



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**Facultad de Estudios Superiores
"CUAUTITLAN"**

**MEDULA DE BAGAZO DE CAÑA, COMO FUENTE DE
FIBRA DIETETICA EN LA TORTILLA DE MAIZ**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERA EN ALIMENTOS

Presenta

LAURA EUGENIA TELLEZ PIMBTEL

Director: **M.C. DORA LUZ VILLAGOMEZ ZAVALA**



V N A M

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex.



OCT. 27 1989

1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

Lista de Cuadros	iii
Lista de Figuras	iv
Resumen	vii

CAPITULO UNO

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	4
GENERALIDADES	6
I. Fibra dietética	6
II. Tortilla de maíz	15
III. Médula de bagazo de caña	18

CAPITULO DOS

MATERIALES Y METODOS	23
I. Determinación de la calidad de la materia prima	25
II. Determinación de los niveles de inclusión de médula de bagazo	27
III. Estudio de estandarización de las condiciones de nixtamalización	27
IV. Selección de la operación para la adición de médula	29
V. Elaboración de las tortillas adicionadas de médula	29
VI. Evaluación de las propiedades de la masa	32
VII. Análisis de fibra en las tortillas	32

VIII. Evaluación del comportamiento gastrointestinal de ratas	36
IX. Evaluación de las propiedades organolépticas de la tortilla	38

CAPITULO TRES

ANALISIS DE RESULTADOS	39
I. Determinación de la calidad de la materia prima..	39
II. Estudio de estandarización de las condiciones de nixtamalización	39
III. Selección de la operación para la adición de médula	50
IV. Evaluación de las propiedades de la masa	50
V. Analisis de fibra en las tortillas	51
VI. Evaluación del comportamiento gastrointestinal de ratas	54
VII. Evaluación de las propiedades organolépticas de la tortilla	62

CAPITULO CUATRO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFIA	72
APENDICE	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1	Comparación de los valores de fibra cruda y fibra dietética en algunos alimentos	7
Cuadro 1.2	Propiedades principales y efectos de los componentes de la fibra dietética	10
Cuadro 1.3	Contenido de fibra cruda en algunos alimentos	14
Cuadro 1.4	Constituyentes del bagazo de caña de azúcar.	20
Cuadro 2.1	Niveles de inclusión de médula de bagazo ...	28
Cuadro 2.2	Características de los animales y del biotério	37
Cuadro 3.1	Resultados del análisis bromatológico	41
Cuadro 3.2	Resultados del análisis de humedad del nixtamal	42
Cuadro 3.3	Resultados del análisis de rendimiento de la nixtamalización	43
Cuadro 3.4	Análisis de Varianza de humedad del nixtamal	46
Cuadro 3.5	Análisis de Varianza del rendimiento de la nixtamalización	47
Cuadro 3.6	Análisis de las fracciones de fibra en las tortillas	52
Cuadro 3.7	Resultados del comportamiento gastrointestinal de ratas: Peso seco de materia fecal ...	55
Cuadro 3.8	Resultados del comportamiento gastrointestinal de ratas: Tiempo de tránsito gastrointestinal	56
Cuadro 3.9	Análisis de Varianza del peso seco de materia fecal	60
Cuadro 3.10	Análisis de Varianza del tiempo gastrointestinal de ratas	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Proceso de Elaboración de Tortillas	16
Figura 1.2	Disponibilidad de esquilmos agrícolas	21
Figura 2.1	Diagrama de la Metodología	24
Figura 2.2	Diagrama del Estudio de Nixtamalización ...	30
Figura 3.1	Clasificación del grano de maíz	40
Figura 3.2	Influencia del tiempo de cocción sobre la humedad del nixtamal	44
Figura 3.3	Influencia del tiempo de cocción sobre el rendimiento de la nixtamalización	45
Figura 3.4	Proceso de Elaboración de Tortillas adicio- nadas con médula de bagazo	49
Figura 3.5	Análisis de fibra en las tortillas	53
Figura 3.6	Influencia de la inclusión de médula de ba- gazo en el peso seco de la materia fecal ..	57
Figura 3.7	Influencia de la inclusión de médula de ba- gazo en el tiempo de tránsito gastrointes- tinal	58
Figura 3.8	Peso seco de materia fecal arrastrado por la médula de bagazo	59
Figura 3.9	Análisis de fibra en la materia fecal de ratas	63
Figura 3.10	Resultados de las pruebas panel: Nivel de inclusión A	65

Figura 3.11	Resultados de las pruebas panel: Nivel de inclusión B	66
Figura 3.12	Resultados de las pruebas panel: Nivel de inclusión C	67
Figura 3.13	Resultados de las pruebas panel: Nivel de inclusión D	68
Figura 3.14	Resultados de las pruebas panel: Nivel de inclusión E	69

RESUMEN

En la dieta mexicana, la tortilla de maíz y el frijol son las principales fuentes de fibra dietética; sin embargo, se ha reportado que a pesar del elevado consumo per cápita de tortilla, sólo se satisface el 62 % de los requerimientos de ésta (44).

En el presente trabajo, se planteó la utilización del desecho agrícola médula de bagazo de caña, como fuente de fibra dietética; ya que su composición química revela un 97 % de la misma (base seca), para alcanzar los requerimientos establecidos en 40 gramos/día y traer con ello los beneficios de un consumo adecuado.

Debido a que la tortilla de maíz es el alimento de mayor aceptación y disponibilidad en el mercado nacional, se eligió como el vehículo de transporte de fibra dietética en la dieta promedio del mexicano

Los niveles de inclusión de médula de bagazo de caña fueron 0.963, 1.924, 2.880 y 3.849 % en base seca.

Se encontró que la inclusión de médula de bagazo aumentó proporcionalmente el contenido de fibra dietética en las tortilla y no alteró significativamente las propiedades organolépticas de ésta. Sólo existió un cambio del color característico. También se demostró que la inclusión de médula en la alimentación de los animales de laboratorio tiene una influencia directa sobre su comportamiento gastrointestinal; los resultados se trataron por medio de un Diseño Factorial Modelo de efectos fijos, para la confirmación estadística de las pruebas realizadas.

Experimentalmente, se demostró que la médula de bagazo es una fuente de fibra dietética; ya que se comportó como tal en el tracto gastrointestinal de los animales de laboratorio.

CAPITULO UNO

INTRODUCCION

La historia de todos los pueblos ha marcado a la alimentación como una de las preocupaciones básicas del hombre; así como uno de los factores determinantes en la formación y progreso de las sociedades.

La alimentación ha sido un problema de todos los tiempos y de todas las civilizaciones.

El ser humano necesita de energía para todas las actividades que realiza en un día; sin ella el corazón dejaría de latir, los procesos vitales del organismo se detendrían y las células morirían. Las plantas, como organismos autótrofos, pueden obtener del sol y el suelo la energía que necesitan, pero los seres humanos como organismos heterótrofos necesitan sustancias más elaboradas para obtener su energía y éstas son precisamente los alimentos (49, 50).

El alimento es necesario para el hombre, ya que es el único vehículo de sustancias nutritivas; provee los elementos necesarios para el crecimiento y reparación de los tejidos, la energía necesaria para el trabajo diario y los reguladores de las funciones biológicas. Dichos elementos se llaman "principios nutritivos" (49).

Existen seis grupos fundamentales de estos principios nutritivos: carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, minerales, fibra dietética y agua. Por fortuna, todos estos principios nutritivos se encuentran en una variedad incalculable de alimentos.

Las proteínas son los ladrillos con los que se construyen los tejidos; son indispensables para el crecimiento y la generación de nuevas células y desempeñan una función importante en los sistemas hormonales y enzimáticos. Los carbohidratos y las grasas son ante todo fuentes de energía, las grasas además de proporcionar energía, realizan funciones corporales vitales, como el transporte de vitaminas. Los reguladores corporales mantienen las funciones fisiológicas dentro de los límites normales, tales reguladores son los minerales, las vitaminas, el agua y la fibra dietética (49, 51).

Sin embargo, la alimentación es algo mucho más complejo que el simple aporte de alimentos; del mismo modo que el organismo humano es algo más que la suma de sus órganos y de los procesos metabólicos que en él ocurren, también su alimentación tiene que ser algo más que una suma científicamente elaborada de proteínas, grasas, carbohidratos, minerales, vitaminas, fibra dietética y agua.

El hombre no necesita éstos principios nutritivos aislados, es decir, no puede sobrevivir ingiriendo exclusivamente proteínas, por ejemplo, sino el conjunto de principios nutritivos proporcionados por compuestos de origen animal, vegetal ó mineral que mientras más inalterables conserven sus propiedades nutritivas mayor será el valor del alimento (50, 51).

Para evitar alteraciones en la salud, es necesario contar con una dieta equilibrada o balanceada. Esto es simplemente, ingerir una variedad de alimentos que aporten todos los elementos nutritivos mencionados, en cantidades suficientes y en relación correcta unos con otros, para que el individuo pueda conservar su peso corporal con el ritmo de su crecimiento a un nivel compatible con su bienestar (49, 50).

Los requerimientos mínimos se han establecido en: 10 % proteínas, de 45 a 55 % de carbohidratos, 35 % grasas, cantidades trazas de vitaminas y minerales y un suministro adecuado de agua de 3.5 litros diarios, que el alimento debe proporcionar en su mayor parte. En cuanto a los requerimientos de fibra dietética se han precisado en 20 a 40 gramos diarios (21, 49, 50, 51).

Es evidente, que no existe alimento único que contenga todos los elementos nutritivos en cantidades suficientes, por lo que es necesario una combinación de varios de ellos que proporcionen una dieta balanceada. Una manera de hacerlo es incluyendo en la ración diaria alimentos de estos cuatro grupos básicos:

- I. Frutas y vegetales.
- II. Pan, tortilla, cereales y otros granos.
- III. Productos lácteos.
- IV. Aves, pescado, carne y huevos (50, 51).

La importancia de la alimentación ha sido reconocida en la Medicina desde el origen de ésta ciencia, pensando en una relación alimento-salud; recientemente se ha aceptado el concepto de que una alimentación adecuada estimula y sostiene la salud, y es de ésta manera que nace la Nutrición como ciencia, estudiando los procesos de digestión, absorción, metabolismo y eliminación de alimentos (15, 50).

La dieta promedio en el inicio de los pueblos, se integró de un 70 % de productos de origen vegetal, donde predominaron los granos; y dentro de estos han destacado los cereales. Los cereales sobresalientes en la dieta son maíz, trigo y arroz, y el principal aporte de estos granos son los carbohidratos, en forma de almidón y fibra dietética, que es un regulador corporal y no una sustancia nutritiva (49, 51).

En la actualidad, existe una marcada reducción en el consumo de cereales integrales y de ciertas frutas y vegetales; la progresiva industrialización implica un consumo mayor de azúcar y cereales refinados, grasas, carnes, jugos colados y productos lácteos (15, 30, 49). Esto significa, que la disminución en el consumo de productos de origen vegetal conlleva a un cambio en la dieta, ya que no se está proporcionando uno de los principios nutritivos: la fibra dietética.

Este cambio en la dieta, ha traído consigo la aparición con mayor frecuencia de ciertas enfermedades gastrointestinales tales como: cáncer del colon, diverticulosis, colitis, constipación, síndrome de irritación intestinal, hernia hiatal y apendicitis, las cuales han sido relacionadas con un bajo consumo de alimentos ricos en fibra dietética (30, 58).

El propósito de este trabajo es realizar una investigación bibliográfica y experimental sobre las propiedades y efectos de la fibra dietética en el organismo humano, los problemas de salud que acarrea la disminución en el consumo de ésta; y así como el desarrollo de una alternativa para subsanar las deficiencias de fibra dietética en la dieta promedio del país.

OBJETIVOS GENERALES

Aumentar en la dieta mexicana el consumo de fibra dietética para contrarrestar las enfermedades del colon.

Utilizar la médula de bagazo de caña como fuente de fibra dietética y la tortilla de maíz como vehículo.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Estudiar el proceso de nixtamalización y seleccionar la operación más adecuada para la adición de médula de bagazo de caña; así como la manera de adicionar ésta.
- 2.- Determinar la influencia de la inclusión de la médula de bagazo de caña sobre las propiedades de la masa.
- 3.- Determinar la influencia del aumento en el consumo de fibra dietética sobre el comportamiento gastrointestinal de ratas.
- 4.- Evaluar las propiedades organolépticas de las tortillas con diferentes niveles de adición de médula de bagazo de caña.

GENERALIDADES

I. FIBRA DIETETICA

DEFINICIONES

Durante la década de los setentas, surgió un gran interés de investigadores británicos por la relación existente entre las llamadas "sustancias lastre" o residuos de la dieta y la salud humana (2,3).

Por años, estas "sustancias lastre" han sido conocidas con el término de "fibra cruda", la cual es simplemente, el residuo de un alimento cuando es tratado en el laboratorio con solventes ácidos y álcalis calientes (22). Recientemente, nutriólogos y médicos se han avocado a estudiar el papel de la fibra en la fisiología humana, y han encontrado que el término de "fibra cruda" no se apega realmente a lo que sucede en el organismo; el proceso de digestión involucra la acción de las enzimas y el jugo gástrico sobre los alimentos, de tal manera que no existe un tratamiento alcalino tan drástico, como el que se realiza en el análisis (49, 58). Debido a estas investigaciones fué introducido un término nuevo a partir de 1953: "fibra dietética" para desplazar cualquier otro término (3).

Decimos que éste es un término "nuevo" si consideramos que desde 1806, cuando Heinrich Einhof en Alemania, desarrolló la metodología de análisis de fibra cruda, y aún hasta nuestros días se sigue utilizando este término (15).

Fibra dietética no es equivalente a fibra cruda; para poder establecer la diferencia, hay que aclarar primero el concepto de fibra cruda. El cual se refiere al material remanente después de un riguroso tratamiento con ácidos y álcalis diluidos. El residuo químicamente inerte está compuesto principalmente de lignina y de la mayor parte de la celulosa. Este procedimiento destruye un 80% de las hemicelulosas y de 50 a 90% de la lignina, y la recuperación de celulosa es solamente de 50 a 80% (5, 21, 22, 26, 30, 49, 58).

En el Cuadro 1.1 se muestra una comparación entre los valores de fibra cruda y fibra dietética en algunos alimentos, se aprecia claramente la diferencia entre los valores para un mismo alimento. Dichas diferencias son ahora reconocidas por las deficiencias en la metodología de análisis de fibra cruda.

Es por esto, que se han desarrollado nuevas metodologías para reemplazar el método empírico de fibra cruda, y las más importantes son las desarrolladas por Van Soest y colaboradores (1963).

CUADRO 1.1

COMPARACION DE LOS VALORES DE FIBRA CRUDA Y FIBRA DIETETICA EN ALGUNOS ALIMENTOS		
ALIMENTO	FIBRA CRUDA g / 100 g	FIBRA DIETETICA g / 100 g
Pan y cereales		
Pan blanco	0.2	2.72
Pan de trigo	1.6	8.50
Cereal All Bran	7.8	26.70
Hojuelas de maíz	0.7	11.00
Trigo inflado	2.0	15.41
Trigo inflado cubierto con azúcar	0.9	6.08
Vegetales		
Tallos de brócoli	1.5	4.10
Lechuga cruda	0.6	1.53
Zanahoria cocida	1.0	3.70
Chicharo enlatado	2.3	6.28
Maíz dulce cocido	0.7	4.74
Frutas		
Manzanas sin piel	0.6	1.42
Duraznos con piel	0.6	2.28
Fresas crudas	1.3	2.12
Nuez y similares		
Nuez del Brasil	3.1	7.73
Cacahuates	1.9	9.30
Mantequilla de cacahuete	1.9	7.55

Fuente : Institute of Food Technologist (1979)

Por lo tanto, el uso de "fibra cruda" en descripciones dietéticas es de valor limitado, dado que puede representar cuando mucho un séptimo del total de la fibra dietética y desafortunadamente no existe un factor que pueda ser usado para convertir los valores de fibra cruda en fibra dietética (3, 22).

El concepto de fibra dietética es mucho más amplio; es un concepto fisiológico. Se define como el residuo derivado de las paredes celulares vegetales, que es resistente a la hidrólisis enzimática en el tracto digestivo humano; incluye celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, gomas, mucilagos y otros carbohidratos, así como lignina (3, 5, 21, 22, 30, 41, 43, 48, 58).

