



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**Cuantificación de fibra dietética total y
almidón resistente en cinco tubérculos
en forma cruda y cocida**

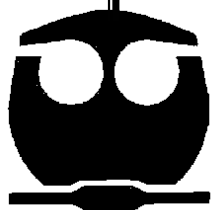
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

ELGA DARIANA PADILLA PALOMINO



MÉXICO, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE:	Profesor Pedro Valle Vega
VOCAL:	Profesora Lucía Cornejo Barrera
SECRETARIO:	Profesora Rosa María Argote Espinosa
1er. SUPLENTE:	Profesora Inocencia María d Lourdes Flores Tellez
2º SUPLENTE:	Profesora Leticia Gil Vieyra

**EL PRESENTE TRABAJO SE EFECTUÓ EN EL ANEXO DEL
LABORATORIO 4-A**

FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

M. en C. Rosa María Argote Espinosa

Asesor

Elga Dariana Padilla Palomino

Sustentante



***Dedicado con cariño, respeto
y mucho amor a mis padres
hermanas y esposo.***



AGRADECIMIENTOS...

A Dios por otorgarme el don de la vida a lado de los mejores padres del mundo.

A la UNAM, Facultad de Química por darme la oportunidad de recibir la mejor formación académica que pude haber anhelado.

A mi padres por su esfuerzo y cansancio diario para que yo pudiera realizar este sueño. Mami gracias por tu infinito amor, por ser la mejor, por tus consejos y por acompañarme en todo momento ojalá algún día pueda ser como tú. Papá gracias por todo tu amor, por cuidarme y enseñarme que la educación es la mejor herencia.

A mis hermanas Blanca, Mónica y Giovanna por su cariño, ejemplo y por acompañarme en toda ocasión, sobretodo cuando los momentos difíciles nos han hecho más unidas, las quiero mucho y ya saben que siempre contarán conmigo.

A mi esposo Rogelio por ser el amor de mi vida, por su gran amor y apoyo en todo momento de mi vida, desde que apareciste eres mi impulso para seguir adelante día con día.

A mis sobrinos Michelle, Tessa e Ián por ser mis angelitos, los quiero mucho y espero ser un ejemplo para ustedes.

A mis abuelitos Antonio y Consuelo por su apoyo y cariño.

A la M.en C. Rosa María Argote por su incondicional paciencia y apoyo para la realización de este proyecto.

A la M. en C. Angela Sotelo (q.e.p.d.) por brindarme la confianza y oportunidad de formar parte de este proyecto.

A mis amigas viborildas: Katy, Alma y Aideé por compartir los mejores y más difíciles momentos de la carrera. Gracias por todo su apoyo cada una es una gran persona y saben que cuentan conmigo para todo, las quiero y admiro mucho.



CONTENIDO	PÁGINA
1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4
3. Antecedentes.....	5
3.1 Fibra dietética.....	5
3.1.1 Componentes de la fibra dietética.....	5
3.1.2 Métodos para determinar fibra dietética.....	6
3.1.3 Mecanismos benéficos de la fibra dietética.....	7
3.2 Almidón resistente.....	8
3.2.1 Componentes del almidón.....	9
3.2.1.1 Amilosa.....	9
3.2.1.2 Amilopectina.....	10
3.2.2 Cambios del almidón por proceso térmico.....	10
3.2.2.1 Gelatinización.....	10
3.2.2.2 Retrogradación.....	11
3.3 Papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	11
3.4 Camote (<i>Ipomea batatas</i>).....	15
3.5 Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	17
4. Objetivos.....	20
4.1 Objetivo general.....	20
4.2 Objetivos particulares.....	20
5. Metodología.....	21
5.1 Materia prima.....	23
5.2 Determinación de fibra dietética total.....	25
5.3 Determinación de almidón resistente.....	33
5.4 Análisis estadístico.....	39
6. Resultados y discusión.....	40
7. Conclusiones.....	45
8. Bibliografía.....	46



1. RESUMEN

En los últimos años el estudio de fibra dietética total y almidón resistente en alimentos ha cobrado mucho interés debido a los efectos benéficos que estos producen en la salud tales como: el aumento en la formación de la materia fecal, reduce el índice glicémico (modifica la secreción de insulina y glucagón), su deficiencia en la dieta propicia una mayor frecuencia para que se presenten enfermedades como diabetes, aterosclerosis y obesidad entre otros. En el presente trabajo se determinó el contenido de fibra dietética y almidón resistente en tubérculos de mayor consumo en México, tales como papa (*alpha* y morada), camote (blanco y naranja) y yuca en forma cruda y cocida. La preparación de cada tubérculo consistió en un secado por liofilización tanto en forma cruda como cocida. El tratamiento térmico aplicado fue convencional. Una vez que éstos estuvieron secos, se redujo el tamaño de partícula hasta llegar a 0.5 mm. Se encontró en la determinación de fibra dietética total (FDT) de tubérculos crudos que la papa morada es el de mayor contenido (7.34 ± 0.18 g/100 g muestra seca) y la yuca el de menor (4.94 ± 0.06 g/100 g muestra seca), conservándose la misma tendencia en la determinación de almidón resistente (AR) (papa morada 1.5 ± 0.05 g/100 g muestra seca; yuca 0.10 ± 0.01 g/100 g muestra seca). Para los productos en los que se aplicó cocción convencional, se observó que los tubérculos con mayor contenido de FDT y AR respectivamente fueron el camote naranja (10.77 ± 0.17 g/100 g muestra seca) y el camote amarillo (4.59 ± 0.36 g/100 g muestra seca); siendo nuevamente la yuca el tubérculo con menor contenido de ambos compuestos (5.33 ± 0.09 g FDT/100 g muestra seca y 0.40 ± 0.01 g AR/100 g muestra seca). En todos los tubérculos cocidos se obtuvo mayor contenido de FDT que en los crudos, lo cual es posiblemente debido a que la cocción fomentó que se favoreciera la formación de compuestos a los cuales las enzimas no fueron capaces de atacar. Con respecto al almidón resistente (AR), el resultado fue el mismo, es decir, los tubérculos cocidos tienen mayor contenido



que los crudos, lo cual era lo esperado debido a la retrogradación que sufre el almidón con el tratamiento térmico aplicado.

2. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se determinó el contenido de fibra dietética y almidón resistente utilizando los métodos de la AOAC (1995) y el de Saura-Calixto et al (1993) respectivamente. Las técnicas se aplicaron a cinco tubérculos crudos y cocidos porque la mayoría de estos alimentos no se consumen en forma fresca, por tanto es conveniente conocer si la cocción convencional que realiza la población, modifica de forma significativa ya sea disminuyendo o aumentando el contenido de fibra dietética y de almidón resistente en ellos.

La importancia de utilizar el método mencionado en dichos productos es porque en los últimos tiempos se ha investigado el contenido de fibra cruda en varios alimentos empleando métodos que realmente tienen poca semejanza con las condiciones del tracto gastrointestinal y los métodos enzimáticos gravimétricos, utilizan enzimas, lo cual permite crear un ambiente semejante al aparato digestivo del hombre; en cambio los empleados con anterioridad para la determinación de fibra cruda, utilizan condiciones ácido-base donde se pueden perder fracciones de fibra dietética solubles, y lo anterior genera mayores fuentes de error en la obtención de resultados en los diversos alimentos estudiados.

La razón por la cual se estudia a los tubérculos es porque estos tienen ventajas económicas y nutritivas sobre otros alimentos ya que éstos pueden compensar el déficit nutritivo de las poblaciones rurales y urbanas de bajos ingresos, especialmente como sustitutos de alimentos más caros, tales como cereales y productos derivados como el pan.



3. ANTECEDENTES:

3.1 FIBRA DIETÉTICA.

Según la Asociación Americana de Química de Cereales (AACC, por sus siglas en inglés 2001), la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado del hombre con una fermentación parcial en el intestino grueso. Esto incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancia vegetales asociadas.

La fibra dietética total por la solubilidad de sus componentes en agua se divide en:

- A. **Fibra dietética soluble (FDS)**, que involucra pectinas, gomas y polisacáridos de algas.
- B. **Fibra dietética insoluble (FDI)**, que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina.

3.1.1 Las macromoléculas que conforman la fibra dietética son:

- **Pectina:** compuesta principalmente de ácido D-Galacturónico, no obstante puede tener otros carbohidratos menores enlazados. La metilación parcial de los grupos carboxílicos en el ácido galacturónico le imparte importantes propiedades a las sustancias pécticas. Se considera altamente soluble.
- **Celulosas:** es un polímero lineal de glucosa unida por enlaces β 1-4, es el principal componente de la pared celular de las plantas y es considerada relativamente insoluble.
- **Hemicelulosa:** es un grupo heterogéneo que contiene varios azúcares en su estructura principal y cadenas laterales solubles en álcali diluido, exhibe un amplio rango de solubilidad.



-
- **Lignina purificada:** altamente compleja, de estructura tridimensional, se considera bastante inerte, insoluble y resistente a la digestión.

3.1.2 Métodos para determinar fibra dietética:

En la determinación de fibra cruda se mide el peso del residuo no digerible después de su extracción con solvente orgánicos y de su digestión en ácidos y álcalis diluidos, efectuándose una corrección para cenizas, pero aunque fue un método oficial de la AOAC desde 1955, no proporciona una determinación exacta de las fibras de la dieta ya que se pierden todas las fibras solubles junto con una cantidad variable de fibras insolubles, lo que lleva a una determinación errónea del verdadero contenido en fibra en alimentos.

El método enzimático detergente neutro incluye una modificación para reducir la interferencia del almidón gracias a su tratamiento con amilasa pero el tiempo de análisis es mayor en comparación al último publicado por la AOAC (1995).

El creciente interés en una medición sencilla y fiable de las fibras en los alimentos condujo al desarrollo del actual método oficial de la AOAC (1995), el cual se realiza en este trabajo.

Asp y col., (1988), citan un método enzimático gravimétrico para la determinación de fibra soluble e insoluble que incluye: gelatinización por cocción durante 15 minutos en presencia de una α -amilasa termoestable, incubación con pepsina a pH ácido por 1 hora, incubación con pancreatina a pH neutro por 1 hora. La fibra dietética insoluble es filtrada con la ayuda de celita, luego la fibra dietética soluble es precipitada con 4 volúmenes de etanol. Prácticamente todo el almidón es solubilizado, sin embargo; hay un remanente proteínico no digerido.



