
	CV	1.32	1.26	3.67	0.00	2.94

DE = Desviación estándar      CV = Coeficiente de variación

CFG = Goma de fibra de maíz

#### Anexo 4. Análisis de varianza y separación de medias de las variables dependientes evaluadas en el estudio

##### RENDIMIENTO

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Trat	6	0 1 2 2.5 3 4

Number of observations 28

The GLM Procedure

Dependent Variable: Rend

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	156630.6286	31326.1257	18.64	<.0001
Error	22	36980.8000	1680.9455		
Corrected Total	27	193611.4286			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Rend Mean
0.808995	1.730764	40.99933	2368.857

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	5	156630.6286	31326.1257	18.64	<.0001

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Rend

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	22
Error Mean Square	1680.945
Harmonic Mean of Cell Sizes	4.615385

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	55.97	58.77	60.56	61.82	62.75

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Trat
A	2467.50	4	0
A	2464.40	5	1
B	2372.60	5	2
B	2344.60	5	2.5
C	2304.50	4	3
C	2266.40	5	4

**ADHESIVIDAD**

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Trat	6	0 1 2 2.5 3 4

Number of observations 28

The GLM Procedure

Dependent variable: Adh

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	0.14039286	0.02807857	3.86	0.0115
Error	22	0.15987500	0.00726705		
Corrected Total	27	0.30026786			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Adh Mean
0.467559	13.44741	0.085247	0.633929

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	5	0.14039286	0.02807857	3.86	0.0115

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Adh

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	22
Error Mean Square	0.007267
Harmonic Mean of Cell Sizes	4.615385

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	.1164	.1222	.1259	.1285	.1305

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Trat
A	0.73750	4	3
A	0.70000	5	2.5
A	0.63000	5	2
A	0.62000	5	1
B	0.61000	5	4
B	0.50000	4	0

**COLOR SECO**

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
trat	6	0 1 2 2.5 3 4

Number of observations 19

The GLM Procedure

Dependent variable: colors

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	45.73684211	9.14736842	39.64	<.0001
Error	13	3.00000000	0.23076923		
Corrected Total	18	48.73684211			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	colors Mean
0.938445	0.530966	0.480384	90.47368

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trat	5	45.73684211	9.14736842	39.64	<.0001

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for colors

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13
Error Mean Square	0.230769
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.130435

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	.8295	.8688	.8928	.9089	.9202

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trat
A	93.3333	3	2.5
B	91.0000	3	1
B	91.0000	3	4
B	90.3333	3	2
C	89.3333	3	3
D	88.5000	4	0

**COLOR HÚMEDO**

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
trat	6	0 1 2 2.5 3 4

Number of observations 19

The GLM Procedure

Dependent variable: colorh

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	7.00438596	1.40087719	3.36	0.0362
Error	13	5.41666667	0.41666667		
Corrected Total	18	12.42105263			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	colorh Mean
0.563912	1.878170	0.645497	34.36842

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trat	5	7.00438596	1.40087719	3.36	0.0362

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for colorh

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13
Error Mean Square	0.416667
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.130435

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	1.115	1.167	1.200	1.221	1.237

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trat
A	35.6667	3	1
B	34.3333	3	2
B	34.3333	3	2.5
B	34.2500	4	0
B	34.0000	3	4
B	33.6667	3	3

### Humedad

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
trat	6	0 1 2 2.5 3 4

Number of observations 18

The GLM Procedure

Dependent variable: hum

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	0.29813333	0.05962667	4.38	0.0168
Error	12	0.16326667	0.01360556		
Corrected Total	17	0.46140000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	hum Mean
0.646149	1.301818	0.116643	8.960000

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trat	5	0.29813333	0.05962667	4.38	0.0168

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for hum

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	Error Degrees of Freedom	Error Mean Square
0.05	12	0.013606

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	.2075	.2172	.2231	.2270	.2297

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trat
A	9.16333	3	3
A	9.03000	3	1
B	8.97000	3	0
B	8.93667	3	2
B	8.92667	3	2.5
B	8.73333	3	4