Algunos otros autores han enunciado otras definiciones de fibra dietética, como las siguientes: "componentes endógenos de materiales vegetales en la dieta, los cuales son resistentes a la digestión por enzimas producidas por el hombre, son predominantemente polisacáridos no amiláceos y lignina, y pueden incluir sustancias asociadas" (17). "Carbohidratos indisponibles, que es la porción de los vegetales ingeridos en la dieta, resistentes a la digestión de secreciones gastrointestinales" (2).

Los nutriólogos británicos restringen el término fibra dietética a polímeros estructurales, celulosa, otros polisacáridos y lignina. Otros, han sugerido que la fibra dietética no puede estar limitada a estos polímeros, una definición fisiológica completa debe incluir todos los compuestos químicos naturalmente asociados con la fibra dietética, y concentrados alrededor de los polímeros estructurales; por lo que incluiría fitatos, materiales nitrogenados, lípidos complejos indisponibles, algunos compuestos resultantes del oscurecimiento no enzimático, ciertos minerales, y aún metales en cantidades trazas tales como cromo y zinc (48, 58).

Se han demandado definiciones más amplias, ya que éste grupo de sustancias que operan como un complejo fisicoquímico, han sido relacionadas con la incidencia de ciertas enfermedades gastrointestinales.

PROPIEDADES DE LA FIBRA DIETETICA

El estudio sobre el papel de la fibra dietética se vió iniciado por investigadores británicos en particular Burkitt y Trowell, quienes observaron que la incidencia de ciertos tipos de enfermedades era menor en algunos países de Africa, comparado con países occidentales. Ellos concluyeron que la diferencia se encontraba precisamente en la cantidad de fibra dietética que incluía cada una de las dietas; y fué esto lo que atrajo la atención hacia los alimentos (30).

La fibra dietética presenta algunas propiedades fisicoquímicas que potencialmente pueden afectar, en forma considerable, la fisiología nutritiva del hombre. Tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, lo que produce estructuras de gel que forman una matriz de fibra vegetal en el tracto gastrointestinal de los humanos y algunos animales; ésta absorción de agua, previene el incremento de presión resultando en un desecho fecal de mayor volumen y suavidad. El número de movimientos musculares peristálticos del intestino delgado al día aumenta, y como consecuencia el tiempo de residencia y de tránsito se reduce (15, 17, 21).

La deficiencia de fibra dietética en la dieta altera la flora microbiana, (*bacteroides sp* y bifidobacterias), es decir, esta flora bacteriana puede dividir a los ácidos biliares en elementos sencillos, pero potencialmente peligrosos pues algunos de ellos se cree que pueden actuar como agentes carcinogénicos; por lo tanto la disminución del tiempo de tránsito gastrointestinal significa un menor contacto con estos agentes carcinógenos (2, 4).

La ingestión de fibra dietética mejora el metabolismo de grasas y azúcares puesto que éstos se digieren más lentamente cuando se consumen como parte de una dieta alta en fibra; de ahí que el aumento del azúcar en la sangre posterior a las comidas no sea tan drástico (tanto en individuos normales como en diabéticos). Se ha demostrado que al incluir una determinada cantidad de fibra dietética en sus dietas, algunos diabéticos han logrado mantener controlada su concentración de glucosa en sangre sin insulina ó algún otro medicamento (26, 41)

El problema de enfermedades diverticulares parece estar relacionado con residuos duros y secos en el intestino, los movimientos peristálticos se reducen y hay un incremento de presión; debido a éste el bombeo en sitios débiles de las paredes intestinales puede resultar en la formación de divertículos. La fibra previene al colon de las contracciones en tales sitios débiles, por el incremento en el volumen de la materia fecal (2, 21, 26).

El papel de la fibra dietética en la salud sigue siendo investigado por científicos modernos, quienes han expresado que la fibra dietética es hidrolizada en un grado variable por las bacterias del colon. La respuesta de las bacterias fecales a la fibra dietética es compleja, y depende particularmente de la variedad de fibra en la dieta (43, 58).

Como es de entenderse, el papel de la fibra dietética en el organismo es primordial, y su inclusión en la dieta es algo que no puede perderse de vista; el aumento moderado de la cantidad de fibra trae consigo grandes beneficios.

En el Cuadro 1.2 se resumen las propiedades de la fibra dietética en el organismo y los principales efectos de la misma.

CUADRO 1.2

PROPIEDADES PRINCIPALES Y EFECTOS DE LOS COMPONENTES DE LA FIBRA DIETETICA			
FUENTE	SUSTANCIA	PROPIEDADES	EFEECTO PRINCIPAL
Material estructural de la pared celular de los vegetales	Polisacárido celulósico	Retención de agua	Aumenta el peso de la materia fecal Disminuye el tránsito intestinal Disminuye la presión intraluminal
Materiales no estructurales encontrados naturalmente o usados como aditivos	Celulosa y hemicelulosa	Retención de agua	Aumenta el peso de la materia fecal. Disminuye el tránsito intestinal Disminuye la presión intraluminal
	Pectina, gomas y mucilagos	Formación de geles, unión con ácidos biliares	Retarda el vaciamiento gástrico Disminuye la concentración de colesterol en sangre
	Lignina	Unión con ácidos biliares, intercambio catiónico	Disminuye la concentración de colesterol en sangre

Fuente : Kaufer H. (1985)

ENFERMEDADES RELACIONADAS CON BAJO CONSUMO DE FIBRA DIETÉTICA

Una serie de recientes trabajos, han encontrado una deficiencia en fibra dietética en dietas occidentales, y esta privación puede ayudar a explicar la etiología de desordenes nutricionales y digestivos como diverticulosis y enfermedades cardiovasculares (14).

La incidencia de éstas enfermedades ha ido aumentando paulatinamente según la disminución en el consumo de fibra dietética, hasta hace algunos años tales enfermedades se consideraban raras. En un principio, la obesidad y la diabetes aparecieron sólo en grupos de nivel de vida elevado; posteriormente la constipación, hemorroides y venas varicosas se convirtieron en enfermedades comunes, y finalmente aparecieron las enfermedades cardiovasculares y diverticulosis (58).

La enfermedad diverticular del colon se hace patente en la edad adulta o en la vejez, y afecta a mucha gente en países de Occidente. Se caracteriza por la formación de protuberancias de la mucosa a través del músculo colónico, esto se ha atribuido al excesivo esfuerzo que se requiere para expulsar desechos fecales duros y secos, formados por el consumo de dietas bajas en fibra dietética (16).

Se han postulado hipótesis que indican que algunos residuos de alimentos son sustrato para los microorganismos del colon. Estos microorganismos convierten el residuo alimenticio a ciertos compuestos, que si se presentan en alta concentración por un período de tiempo prolongado, pueden llegar a ser carcinógenos. Es por esto, que el cáncer del colon se ha relacionado con un bajo consumo de fibra dietética (2, 21, 26, 30, 58).

Los mecanismos de acción de la fibra dietética para disminuir el riesgo de contraer cáncer del colon se pueden resumir de la siguiente manera:

ACCION	CONSECUENCIA
Altera la microflora del colon	Elimina o inhibe la producción de carcinógenos.
Disminuye el tiempo de tránsito gastrointestinal	Reduce el tiempo de exposición a carcinógenos.
Incrementa el contenido de agua en el colon	Reduce la concentración de carcinógenos potenciales (30)

Numerosos estudios se han realizado, concernientes a las enfermedades relacionadas con un bajo consumo de fibra dietética, clasificándolas en dos grupos principales:

I. Grupo Colónico y Abdominal.

Entre las cuales se encuentran: diverticulosis, constipación, síndrome de irritación intestinal, colitis, cáncer del colon, hemorroides, hernia hiatal, apendicitis; para las que existe mucha evidencia epidemiológica.

II. Grupo Metabólico y Cardiovascular.

Entre las cuales se encuentran: diabetes mellitus, obesidad, enfermedad isquémica cardíaca, venas varicosas, colesterol, cálculos biliares; para las que existe menos evidencia (16, 21, 26, 30, 58).

Aparte de la evidencia epidemiológica, existe un segundo tipo de evidencia, la de origen farmacológico y se refiere a la mejoría de los síntomas en pacientes con diverticulitis después de aumentar el contenido de fibra en sus dietas (21, 26).

Extrañamente, aún y con toda la importancia de la fibra dietética ésta ha sido largamente ignorada por los nutriólogos, muy probablemente porque están más enfocados a pensar en términos de digestión de alimentos con la subsecuente absorción y metabolismo de nutrientes; mientras que la fibra dietética, no es digerida para absorber nutrientes y es directamente excretada en las heces (22). No obstante, la excreción es una etapa de la nutrición; y una alteración en cualquier etapa puede desencadenar trastornos de todo el organismo o de alguna parte del mismo (30).

La principal razón por la que la fibra dietética ha sido ignorada por los especialistas en Nutrición, es seguramente porque no ha sido catalogada como un nutrimento. Sin embargo, es muy probable que algunas de las dolencias que afligen a los habitantes de las naciones industrializadas se relacionen, de una u otra manera, con la deficiencia en el consumo de fibra dietética (26). Lo que significa, que aun sin ser un nutrimento es un componente esencial de la dieta, que necesariamente conlleva al mantenimiento de una salud estable.

FUENTES Y REQUERIMIENTOS DE FIBRA DIETETICA

El principal componente de la fibra dietética en los alimentos, se origina de las paredes celulares vegetales, por lo tanto todos los alimentos de origen vegetal son necesariamente fuentes de ésta (3).

Los cereales integrales son la mejor fuente de fibra dietética debido al salvado, los cereales refinados tienen un contenido de fibra mucho menor ya que durante su procesamiento éste se separa y es eliminado. Los frutos y vegetales, sobre todo si se consumen crudos y enteros, representan una fuente potencial de fibra. El contenido de lignina de la mayoría de los vegetales es muy bajo, mientras que el de las frutas es más alto (21, 22, 26, 30, 41, 58).

Otras fuentes de fibra dietética se encuentran en las leguminosas y oleaginosas, y en algunos alimentos industrializados en los que se usan gomas, pectinas y mucílagos como aditivos para mejorar la textura y consistencia de los productos (26, 41). En el Cuadro 1.3 se muestran algunos ejemplos sobre contenido de fibra en alimentos, es importante aclarar que estos valores están reportados como fibra cruda ya que no existen tablas con valores como fibra dietética, que desde luego de existir el análisis adecuado los valores serían mucho mayores.

En la dieta de la mayor parte de la población mexicana, la tortilla de maíz y el frijol, son las principales fuentes de fibra dietética (26, 41, 44). Sin embargo, es difícil precisar cual es el aporte de fibra de éstos; debido a que la mayoría de las tablas que reportan la composición de alimentos lo hacen refiriéndose a fibra cruda.

Varios estudios sobre el consumo de alimentos en zonas rurales de México y otros países, encontraron un consumo per cápita promedio de 25 g de fibra dietética diario (estimado en base a la dieta consumida); y en las zonas urbanas donde la dieta es más refinada, el consumo promedio es de 8 g al día (4).

Los requerimientos de fibra dietética se han precisado en un consumo de 20 a 40 gramos diarios por persona, según diversos estudios que se han realizado con animales de laboratorio y seres humanos (21, 26, 41). Lo que significa que los consumos estimados de fibra dietética en el país están por debajo de los requerimientos, y que la población con mayor riesgo de enfermedades gastrointestinales es la ubicada en las zonas urbanas.

CUADRO 1.3

CONTENIDO DE FIBRA CRUDA EN ALGUNOS ALIMENTOS		
CONTENIDO	ALIMENTO	g / 100 g (base seca)
Alto (3.5 - 10.0)	Lechuga, coliflor, quelite, verdolagas, ejotes, acelgas, espinacas y hojas semejantes	10.0
	Chícharos, habas y otras leguminosas crudas	8.8
	Papas con cáscara	7.6
	Cebada de grano entero	6.5
	Calabacitas	5.5
	Frijol, soya y garbanzo	4.9
	Zanahoria y nabo	3.7
	Avena de grano entero	3.5
Medio (1.4 - 3.4)	Col cocida	2.8
	Pera, manzana y durazno	2.4
	Naranja y otros cítricos	2.3
	Fresas, ciruelas y cerezas	2.3
	Grano de maíz y tortilla	1.8
Tomate y jitomate	1.4	
Bajo (≤ 1.3)	Pan con harina de trigo refinada	0.4
	Otros productos elaborados con harina refinada (pastas, galletas, pasteles, etc.)	0.2
	Productos de origen animal (carne, leche, huevo, etc.)	0.0

Fuente : Báez M. F. (1982)

II. TORTILLA DE MAIZ

En términos de volumen, el maíz (*Zea mays*) es el cereal más importante producido en México. Representa también la principal fuente de alimentos.

En nuestro país, este grano se consume primordialmente en forma de tortillas, y ha sido el cereal tradicional para su preparación desde hace siglos.

Un promedio del 50 % de la producción nacional se destina a la elaboración de tortillas (55). Esto ha generado una industria que aún cuando se encuentra dividida en miles de pequeños establecimientos es de enorme importancia.

Entre el maíz y la tortilla como producto final, el paso obligado del proceso de transformación es la llamada *Nixtamalización* (del náhuatl *Nextli*, cenizas de cal y *Tamalli* masa de maíz cocido). Este proceso fue desarrollado por las culturas precolombinas; es una lixiviación en caliente y consiste en el calentamiento del maíz con cal y agua para producir el "nixtamal". Este producto se muele para dar la masa, que es amasada, moldeada y cocinada para producir las tortillas (9, 10, 25, 26, 29, 38, 39, 55).

Actualmente, aunque la mayoría de las plantas comerciales son muy sofisticadas, los puntos básicos para el procesamiento tradicional permanecen sin cambiar (9). En la Figura 1.1 se muestra un diagrama de bloques del proceso de elaboración de tortilla.

La tortilla ha sido y es uno de los alimentos básicos en la dieta del mexicano, contribuye con proteínas y carbohidratos principalmente; provee del 30 al 40 % de la energía de la dieta de la clase media. Importantes estudios sobre el consumo de tortillas en familias mexicanas de la clase media, estimaron un promedio de 11 tortillas/persona diarias, pero debido a su bajo costo alcanza una mayor proporción en la dieta de la clase baja (44, 46, 55, 65).

La tortilla es también una fuente de fibra dietética; debido al grano en sí, y a que las condiciones durante la elaboración favorecen la formación de sustancias que integran el complejo fibra dietética; parte de estas sustancias son producidas por reacciones de oscurecimiento no enzimático (Reacción de Maillard). Reinhold J.G. et al (1979) realizó un estudio referente al contenido de fibra dietética en la tortilla y reportó un total de 1.68 g / tortilla. (42, 44, 46).

Tomando en cuenta este dato y el consumo per cápita de tortilla, es posible estimar que la tortilla brinda un total de 18.5 gramos de fibra dietética diarios (44, 55); lo que apenas representa un 62% de los requerimientos.

PROCESO DE ELABORACION DE TORTILLAS

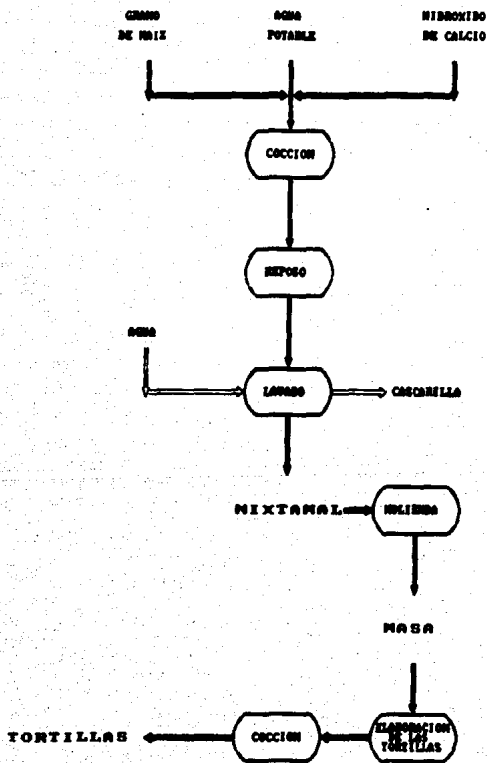


FIGURA 1.1

Aunado a lo anterior, otros trabajos han reportado que en muestras recopiladas al azar en diferentes tortillerías, se encontró gran variación en la composición de la tortilla. Esto puede explicarse por falta de una tecnología estandarizada y que en ocasiones es inadecuada, tanto en la nixtamalización como en la elaboración de la tortilla (44, 46).