Se han propuesto otras metodologías también incluidas entre los métodos enzimáticos-gravimétrico, por ejemplo: un tratamiento enzimático de tres pasos que obtiene fibra dietética Soluble por medio de diálisis, secado y congelación; un procedimiento rápido (fibra detergente neutro) complementando con un procedimiento separado para la fibra dietética soluble; y cuantificación del residuo de fibra dietética Insoluble gravimétricamente y la fracción de fibra dietética soluble químicamente (Bello L.A. 2003).

La fibra dietética es un componente importante de los alimentos que ha cobrado interés de médicos, nutriólogos y científicos en alimentos en las últimas décadas. Hay estudios que indican que cuando hay un consumo escaso de fibra dietética en la dieta, se aumenta la frecuencia en la incidencia de padecer cáncer de colon y el riesgo de enfermedades crónicas como diabetes, obesidad y problemas cardiacos.

Enfocándonos al consumo de fibra dietética tenemos que los polisacáridos que la componen, no son hidrolizados completamente por las enzimas del tracto digestivo de los mamíferos y sólo sufren una insignificante hidrólisis en el estómago, por lo que pasan prácticamente intactos al intestino grueso, entonces a corto plazo proporcionan volumen para la acción peristáltica y facilitan el paso del material a través del intestino; este incremento en el movimiento ocasiona la eliminación más rápida de los productos de desecho que de permanecer allí, podrían producir inflamación o inclusive las condiciones propicias para el desarrollo de cáncer. A largo y mediano plazo, ocasiona una modificación en el metabolismo de los hidratos de carbono, además de la función del intestino grueso y en la absorción de minerales. De forma adicional estos hidratos de carbono aumentan la excreción de ácidos biliares, lo que ocasiona una disminución en el nivel plasmático del colesterol.



3.1.3 Mecanismos por los cuales la fibra dietética combate diferentes enfermedades:

- Rosado (1989) propone mecanismos por los cuales la fibra dietética combate la obesidad:
 - a. Disminución en la absorción de energía debida a la interacción de la fibra con proteínas, grasas e hidratos de carbono en la digestión.
 - b. Disminución de la ingesta de alimentos por el aumento en el tiempo de masticación y en el efecto de saciedad, debido al volumen extra del contenido intestinal.
 - c. Modificación del índice glicémico.
 - d. Reducción en la cantidad de calorías ingeridas en la dieta debido al valor calórico reducido de la fibra y a su capacidad para retener agua

- **Los mecanismos por los cuales la fibra combate a la diabetes son:**
 - a. Retraso en la absorción de la glucosa, determina la reducción de la glicemia postprandial.
 - b. Aumento en la sensibilidad de la insulina y un retardo en el vaciamiento gástrico (Fratti 1983, 1989).

- **Razones por las cuales la fibra combate la aterosclerosis:**
 - a. La fibra disminuye los niveles plasmáticos de colesterol mediante la reducción en la absorción de colesterol y ácidos biliares.
 - b. La fermentación bacteriana de la fibra produce ácidos grasos volátiles (butírico, propiónico y acético); y parte de éstos se absorbe en el colon (Cummings 1981). Algunos estudios demuestran que tanto el ácido



propiónico como el ácido acético modifican el metabolismo de los lípidos disminuyendo la síntesis de lipoproteínas de baja densidad (Chen 1984, 1986).

➤ **Mecanismos por los que la fibra disminuye la incidencia de padecer cáncer de colon:**

- a. Dilución del contenido intestinal que disminuye la presencia de sustancias potencialmente cancerígenas.
- b. El aumento de velocidad en el tránsito intestinal hace que permanezcan menor tiempo carcinógenos potenciales, reduciendo el riesgo de activación.
- c. La fibra absorbe sustancias cancerígenas.

3.2 ALMIDÓN RESISTENTE.

La definición de almidón resistente de H. Englyst y Cummings (1992), establece que almidón resistente es una fracción del almidón que escapa de la digestión enzimática en el intestino delgado.

El almidón resistente se divide en:

- **Resistant starch 1 (RS1):** es el almidón físicamente inaccesible, presente en granos parcialmente molidos y semillas.
- **Resistant starch 2 (RS2):** almidón en forma de gránulos, está presente en papas crudas.
- **Resistant starch 3 (RS3):** es el almidón retrógrado, almidón recristalizado después de la gelatinización y enfriamiento posterior cuando se almacena en el refrigerador.



Sus efectos benéficos se asocian a que este almidón resistente es fermentado por la microbiota del intestino grueso, dando como productos, ácidos grasos de cadena corta, particularmente butirato, entre otros. Este butirato es una fuente de energía para las células del intestino grueso requeridas para el óptimo funcionamiento de éste. El butirato puede inhibir el crecimiento y la proliferación de células tumorales, reparando el daño en el DNA, y promueve el crecimiento normal de células induciendo la diferenciación celular (Platzman, 2001).

El almidón es el principal hidrato de carbono de reserva sintetizado por las plantas superiores constituyendo una fuente de energía esencial para muchos organismos, especialmente el hombre (Luallen, 1988; Buléon y col., 1990). El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz) cuyo contenido de almidón va del 30 al 80 %, leguminosas (frijol, chícharo, haba) con un 25 a 50 % de almidón y tubérculos (papa, yuca) en los que el almidón representa entre un 60 y 90 % de la materia seca.

3.2.1 Componentes del almidón.

El almidón está compuesto esencialmente (98-99 %) de un polímero de D-glucosa.

Químicamente, el almidón consiste de dos polímeros de diferente estructura, amilosa y amilopectina .

3.2.1.1 AMILOSA.

La amilosa es un polímero esencialmente lineal, formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces α -(1→4). La molécula de amilosa contiene, en promedio, de 500 a 6000 unidades de D-glucosa repartidas en un número de



cadena que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un grado de polimerización promedio de 500.

3.2.1.2 AMILOPECTINA.

Es el componente ramificado del almidón está formada por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos (entre 17 y 23 unidades) unidos principalmente por enlaces α -(1 \rightarrow 4). También presenta entre un 5-6 % de enlaces α -(1 \rightarrow 6) en los puntos de ramificación, la amilopectina es el principal componente en la mayoría de los almidones (entre un 70-80 %), alcanzando en ciertos casos niveles de hasta un 98-99 % en los almidones tipo ceroso. Debido a esto, la amilopectina, es quizá el componente que tiene mayor importancia en términos de las propiedades del almidón.

3.2.2 Cambios del almidón por proceso térmico

3.2.2.1 GELATINIZACIÓN.

Los gránulos del almidón son insolubles en agua fría, pero se hinchan cuando se calientan en un medio acuoso; inicialmente el hinchamiento es reversible y las propiedades ópticas del gránulo no se pierden (por ejemplo birrefringencia); sin embargo cuando se alcanza una cierta temperatura el hinchamiento llega a ser irreversible y la estructura del gránulo se altera significativamente (Lai y Kokini, 1991). Este proceso es conocido como gelatinización y la temperatura a la cual ocurre este fenómeno se le conoce como temperatura de gelatinización. Cuando el gránulo alcanza esta temperatura pierde su birrefringencia, la amilosa se difunde hacia el agua y la amilopectina queda dentro del gránulo para finalmente perder su estructura. La amilosa fuera del



gránulo forma una malla y produce un gel. En general la solubilización de las moléculas de almidón, el hinchamiento e hidratación y la pérdida de la estructura granular son colectivamente definidos por el término gelatinización (Lund, 1984; Biliaderis, 1991).

3.2.2.2 RETROGRADACIÓN.

Es un proceso el cual ocurre cuando las moléculas incluyen la gelatinización del almidón y comienzan a reasociarse en una estructura ordenada, En esta fase inicial, dos o más cadenas de almidón forman un punto de unión simple el cual puede desarrollar en regiones ordenadas mas extensas y, en condiciones favorables, aparecen cristales de amilopectina ordenados (Biliaderis 1991). En exceso de agua y proporcionando una temperatura más alta que la llamada temperatura de gelatinización, los gránulos de almidón se hinchan hasta su límite máximo, mientras que al mismo tiempo, una parte de las moléculas del almidón se solubilizan. Cuando el hinchamiento y la solubilidad son alcanzados, el sistema resultante es una suspensión de partículas hinchadas dispersas en una macromolécula (generalmente compuesta por amilosa) de un medio continuo, en otros casos, las moléculas de almidón son totalmente solubilizadas, El resultado de la estructura puede ser descrito como un gel compuesto, o bien como la gelación de la amilosa que se manifiesta en los alimentos afectando textura, aceptabilidad y digestibilidad.

3.3 PAPA (*Solanum tuberosum*).

➤ **ORIGEN**

Donde primero se cultivó la papa fue en la región del lago Titicaca, al norte de Bolivia y en las altas mesetas de la cordillera de los Andes. Según documentos



arqueológicos y etnológicos, las poblaciones andinas al sur del Perú y al norte de Bolivia empezaron a comer papas silvestres de 3000 a 4000 años antes de nuestra era (Alonso, 1996).

A fines del siglo XVI la papa llegó a España, de allí pasó a Francia e Inglaterra. De este último país se difundió posteriormente a Irlanda y a otros estados del norte de Europa, pero fue hasta el siglo XVIII cuando el cultivo comenzó a tener importancia representativa en aquel continente (Terranova, 1995).

➤ DESCRIPCIÓN BIOSISTEMÁTICA Y BOTÁNICA

Nombre científico: *Solanum tuberosum*

Reino: vegetal

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotyledoneae

Orden: Tubiflorae

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

La papa es una planta dicotiledónea herbácea perenne debido a que es capaz de reproducirse por tubérculos.

Las papas cultivadas tienen en su mayoría cuatro juegos de cromosomas ("tetraploides"), constando cada juego de doce cromosomas.

La planta de la papa, está provista de un sistema aéreo y otro subterráneo. En el primero están los tallos, hojas, flores y frutos; en el subterráneo se encuentran las raíces y los tubérculos (Alonso 1996).

El tubérculo se considera como una parte del tallo que se ha adaptado para almacenar reservas y para la reproducción. A veces se desarrollan tubérculos aéreos en la inserción de las hojas en el tallo; pero esto solo ocurre cuando la parte aérea sigue formando reservas y ha sido bloqueado el transporte de



productos de asimilación a los tubérculos; este bloqueo puede ser provocado por daños mecánicos o por el ataque de un hongo (por ejemplo: *Rhizoctonia solana*) en la parte más baja del tallo. La formación del tubérculo es una consecuencia de la acumulación de reservas que se produce por el rápido desarrollo y división celular.

Dado que la papa es una especie de gran cultivo, existen muchísimas variedades comerciales en el mercado. Las diferentes variedades en la papa se distinguen de acuerdo a los siguientes caracteres (Fersini, 1982):

- ✓ Color y textura en la piel
- ✓ Color de la carne
- ✓ Número de tubérculos
- ✓ Forma del tubérculo
- ✓ Aptitudes culinarias características de los brotes
- ✓ Características de la parte aérea
- ✓ Productividad
- ✓ Aptitudes de utilización
- ✓ Precocidad de la brotación
- ✓ Precocidad de la cosecha
- ✓ Resistencia a plagas y enfermedades

➤ **EXIGENCIAS EN CLIMA Y SUELO**

La planta de la papa crece en climas templado-fríos cuyo, ciclo vegetativo se encuentra entre 6 y 8° C, si bien los brotes pueden crecer a partir de 2° C. Es relativamente sensible a las heladas; la temperatura óptima de crecimiento es entre 15 y 18°C conviniéndole temperaturas nocturnas relativamente frescas.

Es una planta exigente en agua porque para fabricar 1 kg de materia fresca necesita aproximadamente 300 kg de agua.



En cuanto a suelos, la papa los prefiere ligeros o semiligeros, y silíceoarcillosos; soporta perfectamente pH ácidos del orden de 5.5 a 6.0. Es una planta relativamente resistente a la salinidad (Fersini, 1982).

➤ ASPECTOS NUTRICIONALES

Tabla 1. Composición química de la parte comestible (g/100 g).

AGUA	76.37
Proteínas	2.0
Grasas	0.12
Hidratos de carbono	0.5
Almidón	17.5
Fibra dietética	1.7
Fibra cruda	0.71
Cenizas	1.1

Tomado de OECD Environmental Health and Safety Publications. Paris, 2002

Almidón.

Del total de la materia seca de la papa (20 a 30%), el almidón ocupa entre 70 y 80 % de éste. El almidón es el hidrato de carbono más importante de la papa y la variación en su contenido puede deberse a daños por microorganismos.

Proteína.

Las proteínas presentes en los tubérculos son albúmina, globulinas, prolaminas y gluteinas. En la papa las proteínas presentes contienen aminoácidos esenciales, tales como: lisina, metionina, treonina y triptófano.

Hidratos de carbono.

Este contenido depende mucho de varios factores tales como: variedad, maduración y estado fisiológico de las papas. Este contenido cambia durante el



almacenamiento y específicamente el contenido de sacarosa se usa como un indicador de la edad de las papas.

➤ **PRODUCCIÓN Y CONSUMO**

Pese a que la papa es un producto originario de América, la principal zona productora no está en el continente americano, pues está conformada por países asiáticos y europeos.

Según datos de la FAO, en los últimos años la producción mundial de papa registró un incremento del 11 por ciento, al pasar de 277 millones de toneladas en 1992 a 308 millones en 2001.

Casi el 60 por ciento de la producción mundial de papa se concentra en China, Rusia, Polonia, Estados Unidos, India y Ucrania. Actualmente en México se siembran alrededor de 67 mil hectáreas de las que se obtiene una producción aproximada de 1 millón 350 mil toneladas, mismas que permiten satisfacer las demandas del consumo interno.

Asimismo, cerca del 35 por ciento de la superficie nacional es sembrada con papa de variedades criollas o supuestamente mejoradas, las cuales son cultivadas principalmente en las sierras y valles altos de la meseta central de México, en donde se ubican el mayor número de Productores de papa en el país.

En estos últimos diez años, los principales estados productores han sido: Sinaloa, Estado de México, Nuevo León, Chihuahua, Sonora y Guanajuato, quienes en conjunto aportaron el 60 por ciento del total de la producción nacional durante el periodo analizado



En 2001 la producción obtenida fue de 1 millón 635 mil toneladas, volumen suficiente para garantizar el abasto del consumo nacional. Asimismo, el rendimiento medio a nivel nacional es actualmente de 20.5 toneladas por hectárea (SAGARPA 2001).

3.4 CAMOTE (*Ipomea batatas*).

➤ ORIGEN

El camote es originario de las regiones tropicales americanas (Brasil, Chile, Perú, Antillas y México) y de las Indias orientales, más que como tubérculo debe ser considerada como una planta “tubérculo-raíz”, ya que por el desarrollo de las raíces se derivan los tubérculos (Maroto, 1989).

➤ DESCRIPCIÓN BIOSISTEMÁTICA Y BOTÁNICA

El camote pertenece a la familia Convolvulaceae. Es una planta de tallos cilíndricos trepadores, aunque normalmente de desarrollo rastrero. Tiene hojas muy numerosas de forma acorazonada y de color verde oscuro. Posee numerosas raíces ramificadas y fibrosas. La base de algunas de las raíces se engrosa considerablemente, dando lugar a gruesos tubérculos carnosos, de forma, peso y color diferentes según las variedades, que almacenan sustancias de reserva principalmente en forma de almidón, con un elevado contenido de caroteno y vitamina C y una proporción apreciable de proteínas.

Los numerosos cultivos se distinguen por:

- ✓ Forma de hojas y tallos.
- ✓ Forma, tamaño y color de los tubérculos.
- ✓ Duración del ciclo de cultivo.
- ✓ Tipo de pulpa y consistencia de la misma.



Y las variedades más cultivadas son: Camote blanco y camote rojo de América (Achata1990).

➤ EXIGENCIAS EN CLIMA Y SUELO

Es una planta de climas cálidos con una higrometría atmosférica alta. Soporta fácilmente el calor y su temperatura óptima de desarrollo puede variar entre 15 y 30°C para el sistema aéreo y entre 24 y 27°C para los tubérculos. En lo relativo al terreno, prefiere suelos ligeros, frescos y con buenos drenajes. Tiene una resistencia media a la salinidad similar a la de la papa y es muy tolerante a la acidez del suelo (Fersini, 1982).

➤ ASPECTOS NUTRICIONALES

Tabla 2. Composición química de la parte comestible (g/100 g).

AGUA	73.54
Proteínas	1.43
Grasas	0.17
Hidratos de carbono	2.38
Almidón	20.1
Fibra dietética	1.64
Cenizas	0.74

Tomado de Woolfe Jennifer. 1992

Hidratos de carbono.

Constituye entre el 75 y 90 % de la materia seca. Están compuestos por almidón, sacarosa, celulosa, pectinas y hemicelulosa. El almidón del camote está compuesto por 60-70% de amilopectina y el resto de amilasa. La sacarosa es el azúcar más importante del camote en menor cantidad se encuentran glucosa y fructosa.



➤ PRODUCCIÓN Y CONSUMO

Debido a su versatilidad y adaptabilidad, el camote es el sétimo cultivo alimenticio más importante del mundo, después del trigo, arroz, maíz, papa, cebada y yuca. Más de 133 millones de toneladas se producen globalmente cada año. El continente asiático es el principal productor de camote, con 125 millones de toneladas de producción anual. De China procede el 90 por ciento de la producción total (117 millones de toneladas). Cerca de la mitad del camote producido en Asia es usado para la alimentación animal y el remanente es usado principalmente para el consumo humano, tanto en forma fresca como en productos procesados.

América Latina, la cuna del camote, produce 1.9 millones de toneladas de este cultivo anualmente. La producción en Norte América es de aproximadamente 600,000 toneladas (CIP camote)

3.5 YUCA (*Manihot esculenta*).

Nombre científico: *Manihot esculenta*

Reino: vegetal

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotyledoneae

Orden: Euphorbiae

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Manihot*

➤ ORIGEN

La yuca es autóctona de América Latina y del sur y el oeste de México. Existen datos arqueológicos de que se cultivó en el Perú hace 4000 años y fue uno de los primeros cultivos domesticados (FAO, 1990).



➤ DESCRIPCIÓN BIOSISTEMÁTICA Y BOTÁNICA

La yuca es un arbusto de tamaño variable desde 1.5 m hasta 2.5 m. Esta planta tiene hojas alternas y simples con 5 o 7 lóbulos. Las raíces tienen un crecimiento secundario de la región vascular, que puede comenzar a las tres semanas dando origen a las raíces reservantes. Un corte transversal de una raíz muestra dos divisiones principales: la corteza y la pulpa (Terranova, 1995).

La yuca contiene cantidades pequeñas pero apreciables de dos toxinas potenciales, llamadas linamarina y lotaustralina. Se trata de glucósidos cianogénicos que se convierten en ácido prúsico, cianuro de hidrógeno, por acción de la enzima linamarinasa, que también se halla presente en los tejidos del tubérculo, pero una forma de eliminar estos tóxicos es mediante la cocción convencional (FAO, 1990).

➤ EXIGENCIAS EN CLIMA Y SUELO

La yuca se produce satisfactoriamente a una temperatura de 24°C. Los suelos deben ser sueltos, porosos, friables y con un pH entre 6.0 y 7.0. Para obtener mayor productividad los suelos no deben tener excesos de agua (Terranova, 1995).

➤ ASPECTOS NUTRICIONALES

Tabla 3. Composición química de la parte comestible (g/100 g).

AGUA	71.2
Proteínas	0.5
Grasas	0.1
Hidratos de carbono	1.8
Almidón	24.3
Fibra dietaria	1.6
Cenizas	0.5

Tomado de Blanco-Metzler A. et al. Septiembre 2004



➤ PRODUCCIÓN Y CONSUMO

Durante el 2002, el consumo mundial de yuca estuvo por el orden de las 108 millones de toneladas, 2 millones por encima del año anterior. África es el mayor consumidor de yuca en el mundo, y el consumo en forma de raíces frescas y productos elaborados.

La utilización de alimento para animales a base de yuca, se ha mantenido por el orden de las 50 millones de toneladas, siendo los mayores consumidores América Latina y el Caribe, China, Nigeria y la Unión Europea.

Durante el año 2002 la disponibilidad mundial de raíces de yuca por habitante, estuvo en los 33.6 kilogramos, lo cual representa un aumento de 1.5% con respecto al año inmediatamente anterior.

En América Latina y el Caribe, el consumo aumentó durante el 2002, en especial en Paraguay, Colombia y Brasil. En estos países la yuca se usó tanto para consumo humano como para la elaboración de alimentos para animales. En Brasil el aumento en el consumo, se debió principalmente a la estrategia del gobierno de frenar las importaciones de trigo y estimular la producción de yuca.