Existen otros estudios como el de la Asociación Mexicana de Estudios para la Defensa del Consumidor, donde los consumidores opinan acerca de la tortilla que se comercializa en el Distrito Federal. y los resultados indican que el 28 % de los entrevistados afirmó que las tortillas eran malas, el 17 % regulares, 25 % que eran buenas y sólo el 5 % las consideró muy buenas. El 10 % de los consumidores reconocía una calidad irregular en las tortillas y un 10 % añadió que en todos los casos las tortillas estaban sucias y adulteradas (45).

Esto quiere decir, que desafortunadamente no existe una tecnología adecuada de nixtamalización, a pesar de ser la tortilla un alimento de tanta trascendencia; por esto es que en este trabajo se propone un estudio de estandarización de la nixtamalización y elaboración de la tortilla, y de esta manera adicionar la fibra dietética necesaria para alcanzar los requerimientos de la misma.

III. MÉDULA DE BAGAZO DE CAÑA

Para incrementar el nivel de fibra dietética, se pretende utilizar un material de bajo costo y que por su composición pueda servir como fuente de fibra dietética. La médula de bagazo de caña de azúcar, es un subproducto de la industria azucarera, que reúne estos requisitos.

El bagazo de caña de azúcar, es un esquilmo agrícola, es decir uno de los productos no deseados del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar (1, 18).

Los esquilmos agrícolas son desechos agroindustriales y en general son materiales lignocelulósicos, como por ejemplo pajas, bagazos, cascarillas, rastrojos etc; también se les llama forrajes toscos. El bagazo de caña al igual que otros esquilmos, parece no tener valor; y como su costo total es menor que los costos aparentes de recolección, transporte y procesamiento muchas veces es descartado. Sin embargo, estos residuos pueden contener materiales benéficos para el hombre, y a pesar de esto se destinan como desecho lo que causa problemas de contaminación y una pérdida de recursos naturales (1, 18, 31).

Precisamente dentro de los subproductos agrícolas que han sido motivo de múltiples investigaciones se encuentran el bagazo y médula de caña de azúcar. Ha sido una preocupación constante el aprovechamiento de estos residuos.

DEFINICION

El bagazo es el material sólido y fibroso que resulta de la molienda de la caña de azúcar, una vez que se ha extraído el jugo. Junto con la melaza, son los principales subproductos de la industria azucarera (1, 18).

Está formado por dos fracciones, una exterior llamada cáscara o corteza, y una interior llamada médula ó bagacillo. Estas fracciones, son dos constituyentes celulares distintos; la primera, es una fracción de fibra gruesa y larga, la segunda, está derivada de las paredes celulares del tejido vegetal y es una fibra delgada y corta. No obstante, la proporción de estos componentes varía según la calidad y la variedad de la caña y los procesos utilizados para separar las dos fracciones (1, 18).

COMPOSICION QUIMICA

Las dos fracciones constituyentes, están compuestas principalmente por carbohidratos; la química del bagazo revela una composición promedio de 40% de celulosa, 30% hemicelulosa y 15% lignina, un pequeño porcentaje de sílice inorgánico, además de residuos de azúcares, pentosas, hexosas y otros compuestos de bajo peso molecular (1). En el Cuadro 1.4 se presentan los principales constituyentes del bagazo de caña de azúcar según Srinivasan y Han (1969), citado por Fragoso (1984).

Estas fracciones son también polímeros estables, altamente cristalinos y extremadamente resistentes a los solventes y al ataque químico. Su color es generalmente amarillo grisáceo a verde pálido; es grueso y no tiene tamaño de partícula uniforme (1).

DISPONIBILIDAD

En México, cada año se cosechan aproximadamente 33 millones de toneladas de caña de azúcar. No obstante, se ha estimado que únicamente se aprovecha el 24% del peso total de la materia seca de la caña procesada. Los ingenios producen un promedio de 11.5 millones de toneladas de bagazo y médula de caña de azúcar, que representan 11.5 millones de toneladas de fibra (18).

En la Figura 1.2 se presenta la disponibilidad de algunos esquilmos agrícolas por cultivo, con un total de 41,463,730 toneladas de materia seca (18).

El rastrojo y olote de maíz a pesar de que representan el 55 % del total, tienen el gran problema de que se encuentran dispersos por todo el país, lo que aumenta considerablemente los costos de recolección. El bagazo de caña en este sentido tiene ventaja, ya que se encuentra concentrado en los ingenios azucareros.

CUADRO 1.4 CONSTITUYENTES DEL BAGAZO DE CANA DE AZUCAR

PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL BAGAZO Y MEDULA DE CANA DE AZUCAR			
% BASE SECA			
CONSTITUYENTE	BAGAZO ENTERO	CORTEZA	MEDULA
Lignina	20.2	19.7	22.0
Celulosa	46.3	47.6	45.0
Hemicelulosa	24.8	26.7	29.3
Silicatos	2.3	1.1	0.5
Extracto etereo	3.7	3.0	2.5
Cenizas	2.7	1.9	1.0

Fuente : Fragozo M.V. (1984).

DISPONIBILIDAD DE ESQUILMOS AGRICOLAS

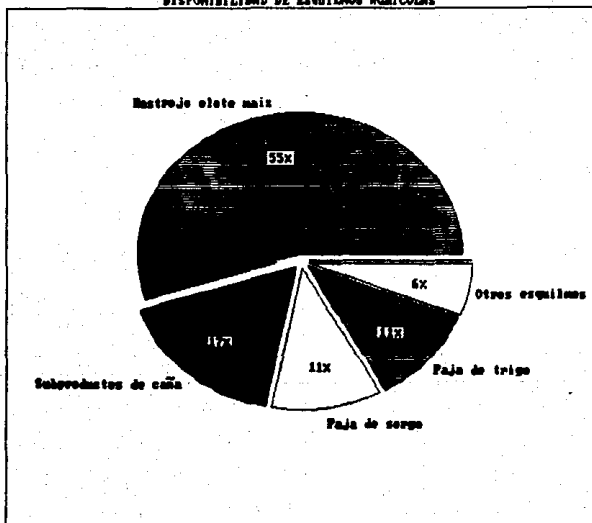


Figura 1.2

Fuente: Fragoso M.V. (1984).

USOS PRINCIPALES DEL BAGAZO DE CAÑA

Los usos más comunes del bagazo son: combustible en los mismos molinos azucareros o combustible industrial, camada para aves de corral, en la elaboración de papel, material aislante, producción de alfa-celulosa, producción de plásticos derivados del bagazo y como forraje tosco. Sin embargo, la cantidad producida diariamente excede su utilización en las formas antes mencionadas. En los ingenios azucareros representa un serio problema el almacenamiento, debido a su alta densidad aparente, por lo que ocupa grandes espacios de terreno (1, 18).

Estos materiales se acumulan alrededor de los ingenios azucareros constituyendo un problema ecológico, debido al espacio que ocupan pues se calcula que cuando está amontonado su peso por metro cúbico es de 200 kg en tanto que cuando está suelto es de 112 kg (1, 18).

Debido a su composición química, la médula de caña de azúcar representa una fuente potencial de fibra dietética, por lo que se plantea su implementación en un alimento de consumo humano, en éste caso, la tortilla. Con la elaboración de la tortilla adicionada de médula, se le dará un uso diferente a éste esquilmo agrícola, que tantos problemas acarrea en el ingenio azucarero.

CAPITULO DOS

MATERIALES Y METODOS

MATERIAL

- Crisoles de Porcelana
- Pinzas para crisol
- Desecador
- Mechero de Bunsen
- Vasos de aluminio
- Cartuchos de celulosa
- Sistema de reflujo (matraz de bola y refrigerante)
- Embudos de cristal
- Papel filtro Whatman No 1
- Crisoles de vidrio con filtro
- Sistema para filtrar con vacío
- Tubos de vidrio para digestión
- Trampa de vapores
- Cribas de mano de orificios conocidos

EQUIPO

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Estufa (Horno convencional Hotpack Supermatec)
- Unidad Soxhtec para extracción de grasas (Tecator System)
- Parrilla de calentamiento (Hot plate Thermolyne 2000)
- Mufla (Horno Sola Basic Lindberg, tipo S1848 CTD)
- Unidad Kjelttec para determinación de proteína (Tecator System)
- Molino de Martillos (Culatti DFH 48)

REACTIVOS

- Hexano
- Hidróxido de sodio
- Fenoftaleína
- Acido bórico
- Rojo de metilo
- Acido clorhídrico
- E.D.T.A. sal disódica
- Dodecil sulfato de sodio
- Fosfato de sodio dibásico
- Iodo
- Bromuro de cetil trimetil amonio
- Acido sulfúrico
- Anaranjado de metilo
- Alcohol etílico
- Alcohol metílico
- Verde de bromocresol
- Sulfato de potasio
- Borato de sodio decahidratado
- Etilén glicol monoetil éter
- Acetona
- Ioduro de potasio
- Agua bidestilada

DIAGRAMA DE LA METODOLOGIA

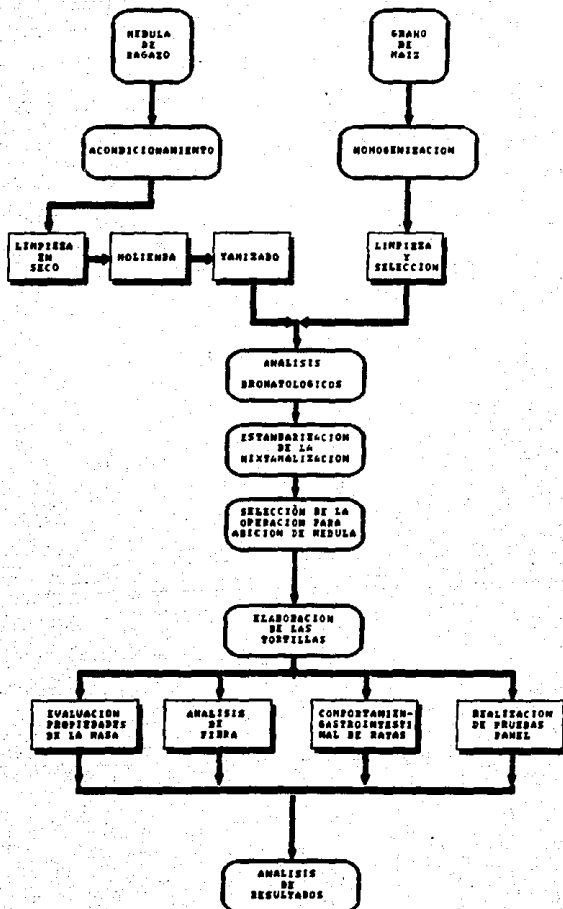


FIGURA 2.1

METODOS

La presente investigación se realizó con maíz variedad "palomero toluqueño" (*Zea mays dentata*), comprado en la Central de Abastos del Distrito Federal, provenientes de la Ciudad de Toluca, Edo. de México.

La médula de bagazo de caña se adquirió del Ingenio "Emiliano Zapata" de Zacatepec, Morelos.

El desarrollo del trabajo se dividió en las siguientes etapas:

- I. DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA.
- II. DETERMINACION DE LOS NIVELES DE INCLUSION DE MEDULA
- III. ESTUDIO DE ESTANDARIZACION DE LAS CONDICIONES DE NIXTAMALIZACION.
- IV. SELECCION DE LA OPERACION PARA LA ADICION DE MEDULA
- V. ELABORACION DE LAS TORTILLAS ADICIONADAS DE MEDULA
- VI. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA MASA
- VII. ANALISIS DE FIBRA EN LAS TORTILLAS
- VIII. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO GASTROINTESTINAL DE RATAS
- IX. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES ORGANOLEPTICAS DE LA TORTILLA

I. DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

Se sometió el maíz a un análisis selectivo para determinar la calidad comercial del grano, y evaluar las condiciones iniciales de la materia prima, esta clasificación se realizó manualmente.

La clasificación se llevó a cabo tomando muestras representativas del lote homogenizado, de 100 granos cada una. Los criterios que se consideraron en el análisis selectivo fueron los siguientes:

grano con daño mecánico

son las fracciones menores de 3/4 de granos de maíz que quedan retenidos por la criba No 12, así como también los granos estrellados que en el momento de su análisis se fraccionan.

grano con daño por hongos

son aquellos granos y partes de granos de maíz que presentan claramente en el germen y/o endospermo las características colonias de color blanco, negro, rosado, gris, azul verde, café o de otro color de los hongos de campo o almacén.

grano pasado de madurez

son aquellos granos y partes de grano que presentan a simple vista la nueva plántula y/o cutícula del germen abierto, debido a algunas fases de germinación. También se consideran los granos que en el campo no alcanzaron su completo desarrollo y se reconocen por su color verde y su menor tamaño.

semillas extrañas

son aquellos granos de otra variedad que por su color se distinguen, también se consideran las semillas de otra especie.

materia extraña

son las fracciones de tallos, hojas, olote, tamo, piedras, terrones y cualquier otro material diferente al maíz, incluye también fracciones pequeñas de maíz y granos fisiológicamente mal desarrollados que pasan fácilmente a través de una criba de orificios redondos de 4.76 mm de diámetro.

Estos criterios fueron seleccionados en base a la metodología seguida por Rivera-Brechu et al (1986) en su trabajo publicado en cuanto a calidad del grano de maíz.

Después de la selección se cuentan los granos en cada caso y se obtiene una relación en porcentaje.

Posteriormente se realizó el Análisis Bromatológico tanto de el grano de maíz como de la médula de bagazo de caña. La metodología empleada en cada análisis se reporta en el Apéndice.

II. DETERMINACION DE LOS NIVELES DE INCLUSION DE MEDULA

Para establecer los niveles de inclusión de médula de bagazo, se realizaron unas pruebas preliminares en cuanto a propiedades organolépticas de la tortilla, y problemas durante la elaboración de la misma. De esta manera se estableció un rango de trabajo, posteriormente se conjuntó esta experimentación con la bibliografía.

Finalmente los niveles de inclusión de médula de bagazo de caña, se fijaron considerando la siguiente información:

1.- Consumo recomendado de fibra dietética:	30 g/día
2.- Consumo per cápita de tortilla :	330 g/día
3.- Contenido de fibra dietética en tortillas:	10,35 g/100 g
4.- Contenido de fibra dietética en la médula:	97 g/100 g
5.- Contenido de humedad de la médula de bagazo:	7 g/100 g
6.- Contenido de humedad en la tortilla:	46 g/100 g

Debido a que el papel de la fibra dietética en el organismo, es principalmente disminuir las enfermedades del colon; los niveles se calcularon para satisfacer el 100 % de la demanda de fibra dietética, ya que los consumos de ésta estimados en base al consumo diario de tortillas son del 62 %. La médula de bagazo de caña se ha propuesto como la fuente de fibra dietética que satisfaga dicha deficiencia, debido a que su composición química revela la potencialidad del esquileo agrícola. Se ha elegido la tortilla de maíz como vehículo, ya que es el alimento de mayor aceptación en el pueblo mexicano.

En el Cuadro 2.1 se esquematiza la información que se requirió para el cálculo de los Niveles de Inclusión, con los que se continuó la experimentación; los cuales finalmente fueron establecidos en 0.962, 1.925, 2.880 y 3.849 % de adición de médula, además de un testigo equivalente al 0 %.

III. ESTUDIO DE ESTANDARIZACION DE LAS CONDICIONES DE NIXTAMALIZACION

La estandarización de las condiciones de la operación de Nixtamalización, se planteó debido a que en la literatura existe una gran diversidad de opiniones, las cuales dependen de muchos factores relacionados principalmente con el grano de maíz como: la variedad, la edad, las características de su almidón, etc. Por lo que de esta manera se obtuvieron las condiciones del proceso de acuerdo a la variedad y edad del maíz, para continuar con el resto de la experimentación.

CUADRO 2.1 NIVELES DE INCLUSION DE MEDULA DE BAGAZO

NIVELES DE INCLUSION DE MEDULA DE BAGAZO DE CASA					
PARAMETRO	NIVEL DE INCLUSION				
	A	B	C	D	E
PORCENTAJE EN PESO DE ADICION DE MEDULA A LA TORTILLA	0	0.962	1.925	2.880	3.849
Gramos de medula de bagazo adicionados por tortilla	0	0.262	0.525	0.788	1.050
Gramos de Fibra Dietetica totales por tortilla	1.676	1.939	2.201	2.465	2.727
Gramos de consumo de Fibra Dietetica por consumo per capita de tortilla	18.44	21.33	24.22	27.11	30.00
Consumo de Fibra Dietetica segun los requerimientos (%)	61.47	71.10	80.73	90.36	100.0

Los parámetros que se eligieron para evaluar la operación de Nixtamalización fueron la humedad del nixtamal y el rendimiento de grano a nixtamal, para lo que se planteó un Diseño Factorial cuyas variables de experimentación incluyeron el tiempo de cocción (0, 25, 50, 75 y 100 minutos) y la relación granoragua (1:2, 1:2.5 Y 1:3). Las variables que se mantuvieron constantes en la experimentación fueron concentración de Alkali (1% en relación al grano), temperatura de cocción (92°C) y tiempo de reposo (16 horas); mismas que se fijaron en base a la bibliografía (9, 10, 24, 25, 28, 39, 56). En la Figura 2.2 se encuentra esquematizado todo este proceso.

La evaluación de la humedad del nixtamal fué por Secado en estufa @ 110 ° C. Los rendimientos granonixtamal se evaluaron gravimétricamente en Balanza Semianalítica Mettler 3000.

IV. SELECCION DE LA OPERACION PARA LA ADICION DE MEDULA

Conjuntando los resultados de la parte experimental del estudio de estandarización de la Nixtamalización, con la revisión de la literatura en cuanto a los cambios que ocurren en ésta y en general en todo el proceso de elaboración de tortillas, se eligió como la operación más adecuada para la adición de la médula de bagazo de caña, el amasado. Se eligió esta operación por ser posterior a la Nixtamalización, ya que ésta es un proceso térmico alcalino, que convierte a la fibra dietética en fibra cruda; es decir en esta operación no se afectan las propiedades de la médula de bagazo como fibra dietética.

V. ELABORACION DE LAS TORTILLAS ADICIONADAS CON MEDULA

La elaboración de las tortillas con los diferentes niveles de inclusión de médula de bagazo de caña se realizó en tres etapas principales:

- 1) Preparación de la médula de bagazo.
- 2) Nixtamalización del grano de maíz
- 3.) Adición de la medula y elaboración de las tortillas.

1) Preparación de la médula de bagazo.

Se realizó una limpieza en seco de la médula de bagazo de caña, utilizando una bolsa de plástico con orificios en donde se colocó ésta, y con una manguera se introdujo aire para que circulara durante 5 a 10 minutos. De esta manera se eliminó el polvo que es su principal contaminante.

DIAGRAMA DEL ESTUDIO DE NIXTAMALIZACION

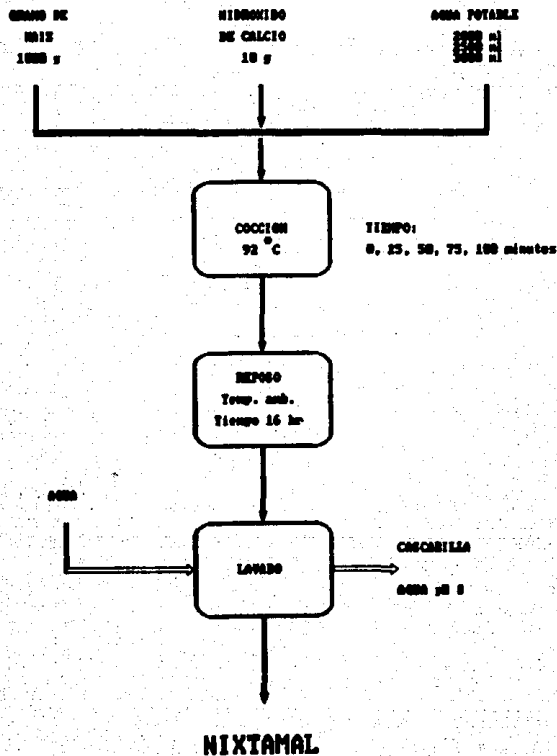


FIGURA 2.2

Utilizando un Molino de Martillos de acero inoxidable (Culatti, tipo DFH 48) con criba de 0.5 mm se disminuyó el tamaño de partícula y posteriormente la médula molida se transfirió a un Vibrador para separar el que atravesó el tamiz Malla No 40.

La médula molida se sometió a un Secado en estufa @ 50 ° C durante 24 horas con el fin de estandarizar la humedad a un valor de 3 % para posteriormente pesar la cantidad exacta de médula en cada nivel de inclusión.

2) Nixtamalización del grano de maíz

El grano de maíz se seleccionó manualmente para separar grano dañado y semillas extrañas; la materia extraña se eliminó por un sistema de cribas de diferente tamaño.

Para el proceso de Nixtamalización se utilizó Hidróxido de Calcio Anhidro con una concentración de 1 % en relación al peso del grano.

En matraces Erlenmeyer de cristal cap. 2000 ml se pesó directamente el maíz seleccionado utilizando Balanza Granataria, el Hidróxido de Calcio se pesó en Balanza Analítica Mettler 160, y se adicionó agua del grifo. Estos ingredientes se mezclaron por agitación y el matraz se colocó en una parrilla de calentamiento para iniciar el Proceso de Nixtamalización a una temperatura de 92 ° C que se mantuvo constante. Durante el transcurso de la operación, se agitó ocasionalmente la mezcla para facilitar la homogenización del Alkali en la mezcla.

Al término de la operación, el matraz se separó de la parrilla de calentamiento y se dejó en reposo por 16 horas a temperatura ambiente.

Se separó el agua de nixtamal o "nejayote" y el nixtamal obtenido, se lavó tres veces con agua del grifo para separar la cascavilla y eliminar el exceso de Alkali. El lavado se siguió hasta que el agua de lavado registró un pH de 8.

3) Adición de la médula y elaboración de las tortillas

La masa se obtuvo por la molienda del nixtamal en un Molino de Rodillos de funcionamiento manual.

Posteriormente se realizó un amasado manual durante 2 a 3 minutos para dar consistencia a la masa. En este punto, se realizó la adición de los diferentes niveles de inclusión de la médula de bagazo. Fue necesario la adición de pequeñas cantidades de agua para facilitar el amasado y la elaboración de las tortillas.

La elaboración de las tortillas se realizó utilizando una tortilladora manual. Las tortillas se sometieron a cocción sobre una placa metálica cuya temperatura se controló a 200°C, para una cocción homogénea la tortilla se volteó por los dos lados, dejándola por un espacio de 2 a 3 minutos por cada lado.

VI. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA MASA

Las propiedades de la masa fueron evaluadas cualitativamente en cuanto a olor y color, comparando en todos los casos contra el testigo (masa sin incorporación de médula). Se evaluó también la facilidad de amasado ya directamente en la operación de elaboración de las tortillas, observando la incorporación que tiene la médula a la masa y el comportamiento que tiene ésta durante el moldeado en tortilladora manual.

VII. ANALISIS DE FIBRA EN LAS TORTILLAS

Durante el desarrollo de la parte de Generalidades se puso de manifiesto las diferencias entre los términos de fibra cruda y fibra dietética, debido a lo anterior en esta parte de la experimentación se llevaron a cabo los análisis de fibra dietética por los Métodos de Van Soest y colaboradores que se basan en un sistema de detergentes. Van Soest aisló la fibra por soluciones ácido detergentes en celulosa y lignina, y por soluciones neutro detergentes en celulosa, hemicelulosa y lignina.

Los análisis de fibra dietética se realizaron en tres partes:

- 1) Preparación de la muestra de tortilla.
- 2) Análisis de Fibra Detergente Acido.
- 3) Análisis de Fibra Detergente Neutro.

1) Preparación de la muestra de tortilla

Las tortillas adicionadas con médula de bagazo se envolvieron en papel de estrasa y se secaron en estufa @ 50 ° C hasta peso constante.

Una vez secas se pulverizaron en un Molino de Martillos y se guardó el polvo de la tortilla molida en desecador.

2) Análisis de Fibra Detergente Acido

3) Análisis de Fibra Detergente Neutro

**DETERMINACION DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO O PAREDES CELULARES
Método de Van Soest (1967).**

Fundamento

La materia seca de un alimento vegetal puede dividirse en dos fracciones, una, el contenido celular, altamente digestible y otra, la pared celular, parcialmente digestible para rumiantes e indigestible para no rumiantes.

Analicamente puede separarse el contenido celular de la pared celular refluendo la muestra con un detergente neutro. El contenido celular es soluble en el detergente y la pared celular es insoluble.

En el contenido celular se incluyen además de las sustancias del interior de la célula, las sustancias pécticas que pertenecen a la pared celular, pero que por su estructura, se solubilizan en el detergente neutro. En la pared celular están incluidos todos los elementos que forman la fibra, las proteínas que se han convertido en insolubles por el calor y la sílice. Los componentes de la pared celular son básicamente celulosa, hemicelulosa y lignina.

Este método se basa en hervir a reflujo con un detergente neutro, el alimento es secado a una temperatura inferior a los 55 ° C, el residuo obtenido se le llama "paredes celulares" o "fibra detergente neutro". El detergente debe ser neutro para evitar que algunos compuestos que pertenecen a la fibra sean disueltos.

Reactivos

- Solución detergente neutro
18.61 g de ácido etilendiaminotretacético sal disódica dihidratada (E.D.T.A.) y 6.81 g de borato de sodio decahidratado disueltos en aproximadamente 200 ml de agua destilada. Aparte, disolver 30 g de dodecil sulfato de sodio y 10 ml de etilén glicol monoetil éter en otros 200 ml de agua destilada. Estas dos soluciones se mezclan. Disolver 4,56 g de fosfato de sodio dibásico en 100 ml de agua destilada. Adicionar esta solución a las dos anteriores y aforar a 1000 ml con agua destilada. El pH debe ser de 6.9 a 7.1.
- Acetona
- Solución de amilasa
levaduras altamente degradadoras de almidón en un medio de cultivo de almidón al 1 %
- Solución de iodo
2.54 g de iodo y 5.1 g de ioduro de potasio se disuelven en 50 ml de agua destilada y se diluyen en 500 ml

Procedimiento

- 1.- Pesar alrededor de 0.2 g de muestra seca y molida y depositarlos en el matraz de bola,
- 2.- Adicionar 1 ml de solución de amilasa y dejar en reposo 4 horas,
- 3.- Adicionar 20 ml de la Solución detergente neutro,
- 4.- Colocar el matraz con el refrigerante sobre la parrilla de calentamiento, cuando la solución empiece a hervir, tomar el tiempo y reducir la temperatura para que la ebullición sea suave. Dejar en reflujo 60 minutos (el detergente produce gran cantidad de espuma, por lo que debe vigilarse).
- 5.- Filtrar con vacío a través del crisol de vidrio a peso constante,
- 6.- Lavar con agua destilada caliente (80 a 90 °C) enjuagando previamente el matraz. Los lavados se continúan hasta que la reacción del almidón con la solución de iodo sea negativa,
- 7.- Quitar el vacío y adicionar la acetona aproximadamente 1 minuto y aplicar nuevamente el vacío. Repetir la operación hasta haber eliminado el color,
- 8.- Lavar el exterior del crisol con agua destilada (usar piseta),
- 9.- Secar en estufa @ 100 - 105 °C hasta peso constante,
- 10.- Enfriar en desecador y pesar,
- 11.- Determinar el porcentaje de fibra detergente neutro o paredes celulares usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra detergente neutro} = \frac{\text{g del residuo seco}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

$$\text{Fibra Detergente Neutro} = \text{celulosa} + \text{hemicelulosa} + \text{lignina}$$

DETERMINACION DE FIBRA DETERGENTE ACIDO

Método de Van Soest (1963)

Fundamento

La muestra de alimento (secada al aire ó a temperatura inferior a los 55 ° C) es sometida a reflujo con una solución detergente en medio ácido. El detergente disuelve a todo el contenido celular y además a las hemicelulosas; el residuo consiste únicamente de lignocelulosa y minerales insolubles de la muestra. La diferencia entre el valor de paredes celulares y el valor de este residuo, llamado fibra detergente ácido, es una estimación de la hemicelulosa del alimento.

Reactivos

- Solución detergente ácido
20 g de bromuro de cetil trimetil amonio (grado técnico) se disuelven en 1000 ml de ácido sulfúrico 1 N
- Acetona
- Anaranjado de metilo al 0.1 % en etanol

Procedimiento

- 1.- Pesar alrededor de 0.2 g de muestra seca y molida y depositarlos en el matraz de bola,
- 2.- Adicionar 20 ml de solución detergente ácido,
- 3.- Colocar el matraz con el refrigerante sobre la parrilla de calentamiento, cuando la solución empiece a hervir, tomar el tiempo y reducir la temperatura para que la ebullición sea suave. Dejar en reflujo 60 minutos (el detergente produce gran cantidad de espuma, por lo que debe vigilarse).
- 4.- Filtrar con vacío a través del crisol de vidrio a peso constante,
- 5.- Lavar con agua destilada caliente (80 a 90° C), enjuagando previamente el matraz. Los lavados se continúan hasta que la reacción ácida con anaranjado de metilo sea negativa,
- 6.- Quitar el vacío y adicionar la acetona aproximadamente 1 minuto y aplicar nuevamente el vacío. Repetir la operación hasta haber eliminado el color,
- 7.- Lavar el exterior del crisol con agua destilada (usar piseta),
- 8.- Secar en estufa @ 100 - 105°C hasta peso constante,
- 9.- Enfriar en desecador y pesar,
- 10.- Determinar el porcentaje de fibra detergente ácido usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra detergente ácido} = \frac{\text{g del residuo seco}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

Fibra Detergente Neutro - Fibra Detergente Acido = hemicelulosa

FIBRA DIETETICA = CELULOSA + HEMICELULOSA + LIGNINA

VIII. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO GASTROINTESTINAL CON RATAS

Se utilizó como modelo experimental la rata de laboratorio Raza Winstar (albina, edad adulta), de acuerdo a investigaciones realizadas por Berry et al (1984) y Fisher et al (1985), quienes demostraron que este animal proporciona un modelo válido para extrapolar los resultados al género humano.

Esta parte de la investigación se realizó en el Bioterio de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala U.N.A.M., ubicada en Los Reyes Iztacala Tlalnepantla Edo. de Méx. Las condiciones ambientales del Bioterio se muestran en el Cuadro 2.2.

La experimentación se realizó mediante un Diseño Factorial cuyas variables se fijaron en la inclusión de médula de bagazo y el sexo de los animales de laboratorio, para evaluar el efecto de la inclusión de médula de bagazo de caña en la tortilla sobre el peso seco de la materia fecal depositada por los animales diariamente.

Los animales de experimentación se colocaron por parejas teniendo dos repeticiones en cada nivel, es decir, 10 parejas por sexo: un total de 40 animales.

La alimentación de los animales consistió en croquetas preparadas manualmente con igual formulación que las tortillas y bajo las mismas condiciones de cocción; posteriormente fueron sometidas a un secado en estufa @ 50°C hasta una humedad de 3%. Las croquetas fueron preparadas en esta forma, debido a que la rata se alimenta a base de roer el alimento duro y seco. Se colocó una cantidad de 25 g/rata como ración diaria y el agua de bebida se suministró a libre acceso por medio de bebederos especiales. De esta manera, se llevó a cabo la experimentación, alimentando simultáneamente a 8 ratas por cada nivel de inclusión.

Para la recolección de la materia fecal, la camada de las jaulas se secó al sol por 48 horas y se registró el peso exacto de cada una. El peso seco de la materia fecal, se obtuvo secando al sol por el mismo tiempo la camada muestreada y registrando el peso. La diferencia entre el peso final e inicial es la materia fecal/jaula. La secuencia de muestreo fué de 4 días en todos los casos.

El tiempo que se siguió la prueba fué de 30 días aproximadamente, sin contar un periodo de 8 días de adaptación de los animales. Durante todo este tiempo, los animales se encontraron sujetos a las mismas condiciones ambientales y de limpieza.

Finalmente se hicieron los análisis de fibra detergente neutro y detergente ácido con muestras de materia fecal para evaluar la indigestibilidad de las croquetas en los diferentes niveles de inclusión.