En los países desarrollados se presentó una contracción del 38% en el 2002, en el consumo de yuca. Esta contracción se debió principalmente a la escasez de los suministros procedentes de Tailandia e Indonesia. También se debió a una producción excelente de cereales en la Unión Europea y a una correlativa baja en los precios con respecto a los productos sustitutos. La demanda de los países desarrollados de alimentos para animales a base de yuca, pudo cubrirse con cereales, reduciendo las importaciones de yuca (FAO 1998).



4. OBJETIVOS:

Objetivo General.

- Determinar el contenido de fibra dietética y almidón resistente en cinco tubérculos de alto consumo en México antes y después del proceso de cocción.

Objetivos particulares.

- Determinar el contenido de fibra dietética y almidón resistente, empleando un método enzimático-gravimétrico y uno enzimático-espectrofotométrico respectivamente en la papa alpha y morada (***Solanum tuberosum***), en el camote amarillo y naranja (***Ipomea batatas***) y en la yuca (***Manihot esculenta***) tanto en su forma seca como después de haber pasado por el proceso de cocción convencional.
- Conocer mediante un análisis estadístico si el proceso de cocción, modifica de manera significativa el contenido de fibra dietética y almidón resistente en los alimentos estudiados.
- Comparar los resultados obtenidos con otros ya publicados en los alimentos donde exista dicha información.



5. METODOLOGÍA:

Diagrama General de Trabajo

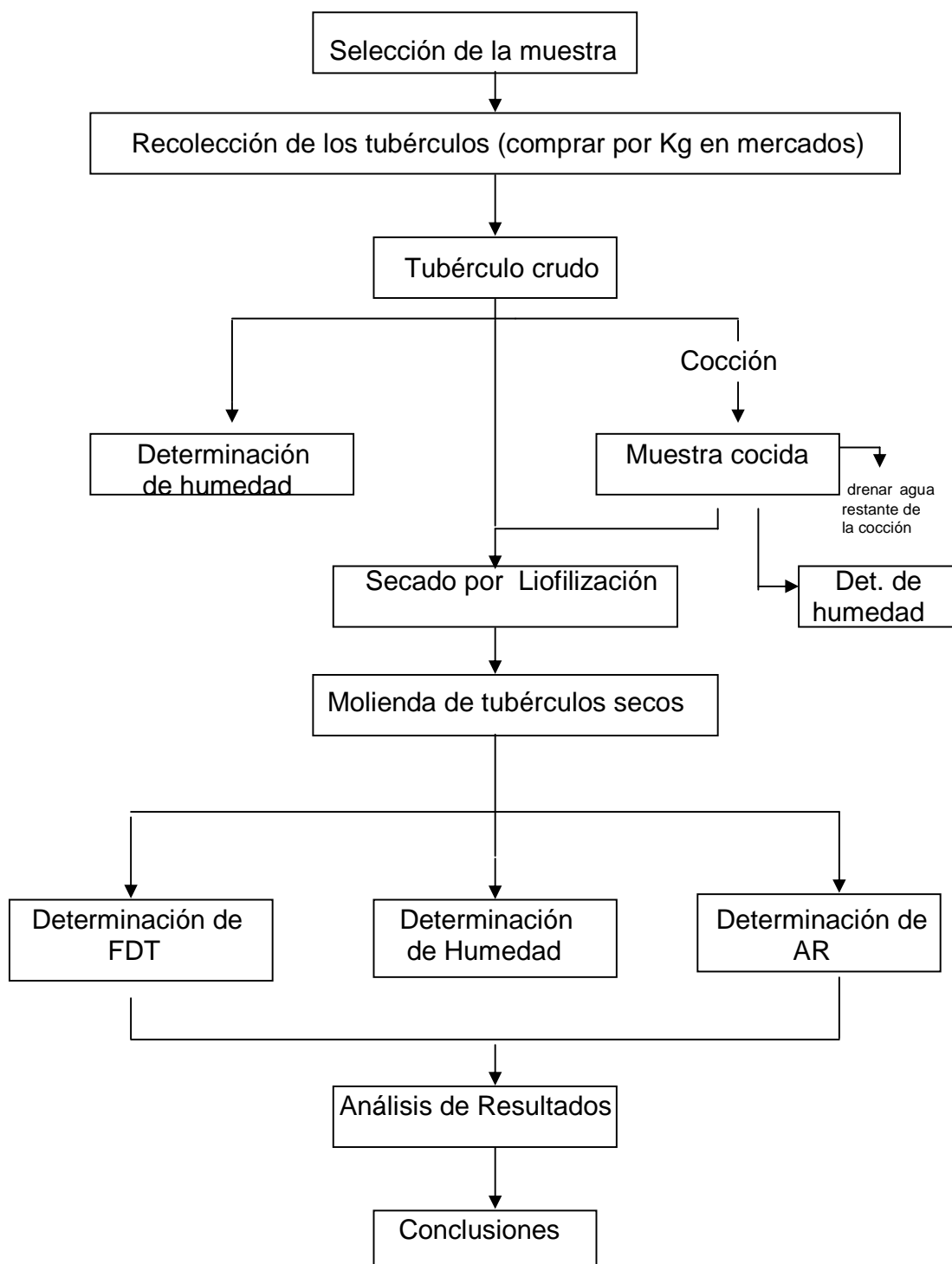
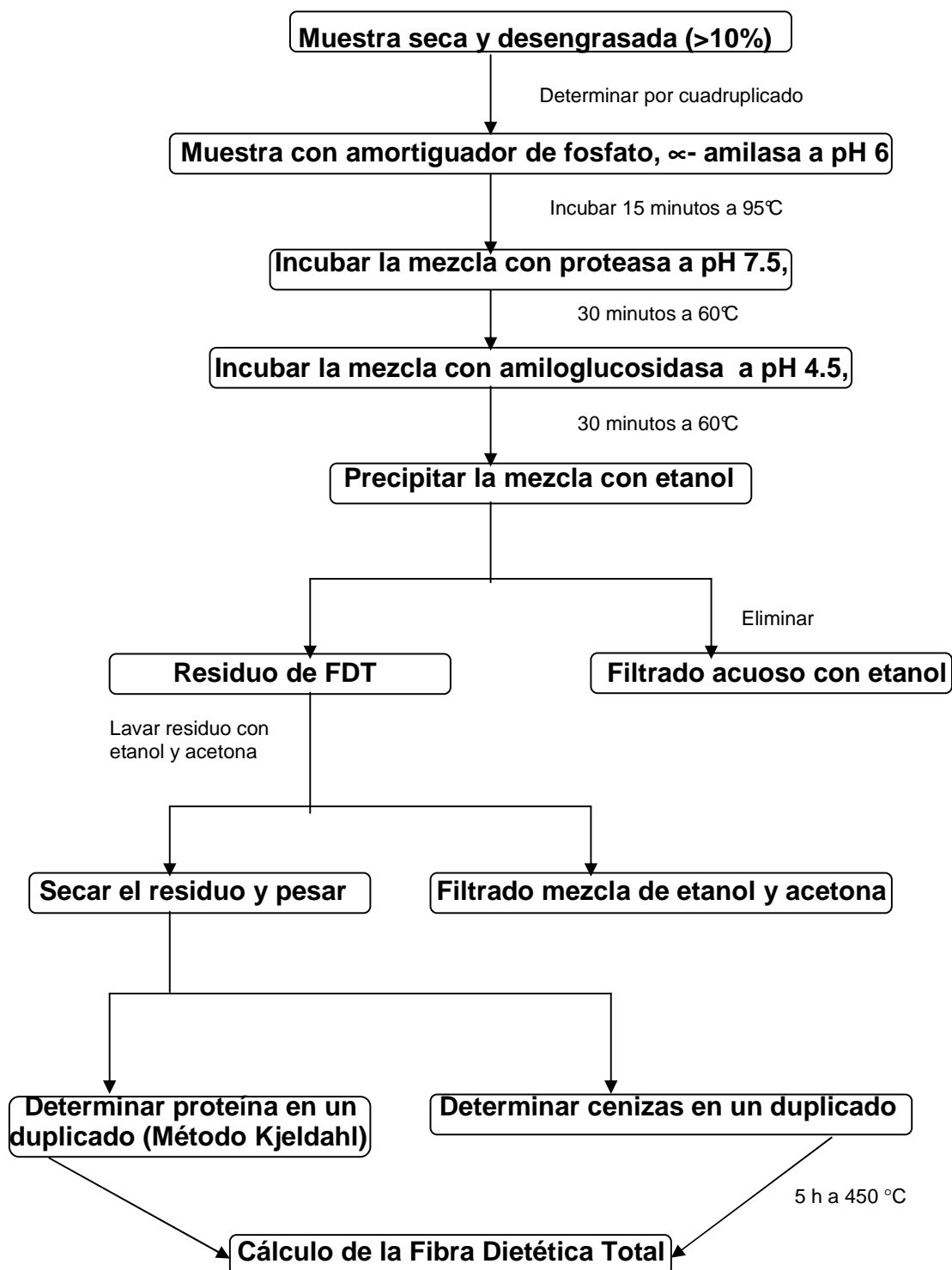




FIGURA 1. Esquema de la determinación de fibra dietética AOAC (1995) con modificación Almazan & Zhou (1995).





5.1 Materias primas y preparación de las mismas.

- ✓ *Papa alpha.*
- ✓ *Papa morada.*
- ✓ *Camote blanco.*
- ✓ *Camote naranja*
- ✓ *Yuca.*

Las muestras se compraron por kilo y se dividieron en dos porciones, donde la primera se liofilizó cruda y la segunda se cuece eliminando el agua de cocción para posteriormente liofilizar.

La liofilización se realizó de la siguiente manera:

Se retiró la cáscara y se cortó finamente al tubérculo; después se introdujo en un vaso para liofilizar (600 mL). Posteriormente se adicionó nitrógeno líquido (hasta cubrir toda la muestra) para congelar la muestra. Se utilizó una liofilizadora LABCONCO, primero se prende la refrigeración y una vez que llegó a $\leq 50^{\circ}\text{C}$, se prende la bomba de vacío para que la presión llegue a $\leq 5 \text{ } \mu\text{m Hg}$. Se colocaron los vasos en la liofilizadora y se abrió la llave de vacío, de cada vaso.