CUADRO 2.2

CARACTERISTICAS DE LOS ANIMALES Y DEL BIOTERIO	
INFORMACION AMBIENTAL	
Temperatura del área	21 - 27 ° C
Humedad relativa	45 - 55 %
Requerimientos de luz	12 horas diarias
JAULA	
Material	Plástico transparente
Cubierta	Rejilla metálica
Dimensiones	37 x 27 x 17 cm
Camada	Aserrín
Capacidad del bebedero	250 ml
ANIMALES DE EXPERIMENTACION	
Raza	Rata albina
Edad	Winstar
Peso observado	Adulto
Temperatura corporal	Macho : 300 a 400 g Hembra : 250 a 300 g
	38.2 ° C
ALIMENTACION	
Ración diaria	25 g (peso seco)
Suministro de agua	a libre acceso

IX. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES ORGANOLEPTICAS DE LA TORTILLA

La evaluación de las propiedades organolépticas de las tortillas se realizó mediante Pruebas Panel Tipo "Escala Hedónica", que consiste en la respuesta de aceptabilidad de la tortilla con panelistas elegidos al azar. Para esta prueba se planteó una escala de 5 respuestas: Muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno, para dar una calificación en cuanto a sabor, olor y color de la tortilla, así como también una respuesta afirmativa o negativa al enrollamiento.

Las pruebas se realizaron con 30 panelistas, cada uno probó todos los niveles de inclusión. Para que cada panelista tuviera suficiente tiempo de deliberar se le entregó un cuestionario para anotación de sus respuestas:

<u>Muy malo</u>	1
<u>Malo</u>	2
<u>Regular</u>	3
<u>Bueno</u>	4
<u>Muy bueno</u>	5

Respuesta:

Nivel A Nivel B Nivel C Nivel D Nivel E

OLOR
COLOR
SABOR

Se puede hacer un taco?

Los resultados se trataron por Análisis de Varianza y se realizó una comparación entre promedios con la prueba de "T" de Student.

Se realizaron unas pruebas de vida de anaquel de todas las tortillas, se colocaron envueltas en papel de estrasa y en bolsas de polietileno, se mantuvieron a temperatura ambiente y en refrigeración (@ 4°C) simultáneamente para observar su textura y la aparición de hongos.

CAPITULO TRES

ANALISIS DE RESULTADOS

I. DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados del análisis selectivo del grano de maíz, se muestran en la Figura 3.1 donde se presentan las proporciones obtenidas en el análisis, el cual dió un promedio de 91 % de grano sano en el total del lote. Esto concuerda con lo reportado en el trabajo de Rivera-Brechú et al (1986) respecto a que la calidad del maíz destinado a la elaboración de tortillas es baja.

Los análisis bromatológicos para los dos casos, grano de maíz y médula de bagazo fueron concordantes con la bibliografía (1, 9, 10, 18, 25, 28, 39, 46). En el Cuadro 3.1 se presentan los resultados, es importante aclarar aquí, la cantidad de fibra cruda que dió el análisis de médula de bagazo: 43.04 (equivalente en base seca), que si se compara con el valor reportado de análisis de fibra dietética por los Métodos de Van Soest: 98.32 % (Base seca) es mucho menor, esto es por las deficiencias ya explicadas del Método de fibra cruda. Para este caso el total de fibra cruda es aproximadamente la mitad del revelado en el análisis de fibra dietética.

II. ESTUDIO DE ESTANDARIZACION DE LAS CONDICIONES DE NIXTAMALIZACION

Los resultados de este estudio se presentan en los Cuadros 3.2 y 3.3, que corresponden a los promedios de los valores experimentales tal y como se obtuvieron en el laboratorio. En las Figuras 3.2 y 3.3 se muestran las tendencias obtenidas experimentalmente acerca de la humedad del nixtamal y el rendimiento de grano a nixtamal; en ambos casos se observa un incremento constante de la humedad y el rendimiento en los primeros tiempos de cocción.

Varios autores, entre los que se menciona a Bedolla S. et al (1982) y Morad et al (1986), reportan, que una cocción apropiada del maíz se obtiene cuando la humedad del nixtamal alcanza un valor entre 45 y 60 %. Los resultados experimentales se apegan a lo reportado por estos autores, según se muestra en la Figura 3.2, la máxima humedad obtenida es de 57 %, lo que significa que al tiempo de cocción de 50 minutos y una relación de grano:agua de 1:3, se alcanza la cocción óptima del Nixtamal.

La absorción de agua del grano de maíz a diferentes tiempos de cocción, está relacionada, con la gelatinización parcial del almidón del grano, de ahí que a tiempos mayores de cocción a 50 minutos hay un descenso en la humedad del nixtamal.

CLASIFICACION DEL GRUPO DE RAIZ

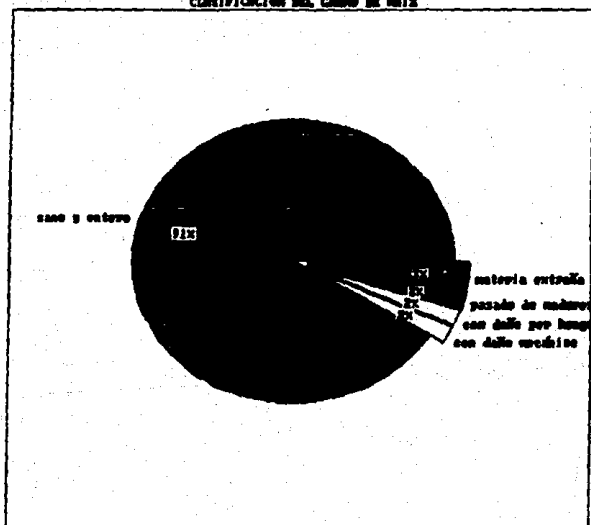


Figura 3.1

CUADRO 3.1 RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO

ANALISIS BROMATOLOGICO		
PORCENTAJE EN PESO (BASE HUMEDA) *		
FRACCION	GRANO DE MAIZ	MEDULA DE BAGAZO
Humedad	12.17	7.07
Grasas	6.71	2.94
Proteína	9.58	1.67
Cenizas	1.17	4.10
Fibra cruda	2.13	40.01
Carbohidratos	68.24	44.21

* PROMEDIOS DE QUINTUPLICADOS

ANALISIS DE FIBRA EN LA MEDULA DE BAGAZO (% B.S.)	
Fibra Detergente Neutro	66.33
Fibra Detergente Acido	34.35
Fibra Dietetica	98.32

CUADRO 3.2 RESULTADOS DEL ANALISIS DE HUMEDAD DEL NIXTAMAL

HUMEDAD DEL NIXTAMAL (%)						
RELACION GRANO:AGUA		TIEMPO DE COCCION (min)				
		0	25	50	75	100
1:2	PROM	49.44	52.83	53.41	55.02	53.87
	DS	1.02	1.33	1.09	1.58	1.17
	VAR	1.04	1.76	1.18	2.45	1.37
1:2.5	PROM	49.47	53.77	54.72	54.25	53.61
	DS	0.76	1.01	1.27	1.23	0.73
	VAR	0.57	1.02	1.61	1.51	0.53
1:3	PROM	50.04	56.07	57.14	53.30	56.65
	DS	1.19	0.57	0.95	0.36	0.81
	VAR	1.42	0.32	0.90	0.13	0.65

Número de repeticiones : 5

PROM : Promedio aritmético

DS : Desviación estándar

VAR : Varianza

CUADRO 3.3 RESULTADOS DEL ANALISIS DE RENDIMIENTO EN LA NIXTAMALIZACION

RENDIMIENTO DE NIXTARAL g/100 g GRANO ENTERO						
RELACION GRANO:AGUA		TIEMPO DE COCCION (min)				
		0	25	50	75	100
1:2	PROM	178.05	182.54	186.21	189.12	190.74
	DS	2.30	1.96	3.79	1.84	3.87
	VAR	5.29	3.84	14.28	3.38	14.97
1:2.5	PROM	178.64	184.14	196.18	191.70	190.62
	DS	2.52	1.16	2.57	1.72	4.61
	VAR	6.35	1.35	6.60	2.96	21.25
1:3	PROM	178.68	196.02	199.56	192.00	203.48
	DS	1.27	5.01	2.79	2.29	4.47
	VAR	1.61	25.10	7.78	5.24	19.98

Número de repeticiones : 5

PROM : Promedio aritmético

DS : Desviación estándar

VAR : Varianza

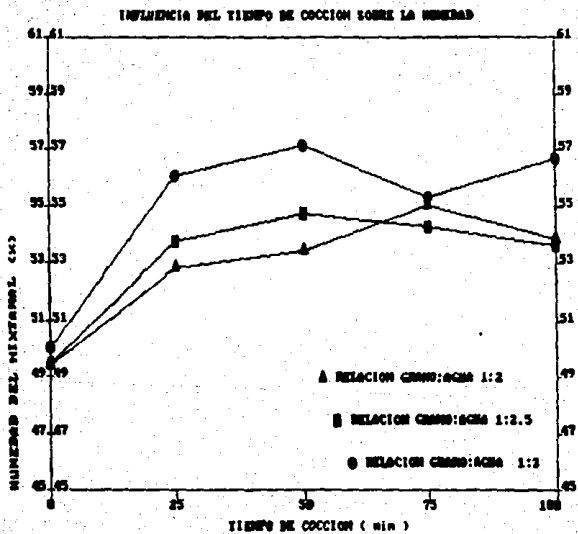


Figura 3.2

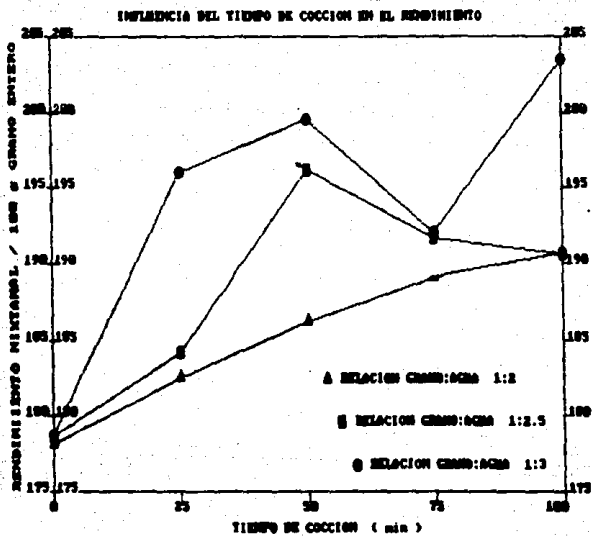


Figura 3.3

**ANALISIS DE VARIANZA PARA UN EXPERIMENTO
COMPLETAMENTE ALEATORIO DE 2 FACTORES
MODELO DE EFECTOS FIJOS
DISEÑO FACTORIAL**

CUADRO 3.4

MUNIDAD DEL NIXTAMAL					
FUENTE	S.C.	g.l.	M.C.	Fc	F
Relación gia	67.65	2	33.83	24.46	*
Tiempo de cocción	314.03	4	78.51	56.76	*
Interacción	28.54	8	3.57	2.58	*
Tratamiento	410.22	14			
Residual	82.99	60	1.38		
Total	493.21	74			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

$\alpha = 0.05$

**ANALISIS DE VARIANZA PARA UN EXPERIMENTO
COMPLETAMENTE ALEATORIO DE 2 FACTORES
MODELO DE EFECTOS FIJOS
DISEÑO FACTORIAL**

CUADRO 3.5

RENDIMIENTO DE LA NIXTAMALIZACION					
FUENTE	S.C.	g.l.	M.C.	Fc	F
Relación g:a	959.72	2	479.86	41.07	*
Tiempo de cocción	2655.13	4	663.78	56.81	*
Interacción	636.69	8	79.59	6.81	*
Tratamiento	4251.54	14			
Residual	701.02	60	11.68		
Total	4952.56	74			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

$\alpha = 0.05$

El rendimiento de grano de maíz a nixtamal, es también un parámetro importante para la determinación de las condiciones de proceso, que dependen específicamente del grano. En este caso, la Figura 3.3 muestra que el máximo rendimiento se obtiene igualmente a 50 minutos, con una relación grano:agua de 1:3 y da un valor de 100 : 199.

También se tomaron en cuenta otros criterios subjetivos, como son: la dureza del grano y la apariencia del mismo en general; se encontró que a tiempos menores de 50 minutos la constitución del endospermo es heterogénea, observándose fracciones blandas color marfil y otras totalmente blancas con apariencia harinosa; lo que indica que no se había alcanzado el tiempo óptimo de cocción.

A temperaturas mayores se observó otro fenómeno, se produjeron áreas amarillentas en el grano que son producidas por un prolongado cocimiento del maíz; esto concuerda con lo reportado por Martínez-Herrera M.L. et al (1979).

El análisis estadístico realizado, indica que existe una interacción de los dos factores: tiempo de cocción y relación grano:agua. La humedad del nixtamal depende directamente de éstos dos factores, además de los inherentes al grano de maíz. Por lo que es válido elegir como condiciones óptimas de Nixtamalización aquellas que dieron como resultado un valor máximo, ya que están considerando la interacción de los dos factores. Los Cuadros 3.4 y 3.5 esquematizan el análisis de varianza.

Finalmente, quedaron definidas como condiciones óptimas de Nixtamalización para una humedad del nixtamal del 57 %, los siguientes parámetros:

Concentración de Hidróxido de calcio : 1 % (en relación al grano)

Relación grano:agua : 1:3

Temperatura de cocción : 92 ° C

Tiempo de cocción : 50 minutos

Tiempo de maceración : 16 horas

En la Figura 3.4 se presenta el proceso final para la preparación de las tortillas adicionadas de medula de bagazo.

PROCESO DE ELABORACION DE TORTILLAS ADICIONADAS CON MEDULA

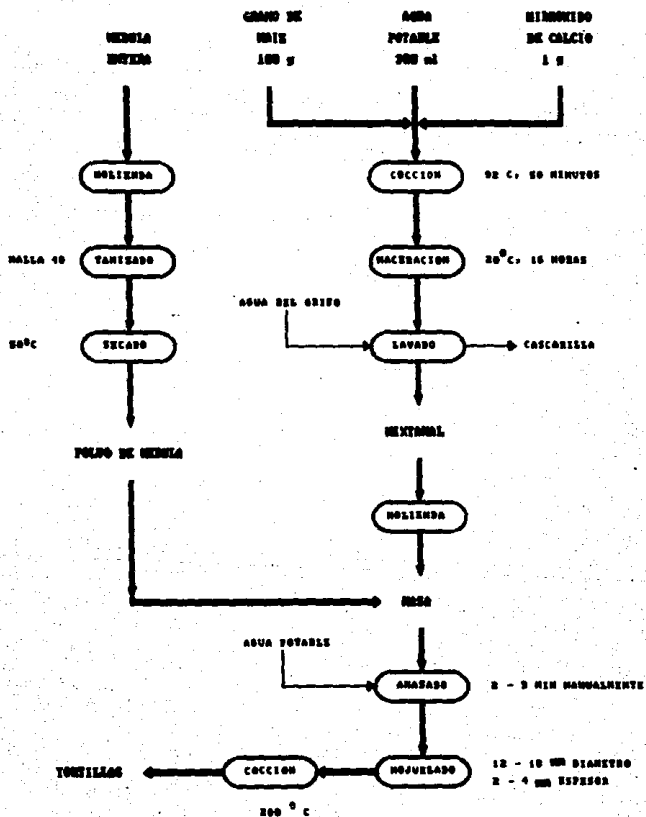


FIGURA 3.4

III. SELECCION DE LA OPERACION PARA LA ADICION DE MEDULA

La selección de la operación para la adición de médula, se hizo considerando que las propiedades de fibra dietética de la misma, no se vieran afectadas como tal.

Se descartó la operación de Nixtamalización, ya que ésta es un tratamiento alcalino drástico, en donde las paredes celulares de la médula de bagazo se alteran, se rompe el enlace lignina-carbohidrato y se disuelven parcialmente las hemicelulosas; esto nulificaría el complejo que opera como fibra dietética.

La siguiente operación, que es la Molienda, también se descartó ya que de ésta depende en gran parte las propiedades de la masa; experimentalmente se observó una mala incorporación del material, afectando las propiedades de la masa.

Se eligió como la operación más adecuada para la adición de la médula de bagazo, el amasado; es decir la operación siguiente a la Nixtamalización y Molienda. En la operación del amasado la médula no se ve sometida a tratamiento alcalino drástico que es la Nixtamalización, experimentalmente se observó una buena incorporación de la médula a la masa durante el amasado.

IV. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA MASA

Con las condiciones de Nixtamalización que se delimitaron en el punto anterior, se preparó la masa, cuyas propiedades fueron evaluadas subjetivamente. Se evaluó la facilidad de amasado y el hojuelado (o moldeado de la tortilla); en ambos casos no se presentó ninguna dificultad. La masa resultó con las características propias para la elaboración de la tortilla.

La absorción de agua y la gelatinización parcial del almidón del nixtamal, están directamente relacionadas con las propiedades de la masa y son una medida indirecta de éstas. Incrementos en el tiempo de cocción, en la temperatura, concentración de álcali y en el tiempo de maceración producen masa de menor consistencia (9).

La masa es una mezcla de gránulos de almidón gelatinizados y parcialmente gelatinizados, obtenidos de la cocción. La molienda, distribuye el almidón a través de células parcialmente hidratadas de endospermo en el centro del grano; esta combinación de cocción y acción mecánica produce la masa. Por lo tanto, el nixtamal sin cocimiento óptimo, no tiene suficientes gránulos de almidón gelatinizado, para permitir una masa de estructura propia; por el contrario, demasiados gránulos de almidón gelatinizados por encima de un cocimiento óptimo, producirán una masa demasiado pegajosa para su manejo (28, 35).

Es decir, que necesariamente el óptimo contenido de humedad en el nixtamal, proporciona una masa de excelentes propiedades.

En la segunda parte de este experimento, se adicionó la médula de bagazo en los niveles establecidos; el cambio más notable en este caso es en cuanto a color, se desarrolló un cambio de amarillo fuerte (color característico de la masa) a café oscuro; este cambio es debido a que la médula absorbe humedad de la masa, adquiriendo un color café oscuro que determina el color final de la masa. Es decir, que la adición de la médula tiene una influencia directa sobre el color de la masa.

Con la adición de médula, la masa no perdió sus características de consistencia, por lo que siguió conservando la elasticidad y cohesividad necesarias para la elaboración de las tortillas. La consistencia propia de la masa no se vio afectada en ningún caso, ya que la adición de la médula es posterior a la Nixtamalización y la Molienda, que son las operaciones que delimitan el desarrollo de las propiedades de la masa.

V. ANALISIS DE FIBRA EN LAS TORTILLAS

Los análisis de fibra dietética se realizaron con los Métodos de Van Soest y colaboradores. Los resultados se esquematizan en el Cuadro 3.6.

Según se aprecia en la Figura 3.5 las fracciones de fibra aumentan proporcionalmente con la adición de médula de bagazo; el incremento de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido es directamente proporcional, de ahí que el aumento de fibra dietética también siga una correlación lineal.

El valor reportado por Reinhold et al (1979) es de 10.35 % de fibra dietética (base seca), experimentalmente en el laboratorio el resultado fué de 11.672 % (base seca), lo que significa que los análisis de Van Soest y colaboradores, representan una muy buena aproximación del valor de fibra dietética.

El nivel de inclusión B (0.962 % de inclusión de médula de bagazo), dió un valor de 20.98 % de fibra dietética (base seca), considerando un consumo de 11 tortillas/día y una humedad de 46 %, significa un total de 37.38 g fibra dietética/día, un valor cercano a los 40 g establecidos en los requerimientos. Sin embargo, este consumo per cápita de tortilla, es muy general y existen sectores de la población donde es mucho menor, y es precisamente a éstos a donde está dirigida la elaboración de la tortilla con inclusión de médula. El nivel de inclusión E (3.849 %) alcanzó un valor de 46.66 % de fibra dietética (base seca) suponiendo un consumo per cápita de 5.5 tortillas/día, brindaría un total de 41 g de fibra dietética/día, suficientes para cumplir los requerimientos.

CUADRO 3.6 ANALISIS DE LAS FRACCIONES DE FIBRA EN LAS TORTILLAS

PORCENTAJE EN PESO DE FIBRA (BASE SECA) *			
NIVEL DE INCLUSION	FIBRA DETERGENTE ACIDO	FIBRA DETERGENTE NEUTRO	FIBRA DIETETICA
A	5.594	8.631	11.668
B	6.746	13.863	20.980
C	7.645	19.046	30.447
D	10.234	24.320	38.406
E	12.453	29.561	46.669

* PROMEDIOS DE QUINTUPLICADOS

Análisis realizados por el Metodo de Van Soest y colaboradores.

FIBRA DIETETICA = celulosa + hemicelulosa + lignina

ANÁLISIS DE FIBRA EN LAS TORTILLAS

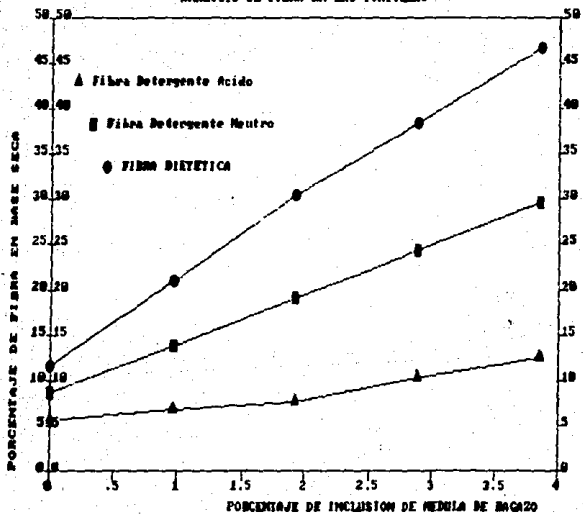


Figura 3.5

Es importante aclarar aquí, que la cantidad de fibra dietética revelada por el análisis, supera el balance teórico realizado en el principio del trabajo, esto es debido a que durante la cocción de la tortilla se da una caramelización de carbohidratos (Reacción de Maillard) y los compuestos originados por esta reacción también integran el complejo fibra dietética.

VI. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO GASTROINTESTINAL CON RATAS

Los resultados de la experimentación se muestran en los Cuadros 3.7 y 3.8 más claramente en las Figuras 3.6 y 3.7, donde es fácil apreciar la influencia de la adición de médula de bagazo a la tortilla, sobre el peso seco de materia fecal y el tiempo de tránsito gastrointestinal de los animales de experimentación.

La adición de médula de bagazo aumenta el peso seco de materia fecal de los animales de experimentación, siguiendo la misma tendencia en los dos casos: machos y hembras. Analizando primero el caso de los machos, el peso de materia fecal aumentó de un valor inicial de 19.44 g, hasta uno final de 41.79 g; para el caso de las hembras, el aumento fué de 12.06 a 34.28, un valor casi equivalente al triple. Lo que significa que la médula arrastró aproximadamente 22.29 g de materia fecal contenida en el intestino. En la Figura 3.8, se han representado los valores promedios de materia fecal arrastrada por la médula, para ejemplificar más claramente lo anterior.

Ligado al aumento en el peso de la materia fecal, el tiempo de tránsito gastrointestinal se vió reducido, hasta un valor entre 5 a 8 horas, para el nivel de inclusión máximo; considerando las mismas condiciones de alimentación y la misma materia fecal de referencia.

El análisis estadístico realizado para el diseño factorial se presenta en los Cuadros 3.9 y 3.10, el cual demostró que las diferencias en los niveles de inclusión son significativas, es decir, la adición de médula de bagazo tiene una influencia directa sobre el comportamiento gastrointestinal de los animales. El análisis reveló, que no existe interacción entre la adición de médula y el sexo (hembras y machos), independientemente de que existen diferencias en cuanto a los valores de ambos, el comportamiento es exactamente el mismo.

Durante el transcurso de la experimentación, la aceptación de los animales a las croquetas adicionadas con médula, fué bastante buena en todos los casos, realmente se pudo considerar exactamente igual a la aceptación de las croquetas del nivel A ó Testigo. La aceptación de las croquetas adicionadas de médula por los animales indicó la palatabilidad de éstas, que en general fué buena.

Se realizó la disección de 4 animales machos elegidos al azar, 2 del nivel de inclusión A (Testigo = 0 % de inclusión de médula) y 2 del nivel E (3.849 %); para observar estómago e intestinos.

CUADRO 3.7 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO GASTROINTESTINAL DE RATAS ALIMENTADAS CON LAS TORTILLAS CON INCLUSION DE MEDULA

PESO SECO MATERIA FECAL g / JAULA MUESTREO						
SEXO		NIVEL DE INCLUSION DE MEDULA (%)				
		0	0.962	1.925	2.880	3.849
MACHOS	PROM	19.44	21.76	24.65	32.25	41.79
	DS	4.44	3.35	2.27	2.86	4.49
	VAR	19.71	14.74	5.15	8.18	20.16
HEMRAS	PROM	12.06	15.85	20.15	30.47	34.28
	DS	3.91	2.53	4.12	4.30	2.07
	VAR	15.28	6.40	16.97	18.49	4.28

Número de repeticiones : 10

PROM : Promedio aritmetico

DS : Desviación estándar

VAR : Varianza

No. de animales de experimentación por jaula : 2

Ración diaria de alimentación : 25 g/animal

CUADRO 3.8 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO GASTROINTESTINAL DE RATAS ALIMENTADAS CON LAS TORTILLAS CON INCLUSION DE MEDULA

TIEMPO DE TRANSITO GASTROINTESTINAL DE RATAS (horas)						
SEXO		NIVEL DE INCLUSION DE MEDULA (%)				
		0	0.962	1.925	2.890	3.849
MACHOS	PRDM	13.58	11.84	10.26	7.84	6.07
	DS	2.89	2.09	0.95	0.74	0.71
	VAR	8.39	4.39	0.91	0.55	0.51
HEMRAS	PRDM	23.07	16.23	12.97	8.37	7.34
	DS	7.21	2.64	2.72	1.00	0.47
	VAR	51.99	6.96	7.38	1.00	0.23

Número de repeticiones : 10

PRDM : Promedio aritmetico

DS : Desviación estándar

VAR : Varianza

No. animales de experimentación por jaula : 2

Materia fecal de referencia : 10.45 g

Ración diaria de alimentación : 25 g/animal

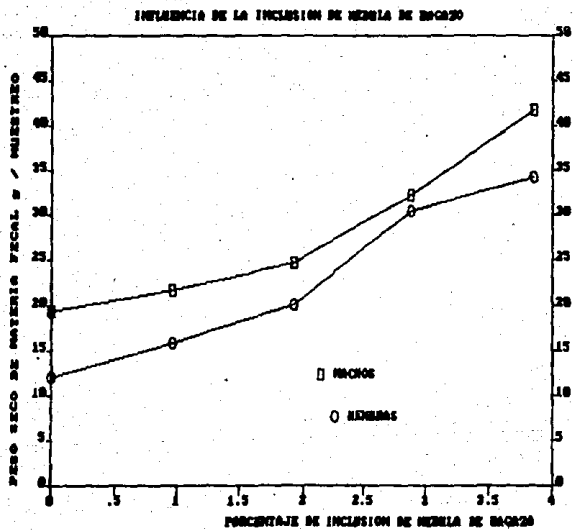


Figura 3.6

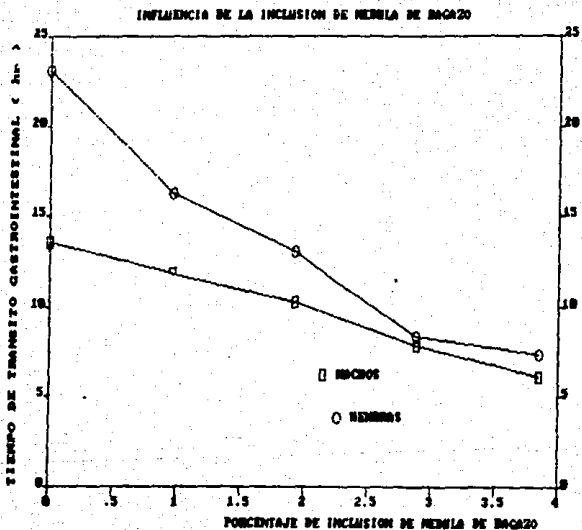


Figura 3.7

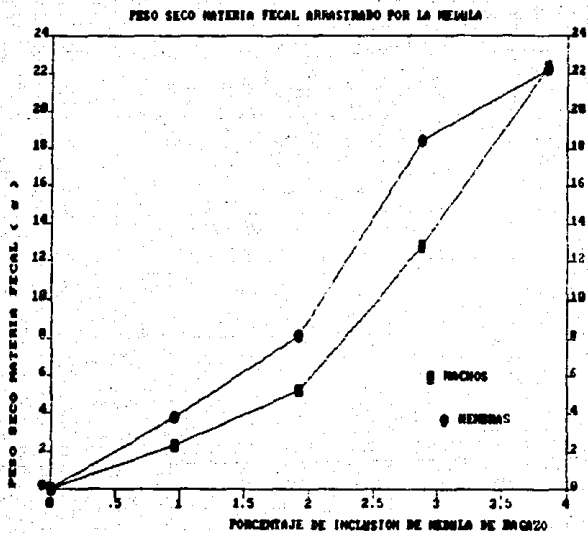


Figura 3.8

**ANALISIS DE VARIANZA PARA UN EXPERIMENTO
COMPLETAMENTE ALEATORIO DE 2 FACTORES
MODELO DE EFECTOS FIJOS
DISEÑO FACTORIAL**

CUADRO 3.9

PESO SECO MATERIA FECAL / MUESTRO					
FUENTE	S.C.	g.l.	M.C.	Fc	F
Sexo	743.04	1	743.04	53.06	*
Nivel de inclusión de medula	6815.90	4	1703.98	121.67	*
Interacción	103.92	4	25.98	1.86	**
Tratamiento	7662.40	9			
Residual	1260.40	90	14.00		
Total	8923.27	99			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

** DIFERENCIA NO SIGNIFICATIVA

$\alpha = 0.05$

**ANALISIS DE VARIANZA PARA UN EXPERIMENTO
COMPLETAMENTE ALEATORIO DE 2 FACTORES
MODELO DE EFECTOS FIJOS
DISEÑO FACTORIAL**

CUADRO 3.10

TIEMPO DE TRANSITO GASTROINTESTINAL DE RATAS					
FUENTE	S.C.	g.l.	M.C.	Fc	F
Sexo	340.40	1	340.40	37.20	*
Nivel de inclusión de medula	1740.52	4	435.13	47.56	*
Interacción	256.42	4	64.10	7.01	*
Tratamiento	2337.33	9			
Residual	823.46	90	9.15		
Total	3160.79	99			

* DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

$\alpha = 0.05$

El resultado fué el siguiente: para el primer caso, se observó un estómago completamente saturado, el intestino delgado de un color café y con algunas protuberancias que indicaban la presencia de materia fecal. En el segundo caso se observó claramente un estómago vacío, y el intestino delgado sin protuberancias y de un color rojizo intenso.

Esto significa que el animal alimentado con croquetas correspondientes al nivel E, había terminado su ciclo de digestión; a diferencia del animal correspondiente al nivel A, en donde se apreció claramente que el estómago aun contenía el alimento y que la digestión aún estaba muy lejos de terminar, en el momento del sacrificio, que desde luego fué realizado calculando el tiempo en el cual finalizara el ciclo de digestión del animal; esto con la finalidad de demostrar las propiedades de la médula de bagazo como fibra dietética.

Los resultados de esta parte de la experimentación mostraron, que la médula de bagazo de caña, presentó propiedades de fibra dietética, según se demostró con los animales (Rata albina); dichos animales son no ruminantes, por lo que los resultados pueden extrapolarse para los humanos, cuyo comportamiento gastrointestinal es el mismo.

Finalmente, se realizaron los análisis de fibra en la materia fecal, se recolectó específicamente de los animales machos, una vez que estadísticamente se demostró, que la inclusión de médula no influye sobre el sexo. En la Figura 3.9 se muestran los valores obtenidos de fibra en la materia fecal, y la tendencia que sigue hasta el valor máximo. De aquí se puede observar, que el aumento de fibra, sigue una correlación lineal, es decir, que es directamente proporcional a la inclusión de médula de bagazo.

Bajo las mismas condiciones de alimentación, las fracciones de fibra encontradas en la materia fecal, tienen un aumento significativo. La médula de bagazo realmente actuó como fibra dietética en el tractogastrointestinal del animal arrastrando todos los desechos fecales, de ahí que la cantidad de fibra dietética en la materia fecal de animales alimentados con tortillas con inclusión de médula, sea mucho mayor que el testigo.

VII. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES ORGANOLEPTICAS DE LAS TORTILLAS

La evaluación de las propiedades organolépticas, se realizó mediante pruebas panel Tipo Escala Hedónica, con panelistas elegidos al azar. El Análisis Estadístico realizado fue Analisis de Varianza con prueba de "T" de Student, para comparación entre promedios.