Posteriormente la muestra seca se molió con malla de 0.5 mm; finalmente se conservó a temperatura ambiente para su uso en las diversas determinaciones. La segunda porción se cuece en un recipiente a fuego directo (temperatura de ebullición), el tiempo que sea necesario para que la muestra está cocida; la cantidad de agua adicionada fue en una proporción 2:1; posteriormente se eliminó el agua de cocción y se liofilizó como la muestra cruda, por último se molió para su uso en las subsecuentes determinaciones.



El motivo de secar mediante la liofilizadora es para prevenir que el secado con calor destruya componentes de los tubérculos a emplear, lo cual puede influir en el estudio.

Determinación de humedad.

Técnica descrita por la AOAC 950.01 (1990).

✓ **Fundamento**

La determinación se basa en la eliminación de agua en forma de vapor mediante la aplicación de calor. Esta pérdida de humedad puede realizarse a presión reducida, abatiéndose el punto de ebullición del agua, y disminuyendo el daño que podría sufrir la muestra debido a la temperatura elevada.

✓ **Material**

- Estufa de vacío LAB-LINE mod. 3620
- Charolas de aluminio
- Desecador
- Balanza analítica

✓ **Procedimiento**

Se pesaron de 2 a 3 gramos de muestra molida y homogénea en una charola previamente pesada después de ponerla a peso constante. Se secó la muestra en la estufa a 60-65°C. Se retiró de la estufa, se dejó enfriar en el desecador y se pesó tan pronto como se equilibró con la temperatura ambiente. Se repitieron las operaciones de secado hasta peso constante.



✓ Cálculos

Teniendo el peso de la charola con la muestra antes y después de secada, y con el peso de la charola sola, se puede hacer el calculo. Generalmente la pérdida del material que se volatiliza bajo esas condiciones, se le acostumbra denominar como humedad.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{P_i - P_f}{pm} \right) * 100$$

Donde:

P_i = peso de la charola vacía antes del secado (g)

P_f = peso de la charola con muestra después de secada (g)

pm = peso de la muestra (g)

5.2 Determinación de fibra dietética total.

Método AOAC ,1995 modificando la concentración de etanol según Almazan & Zhou (1995).

✓ Fundamento

Con este método se determina la fibra dietaria total presente en los alimentos empleando un método enzimático gravimétrico. La muestra es secada, desgrasada (sólo si es mayor al 10%) y es gelatinizada con la enzima termoestable α -amilasa; posteriormente con la enzima proteasa y amiloglucosidasa se logra eliminar la proteína y el almidón. El etanol es empleado para lograr la precipitación de la fibra dietaria soluble. El residuo obtenido es filtrado y lavado con etanol y acetona. Del cuadruplicado de los residuos dos son para determinar el contenido de proteína y los otros dos para cenizas . El total de



fibra dietaria es el peso del residuo menos el peso promedio de proteína, cenizas y blanco (Carreón 2005).

✓ **Material y reactivos.**

I) Total dietary fiber assay kit (Sigma TDF-100A) Este equipo contiene suficientes reactivos para realizar 200 análisis. Conservarse en refrigeración.

1. α -Amilasa, estable al calor 10 mL (SIGMA A 3306).
2. Proteasa de *Bacillus licheniformis* 500 mg (SIGMA P 3910).
3. Amiloglucosidasa de *Aspergillus niger* 10 mL (SIGMA A 9913).
4. Celita™, lavada con ácido 50 g (SIGMA C 8656)

II) Kit total dietary fiber assay control (Sigma TDF-10). Cada frasco contiene reactivo para aproximadamente 10 análisis. Conservar en refrigeración.

1. Arabinogalactasa 1.0 g (Sigma A9788).
2. Caseína 5.0 g (Sigma 7906).
3. β -Glucano 1.0 g (Sigma 67391).
4. Pectina 1.0 g (Sigma p7536).
5. Almidón de maíz 10 g (Sigma S2388).
6. Almidón de trigo 10 g (Sigma 1514).

III) Reactivos:

1. Éter de petróleo, reactivo analítico.
2. Alcohol etílico, reactivo analítico.
3. Acetona, reactivo analítico.
4. Fosfato de sodio dibásico anhidro, reactivo analítico.
5. Fosfato de sodio monobásico anhidro, reactivo analítico.
6. Hidróxido de sodio 1.0 N. reactivo analítico.
7. Ácido clorhídrico 1.0 N, reactivo analítico.



IV) Material y Equipo:

1. Crisol: porosidad #2 (grueso 40-60 micrones)
2. Fuente de vacío. Con trampa para prevenir la contaminación en caso de que se pase líquido.
3. Horno con aire a 105°C o un horno con vacío a 70°C
4. Desecador
5. Mufla
6. Baño de agua hirviendo
7. Baño con agitación y temperatura controlada
8. Vasos de precipitados: altos de 100, 400 y 600 mL.
9. Balanza analítica capaz de pesar hasta 0.1 mg
10. Potenciómetro
11. Kitasatos de 1000 mL
12. Alargadera de hule para crisol Gooch
13. Barras magnéticas 22 x 8 mm
14. Pipeta automática de 50-200 µL
15. Termómetro (-10 a 100 °C)

V) Reactivos

Use agua destilada o desmineralizada para hacer las soluciones.

1. Etanol al 78 %.
Medir 207 mL de agua en un matraz volumétrico de 1 L. diluir al volumen con etanol al 95%. Mezclar y llevar al volumen nuevamente con etanol al 75% en caso necesario. Mezclar.
2. Amortiguador de fosfatos, 0.08 M, pH 6.0.
Disolver 1.4 g de Na_2HPO_4 anhidro y 8.4 g de NaH_2PO_4 anhidro. En aproximadamente 700 mL de agua. Diluir a 1 L con agua. Verificar el pH y ajustar si es necesario con NaOH o H_3PO_4 . Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.
3. Solución de Hidróxido de sodio, 0.275 N.



Diluir 275 mL de solución de NaOH 1.0 N a 1 L con agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

4. Solución de ácido clorhídrico, 0.325 M.

Diluir 325 mL de solución HCl 1.0 N a 1 L de agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

✓ **Procedimiento.**

Instrucciones de preparación:

Crisoles

Lavar a fondo los crisoles, calentar una hora a 450 °C y enfriar, dentro de la mufla hasta 250° C antes de sacar. Remojar y enjuagar los crisoles con agua y secar con aire. Agregar 0.5 g de Celita a cada crisol y secar a 130° C hasta peso constante. Enfriar en desecador y pesar hasta tener 0.1 mg de diferencia. Registrar este peso como “Celita + peso del crisol o P₁”. Conservar en desecador hasta utilizarlo.

Muestra

Si el contenido de grasa de la muestra es mayor del 10 %, desengrasar con éter de petróleo como se describe en el procedimiento del AOAC. Registrar la pérdida de peso debido a la grasa eliminada y hacer la corrección adecuada al % total de fibra dietaria. Cuando se manejan muestras desconocidas, se debe desengrasar todas las muestras.

Homogeneizar cada muestra, si es necesario, secar durante toda la noche en una estufa con corriente de aire a 105° C (70° C en estufa de vacío). Enfriar en desecador y moler las muestras utilizando una malla de 0.3-0.5 mm. En caso de no tener un molino, el empleo de un mortero será suficiente. Si las muestras no se pueden calentar, liofilizarlas antes de molerlas y conservarlas en un desecador hasta que se realice el análisis.



Determinación de fibra dietética.

Hidrólisis enzimática

Correr blancos con las muestras a través de todo el procedimiento para medir cualquier contribución de los reactivos al residuo. A las muestras y blancos se les medirá el contenido de fibra dietaria, se les debe correr al menos por cuadruplicado para tener duplicados de proteínas y cenizas para mejorar la exactitud.

1. Pesar cuatro muestras de 0.5 g de cada material por analizar y poner en vasos de precipitados de 100 mL de forma alta. Los pesos de las muestras no deben tener una diferencia mayor de 20 mg. Registrar los pesos.
2. Agregar 25 mL de amortiguador de fosfatos pH 6.0 a cada vaso.
3. Agregar 0.05 mL de α -amilasa (SIGMA A 3306) a cada vaso y mezclar muy bien.
4. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y colocarlos en un baño de agua hirviendo. Agitar suavemente a intervalos de 5 minutos. Incubar por 15 minutos después de que la temperatura interna de los vasos sea 95°C.
5. Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente (o en hielo o agua).
6. Ajustar el pH de las soluciones a 7.5 ± 0.2 agregando 5 mL de solución de hidróxido de sodio 0.275 N a cada vaso. Verificar el pH y ajustar si es necesario ya sea con NaOH o HCl.
7. Hacer una solución de proteasa (SIGMA P3910) de 25 mg/mL en amortiguador de fosfatos, inmediatamente antes de utilizarse. Pipetear 0.1 mL (2.5 mg de proteasa) dentro de cada vaso.
8. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y poner en un baño de agua a 60°C. con agitación continua, incubar por 30 minutos después de que la temperatura dentro de los vasos alcance 60°C.
9. Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente.



-
10. Ajustar el pH de las soluciones entre un pH de 4.0 y 4.6 agregando 5 mL de 0.325 M de HCl a cada vaso. Verificar el pH y ajustar si es necesario con NaOH o HCl.
 11. Agregar 0.05 mL de amiloglucosidasa (SIGMA A9913) a cada vaso.
 12. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y poner en un baño de agua a 60° C. con agitación continua, incubar por 30 min después de que la temperatura dentro de los vasos alcance 60° C.
 13. Agregar 125mL de etanol al 41% a el líquido de cada vaso. Si se conoce que el contenido de fibra dietaria soluble de las muestras es alto, se adiciona etanol al 95%.
 14. Dejar la solución durante toda la noche a temperatura ambiente para permitir la precipitación completa de la Fibra Dietética Soluble.

Filtración

15. Humedecer y redistribuir la cama de Celita en cada crisol usando etanol al 78%. Aplicar succión suave para extraer la Celita al filtro y formar una superficie lisa. Mantener la succión suave y pasar cuantitativamente el precipitado y suspensión de cada uno de los vasos a sus respectivos crisoles. Lavar el residuo con tres porciones de 10 mL de etanol al 78%, dos porciones de 5 mL de etanol al 95% y dos porciones de 5 mL de acetona.
Se puede formar una goma con algunas muestras que atrapen líquido. Rompiendo la película superficial con una espátula se puede mejorar la velocidad de filtración. Asegurarse de enjuagar dentro del crisol todo el material que se pegue a la espátula. El tiempo para filtrar y lavar puede variar de 0.1 a 6.0 horas por crisol.
16. Secar los crisoles que contienen los residuos durante la noche en una estufa con aire a 105° C.
17. Enfriar todos los crisoles en un desecador, pesar hasta la cuarta cifra (0.1 mg), y registrar estos pesos como "Residuo + Celita+ peso del crisol" o P₂.