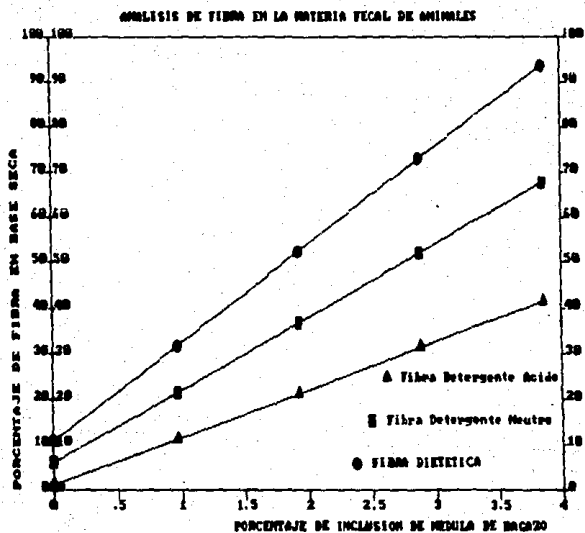


Figura 3.9

Según expresaron los panelistas, la propiedad organoléptica que en mayor parte se ve afectada, es el color. El cambio de color va de amarillo claro a café oscuro con un tono verdoso, este cambio se debe también a una caramelización de los carbohidratos (Reacción de Maillard). El cambio de color es estadísticamente significativo en todos los casos, comparándose con el Testigo.

El olor no cambia significativamente, se mantiene el característico de la tortilla, la médula de bagazo no le imprime ningún olor en especial; la mayoría de los panelistas expresaron que el olor de las tortillas era agradable.

El sabor, es la propiedad organoléptica desde luego más importante, de esta depende la aceptabilidad de las tortillas. En este caso, existió diferencia estadísticamente significativa entre el Testigo y todos los niveles de inclusión. Comparando la respuesta entre los niveles de inclusión, se encontró que en los niveles D y E los panelistas ya no registraron diferencias en el sabor. En todos los casos, fue considerado como aceptable.

En cuanto a la textura de la tortilla, en la prueba de enrollamiento el 60 % de los panelistas contestaron afirmativamente, que en todos los niveles de inclusión la tortilla tiene las propiedades de enrollamiento características.

En general, las pruebas panel indicaron, que la propiedad organoléptica más determinante en la aceptabilidad de las tortillas es el color, y que las tortillas adicionadas de médula tienen un sabor aceptable y característico.

A partir del nivel de inclusión D, las propiedades organolépticas no se ven afectadas tan drásticamente, los panelistas no fueron capaces de registrar diferencias en las propiedades en los últimos niveles de inclusión, pues en ningún caso se encontró diferencia estadísticamente significativa.

En las Figuras 3.10 a 3.14 se muestran un Diagrama de Barras de las frecuencias de respuestas entre los panelistas, de esta manera se ejemplifica más claramente la aceptación de las tortillas.

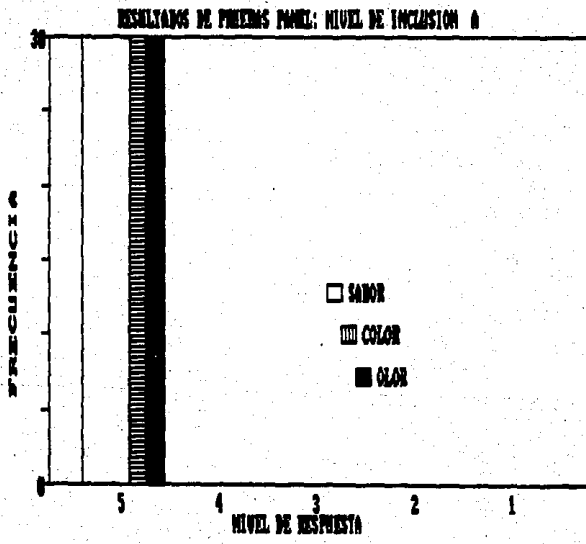


Figura 3.10

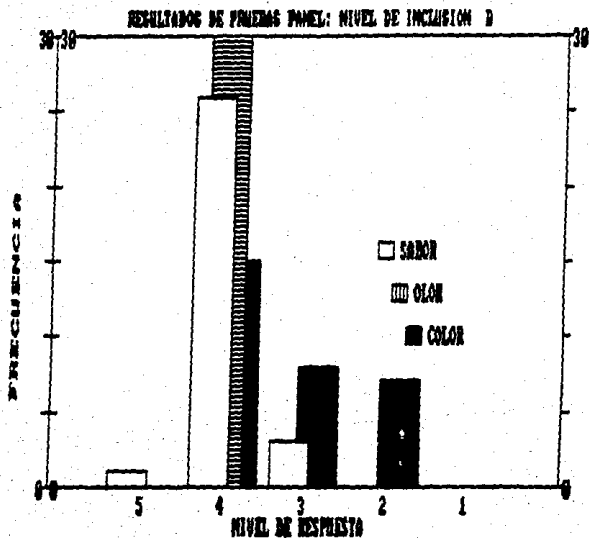


Figura 3.11

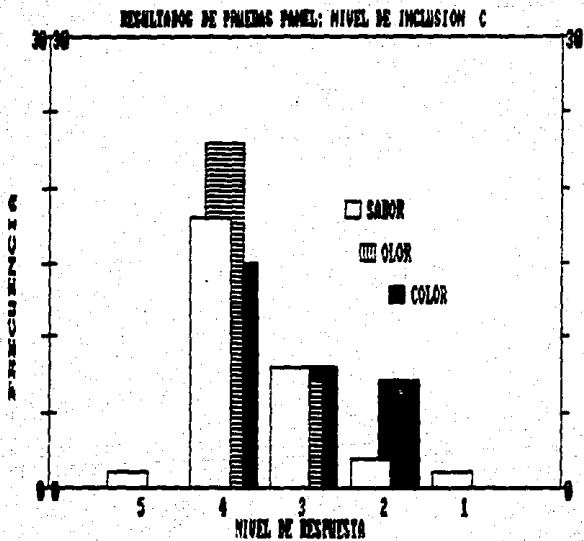


Figura 3.12

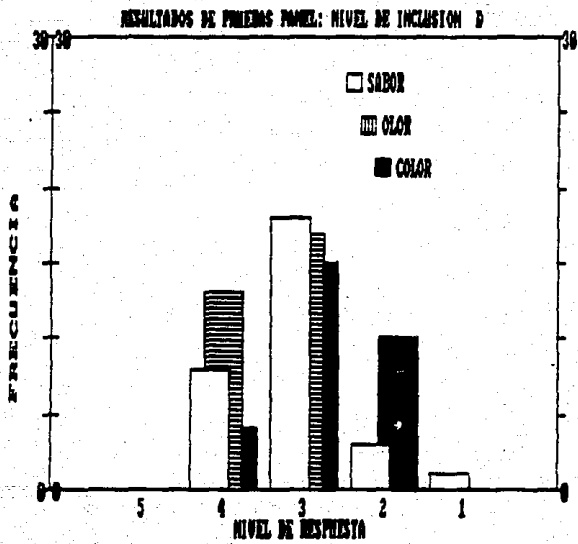


Figura 3.13

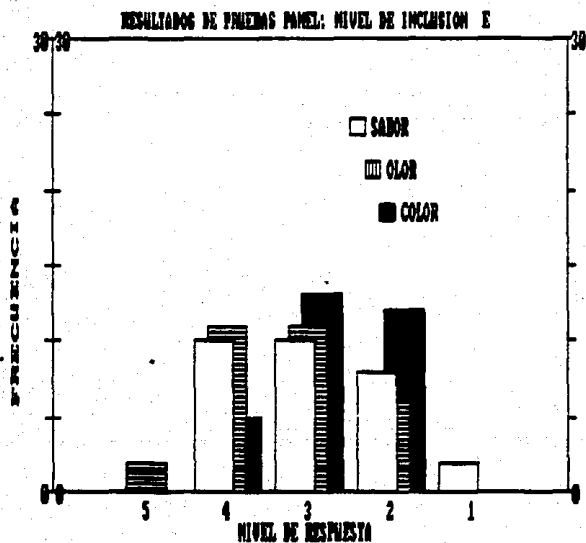


Figura 3.14

CAPITULO CUATRO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- * La inclusión de médula de bagazo aumenta proporcionalmente el contenido de fibra dietética en la tortilla de maíz.
- * El análisis de fibra dietética, cuantificada por los Métodos de Van Soest y colaboradores como fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, representa una alternativa importante para la determinación de fibra dietética en alimentos.
- * El tiempo de cocción y la relación grano:agua son factores que influyen directamente sobre la calidad y rendimiento del nixtamal.
- * En el proceso de elaboración de tortillas, la operación más adecuada para la inclusión de médula de bagazo es el amasado.
- * La inclusión de médula de bagazo a la masa para elaboración de tortillas en los niveles planteados, tiene una influencia directa sobre el color, sin alterar sus propiedades de consistencia.
- * La médula de bagazo incorporada a la tortilla como fibra dietética, no altera significativamente las propiedades organolépticas de ésta, a excepción del color que cambia a café oscuro.
- * La elaboración de la tortilla con inclusión de médula de bagazo, cumple los objetivos de aumentar el contenido de fibra dietética en la dieta del mexicano, para alcanzar los requerimientos establecidos.
- * La médula de bagazo de caña presentó las propiedades y efectos característicos de la fibra dietética en el tracto gastrointestinal de animales de laboratorio (Rata albina raza Winstar), por lo que puede considerarse como FIBRA DIETETICA.

II. RECOMENDACIONES

- * Realizar un estudio más a fondo respecto a los análisis de fibra dietética por los Métodos de Van Soest y de fibra cruda por el Método de Wende, de manera de realizar una comparación estadística entre los métodos, para poder establecer las diferencias implícitas en los análisis.
- * Ampliar el estudio de médula de bagazo como fuente de fibra dietética a otros forrajes toscos, como el rastrojo de maíz, paja de trigo, paja de sorgo, etc. cuya composición como desechos lignocelulósicos es similar.
- * Proponer otros alimentos que puedan servir como vehículo de fibra dietética, en donde se pueda enmascarar el cambio de color que ocasiona la inclusión de médula en la tortilla.
- * Realizar un estudio económico para evaluar la rentabilidad del proceso de elaboración de tortillas con inclusión de médula de bagazo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Amin M. B., A. G. Maodhah y M. Usmani M. 1985. "Chemistry and applications of bagasse". American Chemical Society Division: Polymeric Materials Science and Engineering. 52:44-48.
- 2.- Anon. 1975. "Fiber a new nutritional ingredient". Food Processing. 36(1):24-26.
- 3.- Asp N. G. 1983. "What is dietary fiber?". In focus: The Tecator Journal of Technology for Chemical Analysis". 6(2):4-7.
- 4.- Baez M. F. 1982. "Fibra vegetal en la dieta". Revista de Tecnología de Alimentos. 17(5):22-23.
- 5.- Baker D. 1977. "Determining fiber in cereals". Cereal Chemistry. 54(2):360-365.
- 6.- Bazúa C. D. 1988. "Extrusión de mezclas de maíz y sorgo: condiciones óptimas de proceso empleando como parámetro de evaluación las características sensoriales de tortillas elaboradas con dichas harinas". Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. Año XXX 1:6-11.
- 7.- Bazúa C. D. y R. Guerra-Vargas. 1980. "Los centros de investigación y educación superior en el desarrollo de agroindustrias II: Nuevos productos agrícolas procesados". Revista de Tecnología de Alimentos. 15(6):4-16.
- 8.- Bazúa C. D., R. Guerra-Vargas y H. Sterner. 1979. "Extruded corn flour as an alternative to lime-heated corn flour tortilla preparation". Journal of Food Science. 44(3):940-941.
- 9.- Bedolla M. G., y L. W. Rooney. 1982. "Cooking maize for masa production". Cereal Foods World. 27(5):219-221.
- 10.- Bedolla M. G., L. W. Rooney, K.C. Diehl y N.M. Khan. 1983. "Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods". Cereal Chemistry. 60(4):263-268.
- 11.- Berry C. S., T. Fearn, N. Fisher. 1984. "Dietary fiber and prevention of diverticular disease of colon: evidence from rats". Lancet. 4:294.
- 12.- Capparelli E. y L. Mata. 1975. "Microflora of maize prepared as tortillas". Applied Microbiology. 29(6):802-806.

- 13.- Choto C. E., M. M. Morad y L. W. Rooney. 1985. "The quality of tortillas containing whole sorghum and pearled sorghum alone and blended with yellow maize". *Cereal Chemistry*. 62(1):51-55.
- 14.- Cornu A. y F. Delpeuch. 1981. "Effect of fiber in sorghum on nitrogen digestibility". *American Journal of Clinical Nutrition*. 34:2454-2459.
- 15.- Desroisier N. W. 1983. "Elementos de Tecnología de Alimentos". Trad. Sangines de Salinas C. C.E.C.S.A. México D.F. pp. 117-129.
- 16.- Fisher N., C. S. Berry y T. Fearn. 1985. "Cereal dietary fiber consumption and diverticular disease: a lifespan study in rats". *American Journal of Clinical Nutrition*. 42:788-804.
- 17.- Flemming L. L., D. Ed y M. H. Flech. 1986. "Digestion and absorption of fiber carbohydrate in the colon". *American Journal of Gastroenterology*. 81(7):507-510.
- 18.- Fragoso M. V. 1984. "Aumento en la digestibilidad de médula de bagazo de caña por tratamiento con amoníaco anhidro e hidróxido de amonio". Tesis Profesional. Universidad Lasalle.
- 19.- García-López y J. Wyatt. 1982. "Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability". *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 30:724-727.
- 20.- Haber A. y R. P. Runyon. 1986. "Estadística General". Trad. Lassala-Maza R. Addison-Wesley. Ed. Iberoamericana. México D.F. pp. 246-255.
- 21.- Heaton K. W. 1979. "Dietary fibers: current development of importance to health". Technomic Publishing Company C.N.C. Gran Bretaña. pp. 1-34, 63-2, 129-139.
- 22.- Institute of Food Technologist. 1979. "Dietary fiber ". *Food Technology*. 31(1):35-39.
- 23.- Johnson E. J. y J. A. Marlett. 1986. " A simple method to estimate neutral detergent fiber content of typical daily menus". *American Journal of Clinical Nutrition*. 44:127-134.
- 24.- Johnson B. A., L. W. Rooney y M. N. Khan. 1980. "Tortilla - making characteristics of micromized sorghum corn flours". *Journal of Food Science*. 45:671-674.
- 25.- Katz S. H., M. L. Hediger y L. A. Valleroy. 1974. "Traditional maize processing techniques in the New World". *Science* 184:765-773.

- 26.- Kaufer Horwitz M. 1985. "La fibra y su aporte a la salud". Cuadernos de Nutrición. 8(5):17-32.
- 27.- Kelsay J. L. y W. MacClark. 1984. "Fiber intakes, stool frequency and stool weights of subjects consuming self-selected diets". American Journal of Clinical Nutrition. 40:1357-1360.
- 28.- Khan M. N., M. C. Desroisier y L. W. Rooney. 1982. "Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures". Cereal Chemistry. 59(4):279-284.
- 29.- Little A. C. y L. Brinner. 1977. "Factors affecting color and appearance of corn tortillas". Journal Food Quality. 1:144-146.
- 30.- Leveille G. A. 1976. "Dietary fiber". Cereal Foods World. 21(6):255-258.
- 31.- Loehr R. C. 1982. "Utilization of agricultural and agro-industrial residues, concepts and principles". U.N.E.P. Industry and Environment. pp.2-3.
- 32.- Marlett J. A. y J. G. Chesters. 1985. "Measuring dietary fiber in human foods". Journal of Food Science. 50:410-413.
- 33.- Marlett J. A. y L. Sungsooc. 1980. "Dietary fiber, lignocellulose and hemicellulose contents of selected foods determined by modified and unmodified Van Soest procedures". Journal of Food Science. 45:1688-1693.
- 34.- Martínez-Herrera M. L. y P. A. Lachance. 1979. "Corn kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation". Journal of Food Science. 44(2):377-380.
- 35.- Morad M. M., F. Y. Iskander y L. W. Rooney. 1986. "Physico-chemical properties of alkali cooked corn using traditional and presoaking procedures". Cereal Chemistry. 63(3):255-259.
- 36.- Müller H. G. 1973. "Introducción a la Reología de los Alimentos". Trad. Burgos-González J. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 119-131.
- 37.- Ortega E. I., E. Villegas y S. Vasal. 1986. "A comparative study of protein changes in normal quality protein maize during tortilla making" Cereal Chemistry. 63(5):446-451.
- 38.- Paredes-López O. y R. Mora-Escobedo. 1983. "Influence of storage on the quality of the maize meal for tortilla making" Journal Food Technology. 18:53-60.