Determinación de proteína en el residuo.

18. Con ayuda de una espátula, sacar el residuo + celita de cada crisol y pesarlo, moler en un mortero y pesar de este polvo un duplicado de 100 mg para determinar la cantidad proteína presente en el residuo del crisol.
19. Analizar en los residuos de dos crisoles de la muestra y de dos blancos el contenido de proteína por el método Kjeldahl, como se especifica en el procedimiento del AOAC. Usar el factor de 6.25 para convertir el nitrógeno, medido en el análisis, a proteína excepto cuando el contenido de nitrógeno en la muestra de proteína es conocido.

Determinación de cenizas en el residuo

20. Calcinar el residuo de los dos crisoles de la muestra y los dos crisoles del blanco por 5 horas a 525° C. enfriar en desecador, y pesa hasta la cuarta cifra decimal (0.1 mg) y registrar este peso como “Cenizas+Celita +Peso del crisol” o P₃

✓ **Cálculos**

Cálculo para determinar la cantidad de proteína en cada crisol para corregir el peso del residuo

Determinación de nitrógeno dentro de cada crisol:

$$N = \frac{(V_m - V_b) * (m_{eq}) * (N_{HCl}) * M}{pm}$$

Donde:

N = g de nitrógeno en la muestra(residuo + celita) del crisol

V_m = mL de HCl gastados al titular la muestra

V_b = mL de HCl gastados al titular el blanco

m_{eq} = Miliequivalente del N

N_{HCl} = normalidad del HCl



Pm = Peso de la muestra (residuo + celita) en gramos utilizada en la determinación

M= Peso total en g de la muestra (residuo+celita) dentro del crisol

Determinación de proteína en cada crisol:

$$P = \frac{(N * F)}{1000}$$

Donde:

P = g de proteína dentro de cada crisol

N = g de nitrógeno en la muestra (residuo + celita) del crisol

F = factor de conversión a proteína 6.25

1/1000 = factor de conversión a mg

Calcular el promedio del valor de proteína de los crisoles.

Cálculo para determinar la cantidad de cenizas en cada crisol para corregir el peso del residuo

$$C = P_2 - P_1$$

Donde:

C = gramos de ceniza en el crisol

P₂ = Peso en gramos de celita más crisol y cenizas

P₁ = peso en gramos de celita más el crisol

Calcular el promedio del valor de cenizas de los crisoles.

✓ **Determinación de fibra dietética total:**

$$\% FDT = \left[\frac{R - P - C - B}{PM} \right] * 100$$



Donde:

FDT = fibra dietética total

R = peso del residuo (mg) o $(P_2 - P_1)$

P = peso promedio de la proteína (mg)

C = peso promedio de las cenizas (mg)

PM = peso de la muestra (mg)

B = corrección por el blanco

Quando se tienen los valores de porcentaje de FDT de cada uno de los cuadruplicados se calcula el promedio \pm desviación estándar de la muestra.

✓ **Determinación de fibra dietética total corregida:**

$$\% FDT_c = \%FDT - \%AR$$

Donde:

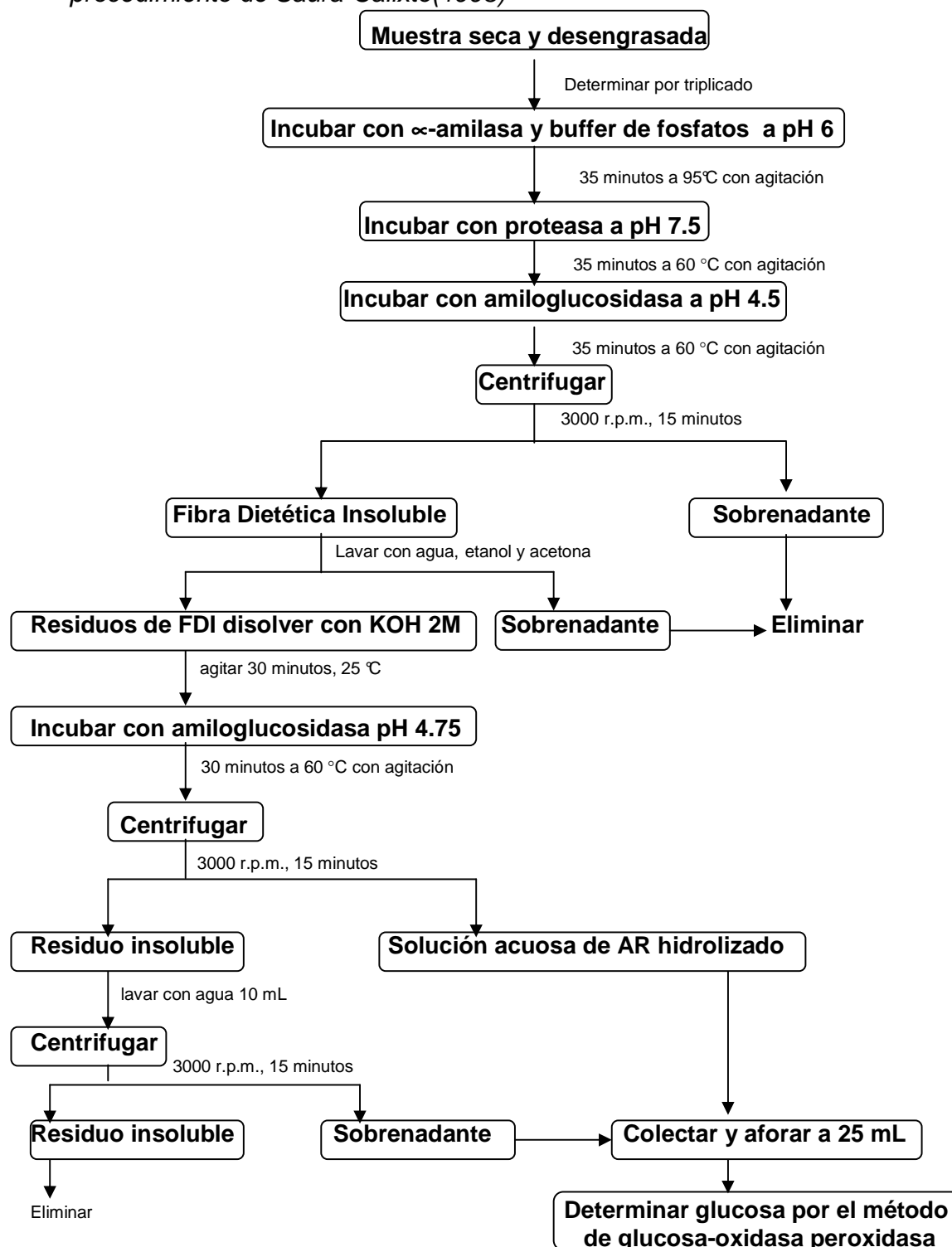
%FDT_c = % de fibra dietética total corregida

%FDT = % de fibra dietética total

%AR = % de almidón resistente



FIGURA 2. Esquema de la determinación de Almidón Resistente, según el procedimiento de Saura-Calixto(1993)





Materias primas y preparación de las mismas.

Las materias primas y la preparación de éstas es igual que en la determinación de fibra dietética.

5.3 Determinación de almidón resistente.

Según el Método Saura-Calixto et al, 1993.

✓ Fundamento

La técnica consiste en hidrólisis secuenciales con α -amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa que finalmente dejan un residuo de fibra dietética insoluble donde se determina el AR, solubilizándolo e hidrolizando nuevamente con amiloglucosidasa hasta liberar monómeros de glucosa, que son cuantificados colorimétricamente por un método enzimático y espectrofotométrico con un sistema de glucosa oxidasa-peroxidasa-cromógeno.

Para determinar la concentración de glucosa liberada en el ensayo enzimático, la glucosa es oxidada por la glucosa oxidasa en solución acuosa a ácido glucónico y peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno reacciona en presencia de la peroxidasa con el ácido 4-hidroxibenzoico y la 4-aminofenazona, para formar un cromóforo de color rojo. La intensidad del color que se desarrolla es proporcional a la concentración de glucosa y puede ser medida espectrofotométricamente entre 460 y 560 nm.

✓ Material y reactivos.

Reactivos

1. Sigma, TFD-100 A Kit- Total Dietary Fiber Assay Kit. Este equipo contiene suficientes reactivos para realizar 165 análisis.

α -amilasa, estable al calor SIGMA A 3306



-
- Proteasa SIGMA P 3910
Amiloglucosidasa SIGMA A 9913
Celita™, lavada con ácido C8656
2. Amiloglucosidasa; E.C.3.2.1.3, Boehringer Mannheim No. 102857
 3. Reactivo para la determinación de glucosa (oxidasa/peroxidasa) Hycel No. 70458
 4. Kit-Total Dietary Fiber Assay Control (SIGMA TDF-C10). Cada frasco contiene suficientes reactivos para aproximadamente 10 análisis. (Estos reactivos se utilizan en el caso de sospechar contaminación o caducidad de los reactivos).
 5. Éter de petróleo 35-60°C Reactivo Analítico.
 6. Alcohol etílico Reactivo Analítico.
 7. Acetona; reactivo Reactivo Analítico.
 8. Fosfato de sodio monobásico anhidro; Reactivo Analítico.
 9. Fosfato de sodio dibásico, anhidro; Reactivo Analítico:
 10. Hidróxido de sodio 1 N
 11. Ácido clorhídrico 2 N
 12. Acetato de sodio Reactivo Analítico.
 13. Ácido acético; Reactivo Analítico.
 14. Hidróxido de potasio 2 M
 15. Solución estándar de glucosa 0.5 mg/mL

Aparatos y Material

1. Fuente de vacío. Con trampa para prevenir la contaminación en caso de que se pase líquido.
2. Baño de agua hirviendo
3. Baño de agua a 60°C
4. Balanza analítica capaz de pesar hasta 0.1 mg
5. Potenciómetro
6. Centrífuga (3000 g)



-
7. Placas de agitación con calentamiento
 8. Tubos de centrifuga de 50 mL de polipropileno (resistentes a solventes) con tapa
 9. Barras magnéticas de 22 x 8 mm
 10. Pipetas automáticas de 10-50 μL y 50-200 μL
 11. Matraces aforados de 25 a 1000 mL

PREPARACIÓN DE REACTIVOS.

Nota: se debe usar agua destilada o desmineralizada para hacer las soluciones. Una vez preparadas las soluciones, se deben tapar bien y guardar a temperatura ambiente, excepto la solución estándar de glucosa (0.5 mg/mL) que se conserva en refrigeración.

1. Amortiguador de fosfatos, 0.08 M, pH 6.0.

Disolver 1.4 g de Na_2HPO_4 anhidro y 8.4 g de NaH_2PO_4 anhidro en aproximadamente 700 mL de agua. Diluir a 1 L con agua. Verificar el pH y ajustar si es necesario con NaOH o H_3PO_4 . Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

2. Solución de Hidróxido de sodio, 0.275 N.

Diluir 275 mL de solución de NaOH 1.0 N a 1 L con agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

Solución de ácido clorhídrico, 0.325 M.

3. Solución de HCL 0.325 N

Diluir 325 mL de solución HCl 1.0 M a 1 L de agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.



4. Amortiguador de acetatos 0.4 M pH 4.75

Soluciones concentradas

A: 0.8 M de ácido acético (48 mL en 1000 mL de agua)

B: 0.8 M de acetato de sodio (65.62 g de $C_2H_3O_2Na$ o 108.82 g de $C_2H_3O_2Na \cdot 3H_2O$ en 1000 mL de agua)

Mezclar 200 mL de A + 300 mL de B, diluir a 750 mL con agua, ajustar el pH a 4.75 y aforar a 1000 mL.

5. Solución de hidróxido de potasio 2 M (preparada al momento de utilizarla)

Pesar 5.6 g de KOH, disolver en agua y aforar a 50 mL

6. Estándar de glucosa 0.5 mg/mL

Pesar 50 mg de glucosa (previamente secada en la estufa) y aforar con agua desionizada a 100 mL. Conservar a $-20^{\circ}C$ en alícuotas de 20 mL.

7. Solución de proteasa (preparar al momento de utilizarse)

Pesar 10 mg de proteasa en 1000 μ L de buffer de fosfatos (pH= 6.0)

✓ Procedimiento

Instrucciones de preparación:

Las muestras al igual que para la determinación de fibra dietaria, son liofilizadas, molidas y tamizadas por una malla de 0.3-0.5 mm.

Si el contenido de grasa es mayor del 5%, desengrasar con éter de petróleo y hacer el cálculo de pérdida de peso por la eliminación de grasa en el cálculo final de % de almidón resistente.



✓ **Determinación de almidón resistente**

Obtención de Residuos Insolubles de Fibra Dietética (FDI)

1. Pesar 100 mg de muestra en un tubo de centrifuga con tapa de 50 mL por triplicado, agregar 10 mL de buffer de fosfatos pH 6.0, 0.08 M, ajustar a pH 6.0 ± 0.2 si es necesario con NaOH 0.275 N o HCl 0.325 N.
2. Adicionar 10 μ L de α -amilasa, mezclar. Los tubos tapados se colocan en el baño de agua hirviendo por 35 minutos con agitación constante.
3. Sacar los tubos del baño de agua y enfriar a temperatura ambiente, ajustar el pH a 7.5 ± 0.1 con NaOH 0.275 N (aproximadamente 2 mL).
Adicionar la solución de proteasa (100 μ L) preparada al momento de usarse (proteasa 10 mg/mL de buffer de fosfatos pH 6.0, 0.08 M).
4. Incubar a 60° C por 35 minutos con agitación constante (medir el tiempo cuando la temperatura dentro del tubo sea de 60° C) sacar los tubos y enfriar a temperatura ambiente.
5. Ajustar el pH a 4.5 ± 0.1 adicionando aproximadamente 2 mL de HCl 0.325 N.
6. Añadir 60 μ L de amilogucosidasa (sigma A 3306), mezclar e incubar los tubos por 35 minutos a 60° C con agitación continua.
7. Sacar los tubos y enfriar a temperatura ambiente y centrifugarlos a 3000 r.p.m. por 15 minutos y finalmente descartar el sobrenadante.
8. La pastilla de fibra dietética insoluble se lava sucesivamente con 10 mL de agua destilada, 10 mL de etanol al 96 % y 1 mL de acetona, repetir la centrifugación después de cada adición y se descartan los sobrenadantes.

Hidrólisis de almidón resistente

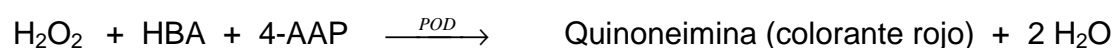
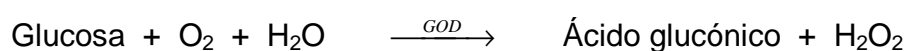
1. Adicionar a los residuos de FDI 6 mL de KOH 2 M recién preparada, mezclar y agitar por 30 minutos a temperatura ambiente.



2. Agregar a los tubos 3 mL de buffer de acetatos (0.4 M, pH 4.75) y aproximadamente 5 mL de HCl 2 N. Ajustar el pH a 4.75
3. De la suspensión de amilogucosidasa (no. 102857), pipetear 60 μ L a cada tubo, se mezcla la solución y se incuba a 60° C por 30 minutos con agitación constante (medir el tiempo cuando la temperatura dentro del tubo sea de 60° C).
4. Las muestras se enfrían a temperatura ambiente y se centrifugan a 3000 r.p.m. por 15 minutos y los sobrenadantes se colectan en el matraz aforado.
5. Las pastillas se resuspenden en 10 mL de agua y se repite la centrifugación.
6. Los sobrenadantes se combinan con el agua de lavado y se aforan a un volumen final de 25 a 1000 mL con agua, dependiendo del contenido de AR de la muestra.

Análisis de glucosa total en los sobrenadantes.

✓ **Determinación de glucosa por el método de glucosa-oxidasa:**



GOD: Glucosa oxidasa

HBA: Ácido 4- hidroxibenzoico

4-AAP: 4-aminofenazona

POD: peroxidasa.

La intensidad del color producto de esta reacción, es proporcional a la concentración de glucosa y puede ser medida espectrofotométricamente entre 460 y 560 nm.



Curva patrón de glucosa:

Se pipitea en matraces aforados de 10 mL: 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 y 7.0 mL de la solución estándar de glucosa (0.5 mg/mL) y se lleva al volumen indicado con agua destilada. Las diluciones equivalen a 25, 50, 150, 250 y 350 µg/mL respectivamente de glucosa.

Determinación de Glucosa:

1. Pipetear en tubos de ensayo (13 x 100 mm) 3 mL del reactivo de glucosa (a temperatura ambiente).
2. Adicionar 200 µL de la muestra o estándar o agua a los tubos con reactivo, por triplicado. Dejar a temperatura ambiente por 30 minutos (alejados de la luz solar directa).
3. Leer absorbancia a 520 nm contra el blanco de reactivos.

Interpolar el valor de absorbancia de las muestras en la curva estándar de glucosa para obtener la concentración de glucosa en los sobrenadantes.

✓ **Cálculos**

Determinación de almidón resistente.

$$\% AR = \left[\frac{(\mu\text{g glucosa/mL}) * (\text{aford})}{1000} \right] * (0.9) * \left(\frac{100}{\text{mg muestra}} \right)$$

Donde:

AR = almidón resistente

µg glucosa/mL = valor de glucosa interpolado en la curva patrón

1/1000 = factor para convertir µg a mg

0.9 = peso molecular de almidón/peso molecular de glucosa = 162/180 = 0.9



5.4 Análisis estadístico.

Los resultados de fibra dietética total y almidón resistente son el valor de la media \pm desviación estándar de cuatro y tres determinaciones respectivamente. La comparación de la media de muestras en forma cruda y cocida de cada tubérculo se realizó aplicando la *t*-student ($\alpha = 0.05$). La comparación entre muestras sólo las muestras crudas y sólo las cocidas se hizo mediante un análisis de varianza de un factor (ANOVA), con un intervalo de confianza de 0.05 (Millar 1992); la comparación de la media de todas las muestras también fueron analizadas por una prueba de rango múltiple (Duncan), donde se empleó un programa estadístico SPSS versión 10.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En la tabla 4, se muestra el contenido de humedad de cada tubérculo tanto en su forma cruda como en la cocida lo cual es importante debido a que este es el valor real de lo consumido en la dieta y en general se observa que entre mayor sea el contenido de agua en los tubérculos, el valor de fibra dietética total será menor, por ejemplo en el caso de la papa morada cruda la humedad es mayor que el resto de los tubérculos estudiados y por lo tanto el valor de FDT de éste es el menor de todos.

Tabla 4. Cantidad de fibra dietética total y humedad en tubérculos (g/100 g de muestra húmeda)

MUESTRA	% HUMEDAD ¹		FDT ²	
	CRUDO	COCIDO	CRUDO	COCIDO
Papa alpha	75.26	94.09	2.47 ± 0.04 ^a	0.31 ± 0.003 ^e
Papa morada	84.51	94.54	1.14 ± 0.02 ^b	0.51 ± 0.01 ^f
Camote amarillo	66.29	84.17	2.20 ± 0.04 ^c	1.53 ± 0.04 ^g
Camote naranja	71.7	90.81	2.03 ± 0.03 ^d	1.01 ± 0.02 ^h
Yuca	58.78	77.1	2.04 ± 0.02 ^d	1.22 ± 0.02 ⁱ

¹ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 5%.

² Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=4). C.V. ≤ 5%.

^{a-j} Letras diferentes en una misma fila o columna, expresan que existen diferencias estadísticamente significativas (p≤ 0.05) entre los tubérculos.

En la tabla 5 se muestran los resultados de FDT en base seca, es decir, g de fibra dietética por cada 100 g de muestra seca; en general se observa que es mayor la cantidad de fibra en los productos cocidos que en los crudos lo cual puede deberse a la cocción aplicada provocando la formación de ciertos complejos con lípidos, por ejemplo, que los hace menos disponibles a las enzimas digestivas. Autores como Reistad & Hagen (2003) y Thed & Philips (2000) reportaron en diversos estudios que se observa el mismo efecto, es decir, que la cocción convencional aumenta el contenido de FDT en papas. El contenido de FDT en los todos los tubérculos estudiados muestra diferencias estadísticamente significativas.