- 39.- Paredes-López O. y M. E. Saharopoulos-Paredes. 1983. "Maize: A review of tortilla production technology". *Bakers Digest*. 13:16-25.
- 40.- Peláez J. y K. Marcus. 1980. "Development and stability of intermediate moisture tortillas". *Journal Food Processing and Preservation*. 4:51-65.
- 41.- Pérez de Gallo. 1984. "Fibra dietética o residuo intestinal". *Cuadernos de Nutrición*. 7(4): 44-46.
- 42.- Ranhotra G., J. Gelroth, F. Novak y F. Bohannon. 1984. "Proximate components in selected variety breads commercially produced in major U.S. cities". *Journal of Food Science*. 49:642-644.
- 43.- Rasper V. F. 1979. "Chemical and physical properties of dietary cereal fiber". *Food Technology*. 33(1):40-44.
- 44.- Reinhold J. G. y L. S. García. 1979. "Fiber of the maize tortilla". *American Journal of Clinical Nutrition*. 32:1326-1329.
- 45.- Rivera-Brechú M. E. y R. A. Torreblanca. 1986. "Calidad del maíz que se utiliza en los molinos del Distrito Federal". *Cuadernos de Investigación*. Universidad Iberoamericana. 1(1):36-46.
- 46.- Saldana G. y H. E. Brown. 1984. "Nutritional composition of corn and flour tortillas". *Journal of Food Science*. 49:1202-1203.
- 47.- Sanderson J., J. S. Wall, G. L. Donaldson y F. Cavins. 1978. "Effect of alkaline processing of corn on its aminoacids". *Cereal Chemistry*. 55(2):204-213.
- 48.- Schaller D. R. 1978. "Fiber content and structure in foods". *American Journal of Clinical Nutrition*. 31:599-6102.
- 49.- Sears W. G. y Wiwood R. S. 1977. "Anatomía y Fisiología". Trad. Suñer P.S. Salvat Editores. Barcelona, España. pp. 223-265.
- 50.- Selkurt E. E. 1971. "Fisiología". Trad. Galli C. Editorial "El Ateneo". Segunda edición. Buenos Aires, Argentina. pp. 567-597.
- 51.- Serban G. 1973. "Nutritional and mental functions". Plenum Press. Nueva York, Estados Unidos. pp. 127-191.

- 52.- Slavín J. L., C. T. Sempos, P. W. Brauer y J. A. Marlett. 1981. "Limits of predicting gastrointestinal transit time from others measures of bowel function". *American Journal of Clinical Nutrition*. 34:2111-2116.
- 53.- Southgate D. A. T., B. Bailey, E. Collinson y F. Walker. 1976. "A guide to calculating intakes of dietary fiber". *Journal of Human Nutrition*. 30:303-313.
- 54.- Stephen A. M. 1981. "Should we eat more fiber?". *Journal of Human Nutrition*. 35:403-414.
- 55.- Tedaldi J. S. 1981. "El maíz en México: su pasado, presente y futuro". S.A.R.H. México D.F. pp. 1-4.
- 56.- Trejo-González A., A. Feria-Morales y C. Wild-Altamirano. 1982. "The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation". *Advances in Chemistry Series*. 178:245-265.
- 57.- Trejo González A., L. Galvez Carrillo y C. Grajeda. 1987. "Estudio de algunos cambios fisicoquímicos de cereales y leguminosas sujetos a tratamientos térmicos alcalinos". Conferencia Congreso Asociación de Tecnólogos en Alimentos. México D.F.
- 58.- Trowell. 1976. "Definition of dietary fiber and hypothesis that is a protective factor in certain diseases". *American Journal of Clinical Nutrition*. 29:417-427.
- 59.- Van Soest y Peter. 1963. "Use of detergents in Analysis of fibrous feeds I: Preparation of fiber residues of low nitrogen content". *Journal Association Official Agricultural Chemistry*. 46:825-829.
- 60.- Van Soest. 1963. "Use of detergents in analysis of fibrous feeds II: A rapid method for determination of fiber and lignin". *Journal Association Official Agricultural Chemistry*. 46:829-825.
- 61.- Van Soest. 1966. "Non nutritive residues". *Journal Association Official Agricultural Chemistry*. 49:546-551.
- 62.- Van Soest y R. H. Wine. 1967. "Use of detergents in analysis of fibrous feeds IV: Determination of plant cell wall constituents". *Journal Association Official Agricultural Chemistry*. 50:50-55.
- 63.- Wayne W. Daniel. 1983. "Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud". Ed. Limusa. México D.F. pp. 222-230.

- 64.- Wenlock R. W., L. M. Sivell y I. B. Agater. 1985. "Dietary fiber fractions in cereal and cereal-containing products in Britain". *Journal Science of Food and Agriculture*. 36(2):113-121.
- 65.- Yuh-Yun D. W. y M. L. Field. 1978. "Enrichment of home prepared tortillas made from germinated corn". *Journal of Food Science*. 43(5):1630-1631.

A P E N D I C E

DETERMINACION DE HUMEDAD

Fundamento

La determinación de humedad se basa en la evaporación total del agua libre del alimento por acción de la temperatura.

Material y Equipo

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Crisoles de porcelana
- Pinzas para crisol
- Desecador
- Estufa

Procedimiento

- 1.- Colocar de 2 a 3 gramos de la muestra en un crisol de porcelana (previamente puesto a peso constante),
- 2.- Secar en estufa a una temperatura de 100 a 110 ° C, durante 3 horas,
- 3.- Sacar de la estufa el crisol y colocar en desecador hasta que se enfríe,
- 4.- Pesar en balanza analítica y volver a meter a la estufa con el objeto de poner a peso constante,
- 5.- Determinar el porcentaje de humedad usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{muestra húmeda} - \text{muestra seca}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

DETERMINACION DE CENIZAS

Fundamento

La determinación de cenizas se basa en someter a la muestra de alimento a una combustión entre 550 y 600 ° C. La materia orgánica es oxidada, y al residuo que contiene la materia mineral, se le llama cenizas, es decir, la materia inorgánica del alimento.

Material y Equipo

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Crisoles de porcelana
- Pinzas para crisol
- Desecador
- Mechero de bunsen
- Estufa
- Mufia

Procedimiento

- 1.- Colocar de 2 a 3 gramos de la muestra, en un crisol de porcelana (previamente puesto a peso constante),
- 2.- Carbonizar la muestra lentamente con un mechero, hasta observar que cesa el desprendimiento de humo,
- 3.- Calcinar en la mufia a una temperatura de 500 a 550 ° C,
- 4.- Cuando las cenizas se ponen blancas o grises, sacar el crisol de la mufia, pasándolo a una estufa @ 100 ° C,
- 5.- Pasar el crisol al desecador y dejar enfriar,
- 6.- Pesar el crisol en Balanza Analítica, volviendo de nuevo a la mufia, para poner la muestra a peso constante.
- 7.- Determinar el porcentaje de cenizas usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{g de muestra calcinada}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

DETERMINACION DE GRASA CRUDA

Sohxtec Automatizado Tecator System (Método Soxhlet tradicional)

Fundamento

La determinación de grasa cruda, se basa en la extracción continua mediante calor, de todas las sustancias solubles en solventes provenientes de una muestra seca.

Material y Equipo

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Unidad de Calentamiento 1046
- Unidad de Extracción 1045
- Vasos de Aluminio
- Estufa
- Desecador
- Cartuchos de celulosa
- Pinzas para crisol

Reactivos

- Hexano

Procedimiento

- 1.- En un cartucho de celulosa, colocar 5 g de muestra,
- 2.- Poner a peso constante el vaso de aluminio, transferir a éste 50 ml de hexano,
- 3.- Programar la Unidad de Calentamiento según la temperatura de ebullición del solvente,
- 4.- Colocar el cartucho y el vaso de aluminio con hexano en la Unidad de Extracción,
- 5.- Dejar en reflujo 30 minutos y evaporar el solvente,
- 6.- Pasar el vaso a la estufa para evaporar residuos del solvente,
- 7.- Enfriar el vaso en desecador y pesar en balanza analítica,
- 8.- Determinar el porcentaje de grasa cruda usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{(\text{Peso del vaso} + \text{residuo}) - \text{Peso del vaso}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

DETERMINACION DE FIBRA CRUDA (Método Oficial o de Wende)

Fundamento

La determinación de fibra cruda se basa en la secuencial digestión en caliente del alimento, con una solución ácida y posteriormente una alcalina. El residuo de estas digestiones se incinera y se calcula el porcentaje como fibra cruda.

Material y Equipo

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Sistema de reflujo para digestión (Matraz de bola y refrigerante)
- Parrilla de calentamiento
- Embudos de cristal
- Papel filtro Whatman No. 1
- Crisoles de vidrio con filtro de poro grueso
- Pinzas para crisol
- Sistema para filtrar con vacío
- Estufa
- Mufla

Reactivos

- Acido sulfúrico 0.255 N (recién valorado)
- Hidróxido de sodio 0.313 N (recién valorado)
- Anaranjado de metilo al 0.1 % en etanol
- Fenoftaleína al 0.1 % en etanol
- Agua destilada

Procedimiento

- 1.- Pesar 2 g de muestra previamente desengrasada, transferirlos al matraz de bola (250 ml capacidad),
- 2.- Añadir al matraz 200 ml de ácido sulfúrico 0.255 N,
- 3.- Colocar el matraz con el refrigerante sobre la parrilla de calentamiento y dejar en reflujo 30 minutos,
- 4.- Transferir a un embudo con papel filtro y enjuagar con agua destilada hirviendo por lo menos tres veces, hasta que el agua de lavado no de reacción ácida con anaranjado de metilo.
- 5.- Desprender el residuo del papel filtro con 200 ml de hidróxido de sodio 0.313 N y transferir nuevamente al matraz de bola,
- 6.- Colocar en reflujo nuevamente por 30 minutos,
- 7.- Filtrar con vacío utilizando los crisoles de vidrio (previamente puestos a peso constante), enjuagando con agua destilada hirviendo hasta que el agua de lavado no de reacción alcalina con fenoftaleína.
- 8.- Secar el crisol en estufa @ 100 ° C, enfriar en desecador y pesar,
- 9.- Calcinar la muestra en la mufla @ 500 ° C (aproximadamente 2 horas); al cabo de este tiempo, introducir de nuevo el crisol a la estufa, después al desecador y pesar,
- 10.- Colocar el crisol en la mufla, hasta obtener un peso constante,
- 11.- Determinar el porcentaje de fibra cruda usando la siguiente fórmula:

$$\text{Fibra Cruda} = \frac{(\text{Crisol} + \text{fibra} + \text{mat.inorgánica}) - (\text{Crisol} + \text{cenizas})}{(\text{g muestra desengrasada})}$$

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \text{Fibra Cruda} \times 100$$

DETERMINACION DE PROTEINA

Kjeltec Automatizado Tecator System (Método de Kjeldahl)

Fundamento

La determinación de proteína por nitrógeno total, se basa en 3 etapas:

Digestión
Destilación
Titulación

Digestión: el calentamiento de la muestra en ácido sulfúrico concentrado, convierte el nitrógeno orgánico e inorgánico que ésta contiene a sulfato de amonio. La adición de una sal (como sulfato de potasio), aumenta el punto de ebullición del ácido sulfúrico; y un catalizador (como selenio), permite acortar el tiempo de la digestión.

Destilación: se lleva a cabo en medio alcalino, destilando el amonio en una solución de ácido bórico.

Titulación: el amonio se titula con ácido clorhídrico valorado, utilizando un indicador adecuado, para calcular el contenido de nitrógeno total.

Material y Equipo

- Balanza Analítica (Mettler AE 160)
- Kjeltec Auto-Analyzer 1030
- Unidad de digestión 1015
- Trampa de vapores
- Tubos de vidrio para digestión

Reactivos

- Kjeltabs (3.5 g sulfato de potasio y 0.0035 g de selenio / tableta)
- Ácido sulfúrico concentrado
- Hidróxido de sodio al 5 %
- Hidróxido de sodio al 4 %
- Hidróxido de sodio al 35 - 40 %
- Ácido Bórico al 1 %
- Verde de bromocresol al 0.1 % en metanol
- Rojo de metilo al 0.1% en metanol
- Ácido clorhídrico 0.1 M
- Sulfato de potasio al 0.05 %

Procedimiento

- 1.- Colocar 1 g de muestra seca y molida en un tubo de vidrio para digestión.
- 2.- Agregar 18 ml de ácido sulfúrico concentrado y 2 kjeltabs,
- 3.- Digerir durante 45 minutos; neutralizar los vapores con hidróxido de sodio al 5 % en la trampa de vapores,
- 4.- Dejar enfriar,
- 5.- Adicionar al tubo 50 mililitros de agua destilada.
- 6.- Realizar la determinación con el Kjeltec Auto-Analyzer, siguiendo las instrucciones de operación. Para cada grupo de muestras preparar un blanco.

ANALISIS ESTADISTICO

Los resultados experimentales corresponden a un Diseño Factorial completamente aleatorizado de 2 vías y efectos fijos (Wayne W. Daniel, 1983). A continuación se explica el modelo:

Se tienen a niveles del factor A, b niveles del factor B y n observaciones para cada combinación de niveles. Cada una de las ab combinaciones de los niveles de un factor A con los niveles de un factor B es un tratamiento.

El subíndice i varía desde 1 hasta a y j varía desde 1 hasta b . El número total de observaciones es nab .

1.- El modelo

El modelo de efectos fijos para el diseño completamente aleatorizado de dos factores puede escribirse como:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, n$$

donde X_{ijk} es una observación típica, μ es una constante, α representa un efecto debido al factor A, β representa un efecto debido al factor B, $(\alpha\beta)$ representa un efecto debido a la interacción de los factores A y B y ϵ_{ijk} representa un error experimental.

2.- Suposiciones

- Las observaciones de cada una de las ab celdas constituyen una muestra aleatoria de tamaño n extraída de la población definida por la combinación particular de los niveles de los factores.
- Cada una de las ab poblaciones está normalmente distribuida.
- Todas las poblaciones tienen la misma varianza.

3.- Hipótesis

Pueden probarse las siguientes hipótesis:

$$1) H_0 : \theta_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$H_A : \text{no todos los } \theta_i = 0$$

$$2) H_0 : \beta_j = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_A : \text{no todos los } \beta_j = 0$$

$$3) H_0 : (\theta\beta)_{ij} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_A : \text{no todos los } (\theta\beta)_{ij} = 0$$

4.- Decisión

Si se cumplen las suposiciones que se enuncian al principio y si cada hipótesis es verdadera, puede demostrarse que cada una de las razones de varianzas siguen una distribución F con los grados de libertad indicados.

Cuando se rechaza $H_0 : \theta_i = 0$, se concluye que existen diferencias entre los niveles de A.

De modo semejante, cuando se rechaza $H_0 : \beta_j = 0$, se concluye que existen diferencias entre los niveles de B.

Cuando se rechaza $H_0 : (\theta\beta)_{ij} = 0$, se concluye que los factores A y B se interactúan, es decir, diferentes combinaciones de los niveles de los dos factores producen efectos diferentes.

5.- La tabla de Análisis de Varianza

Los resultados de los cálculos para el Modelo de Efectos fijos para un experimento completamente aleatorizado de dos factores, en general, puede representarse como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla de análisis de varianza para un experimento completamente aleatorizado de dos factores (Modelo de efectos fijos)

Fuente	SC	g.l.	MC	F
A	SC A	a - 1	MC = SC / (a - 1) A A	MC A ----- MC Res.
B	SC B	b - 1	MC = SC / (b - 1) B B	MC B ----- MC Res.
AB	SC AB	(a - 1)(b - 1)	MC = SC / (a - 1)(b - 1) AB AB	MC AB ----- MC Res.
Tratamientos	SC Trat.	ab - 1		
Residual	SC Res.	ab(n - 1)	MC = SC / ab(n - 1) Res. Res.	
Total	SC total	abn - 1		

ABREVIATURAS EMPLEADAS:

g.l : grados de libertad

S C : suma de cuadrados

M C : media de cuadrados

F : distribución "F" de Fisher del Análisis de Varianza