De los tubérculos estudiados, se observa que antes de que sean sometidos a cocción, es la papa morada la que tiene mayor contenido de fibra dietética total seguido por el camote naranja y la yuca es el que tiene menos contenido de FDT. Después de aplicarles cocción convencional, es el camote naranja el tubérculo con mayor contenido de FDT seguido por la papa *alpha* y situándose en último lugar la yuca. Lo anterior es importante para fomentar en la población un mayor consumo de papas y camote para así obtener beneficios en la salud tales como aumento en la masa fecal y reducción del índice glicémico entre otros (Díaz 1996).

Tabla 5. Cantidad de fibra dietética total en tubérculos (g/100 g de muestra seca)

MUESTRA	FDT ¹	
	CRUDO	COCIDO
Papa <i>alpha</i>	5.26 ± 0.07 ^a	9.97 ± 0.19 ^e
Papa <i>morada</i>	7.34 ± 0.18 ^b	9.34 ± 0.22 ^f
Camote amarillo	6.51 ± 0.12 ^c	9.66 ± 0.35 ^g
Camote naranja	7.18 ± 0.14 ^b	10.77 ± 0.17 ^h
Yuca	4.94 ± 0.06 ^d	5.33 ± 0.09 ⁱ

¹ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=4). C.V. ≤ 5%.

^{a-i} Letras diferentes en una misma fila o columna, expresan que existen diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05) entre los tubérculos

En la tabla 6 se observa el valor real de almidón resistente que es consumido en la dieta ya que se muestra en base húmeda, al igual que en la tabla 6, en los tubérculos crudos, es la papa morada la que tiene el mayor contenido de AR y la yuca el tubérculo con menor contenido de AR; para los productos cocidos, se detecta el mismo efecto, es decir, el camote naranja es el tubérculo con mayor contenido de AR tanto en base seca como en base húmeda.



Tabla 6. Cantidad de almidón resistente y humedad en tubérculos (g/100 g de muestra húmeda)

MUESTRA	%HUMEDAD ³		AR ⁴	
	CRUDO	COCIDO	CRUDO	COCIDO
Papa alpha	75.26	94.09	0.16 ± 0.010 ^a	0.08 ± 0.003 ^f
Papa morada	84.51	94.54	0.23 ± 0.008 ^b	0.11 ± 0.010 ^f
Camote amarillo	66.29	84.17	0.14 ± 0.010 ^c	0.73 ± 0.058 ^g
Camote naranja	71.7	90.81	0.10 ± 0.006 ^d	0.35 ± 0.003 ^h
Yuca	58.78	77.1	0.04 ± 0.000 ^e	0.09 ± 0.000 ^f

³ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 5%.

⁴ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 10%.

^{a-h} Letras diferentes en una misma fila o columna, expresan que existen diferencias estadísticamente significativas (p≤ 0.05) entre los tubérculos.

En la tabla 7 se observa el contenido de almidón resistente en tubérculos crudos y cocidos, siendo mayor este valor en los productos cocidos, el efecto anterior puede explicarse debido a la retrogradación del almidón que sufren los tubérculos después del tratamiento térmico aplicado, es decir, que como consecuencia de la retrogradación, los gránulos de almidón se modifican dando formas nuevas que las enzimas digestivas son incapaces de llevar a cabo su función. En este sentido, Saura-Calixto y cols (1993), propusieron que la retrogradación de los almidones se debe a los puentes de hidrógeno que se establecen entre las cadenas de amilosa y que las proteínas, los taninos y almidones también interactúan con los hidratos de carbono. Proponen que la asociación entre los almidones y proteínas, taninos y proteínas y taninos y almidones que se establecen en diferentes alimentos de, origen vegetal después de su cocción causan un aumento en la, FDT. Esto podría explicar el aumento observado en los tubérculos estudiados. Particularmente cabe destacar que el camote naranja es el tubérculo con mayor contenido de almidón resistente y así mismo contiene diez veces más almidón resistente en su forma cocida que en la cruda, con lo cual se dice que en la cocción convencional hay un incremento de cadenas lineales de la amilosa, lo cual favorece el fenómeno de la retrogradación, razón por la cual aumenta el contenido de almidón resistente en el camote cocido.



Esta versión está apoyada por autores Reistad & Hagen (1986) donde se trabajó con papas crudas y cocidas y se observó el mismo efecto.

Tabla 7. Cantidad de almidón resistente en tubérculos (g/100 g de muestra seca)

MUESTRA	AR ¹	
	CRUDO	COCIDO
Papa alpha	0.66 ± 0.03 ^a	1.43 ± 0.06 ^f
Papa morada	1.50 ± 0.05 ^b	2.02 ± 0.10 ^g
Camote amarillo	0.42 ± 0.03 ^c	4.59 ± 0.36 ^h
Camote naranja	0.36 ± 0.02 ^d	3.76 ± 0.03 ⁱ
Yuca	0.10 ± 0.01 ^e	0.40 ± 0.01 ^j

¹ Los valores presentados son el promedio + desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 10%.

^{a-j} Letras diferentes en una misma fila o columna, expresan que existen diferencias estadísticamente significativas (p ≤ 0.05) entre los tubérculos.

Suponiendo que el almidón resistente no formara parte de la fibra dietética, como lo consideran algunos autores, los resultados en los tubérculos estudiados serían los expuestos en la tabla 8, donde se modifica la tendencia que hasta el momento se había manejado, es decir, en el camote amarillo, se tiene mayor contenido de fibra dietética total en la forma cruda que en la cocida, lo cual es poco probable considerando que el tratamiento térmico aplicado induce o facilita la formación de complejos con lípidos, proteínas y taninos, entre otros que provocan que las enzimas digestivas no realicen su función. Por ello se puede decir que el almidón resistente sí forma parte de la fibra dietética total.

Tabla 8. Cantidad fibra dietética total corregida. (g/100 g de muestra seca)

MUESTRA	FDT ⁵		AR ⁶		FDTc	
	CRUDO	COCIDO	CRUDO	COCIDO	CRUDO	COCIDO
Papa alpha	5.26 ± 0.07 ^a	9.97 ± 0.19 ^e	0.66 ± 0.03 ^a	1.43 ± 0.06 ^f	4.6	8.54
Papa morada	7.34 ± 0.18 ^b	9.34 ± 0.22 ^f	1.50 ± 0.05 ^b	2.02 ± 0.10 ^g	5.84	7.32
Camote amarillo	6.51 ± 0.12 ^c	9.66 ± 0.35 ^g	0.42 ± 0.03 ^c	4.59 ± 0.36 ^h	6.09	5.07
Camote naranja	7.18 ± 0.14 ^b	10.77 ± 0.17 ^h	0.36 ± 0.02 ^d	3.76 ± 0.03 ⁱ	6.82	7.01
Yuca	4.94 ± 0.06 ^d	5.33 ± 0.09 ⁱ	0.10 ± 0.01 ^e	0.40 ± 0.01 ^j	4.84	4.93

⁵ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=4). C.V. ≤ 5%.

⁶ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 10%.



En la tabla 9, los valores de FDT en las muestras crudas tienen un rango estrecho de variación de 5 a 7 gramos. Los valores promedio entre papas y camote son semejantes y el valor menor es el de la yuca. Por efecto de la cocción los niveles de FDT aumentan en las papas y camotes cocidos y su rango de variación fluctúa entre 9 y 10 g. En la yuca la cocción tiene un menor efecto sobre la FDT ya que permanecen casi igual. En relación al AR en los tubérculos crudos es importante resaltar los niveles elevados en las papas en comparación de los camotes y la yuca. Probablemente este resultado se debe a que, como se reportó en los antecedentes, la papa cruda es uno de los vegetales ricos en AR². Con la cocción el AR de las papas sufre un aumento discreto en su concentración al igual que la yuca, en cambio es notable el aumento de los niveles en los camotes cocidos. Este resultado sugiere que los camotes son ricos en amilosa y esto facilita la formación de almidón retrogradado. En la yuca la FDT varía muy poco con la cocción. Tiene una concentración muy baja de AR y su aumento con el tratamiento térmico también es muy bajo. Probablemente sus niveles de almidón son bajos o tienen baja capacidad de retrogradación después de aplicarles la cocción convencional.

Tabla 9. Cantidad FDT y AR promedio. (g/100 g de muestra seca)

MUESTRA	FDT ⁷		AR ⁸	
	CRUDO	COCIDO	CRUDO	COCIDO
Papa (alpha y morada)*	6.3 ± 0.18	9.655 ± 0.19	1.08 ± 0.04	1.725 ± 0.08
Camote (amarillo y naranja)**	6.845 ± 0.13	10.215 ± 0.35	0.39 ± 0.02	4.175 ± 0.36
Yuca ***	4.94 ± 0.06	5.33 ± 0.09	0.1 ± 0.01	0.4 ± 0.01

* Valor único de la papa, promedio de variedad alpha y morada

** Valor único del camote, promedio de variedad amarillo y naranja

*** Valor único de la yuca

⁷ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=4). C.V. ≤ 5%.

⁸ Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). C.V. ≤ 10%.



Es importante destacar la cocción en los alimentos, ya que esta operación es necesaria para el consumo de los mismos en la población, y a partir de ésta se pueden obtener beneficios directos a la salud como es la destrucción de microorganismos patógenos, además en el caso de los tubérculos, el contenido de FDT y AR aumentó después de dicho tratamiento, lo cual es muy importante porque entre las funciones de estos compuestos se encuentra la baja incidencia de padecer cáncer de colon, y la regulación del índice glicémico entre otros.

Los métodos para la cuantificación de FDT y AR emplean enzimas, por lo tanto se logra simular de forma más real las condiciones del tracto gastrointestinal del hombre obteniendo así datos más exactos de los compuestos mencionados, esto es de gran importancia porque posteriormente puede publicarse una amplia lista con los valores reales de FDT y AR en diversos grupos de alimentos.



7. CONCLUSIONES:

- Los tubérculos estudiados en general son ricos en fibra dietética total, y están dentro de un rango de concentración semejante.
- La cocción convencional genera un aumento de la concentración de FDT en proporción semejante en papas y camotes en cambio en la yuca casi no tiene efecto.
- El AR en los productos crudos estudiados es mas elevado en las papas que en los camotes y yuca probablemente por que las papas crudas son ricas en AR2.
- De igual forma que en la FDT, el AR de los tubérculos aumenta después de aplicar el tratamiento térmico debido a la retrogradación que sufre el almidón por lo cual las enzimas digestivas son incapaces de llevar a cabo su función. El aumento notablemente de AR fue en los camotes y tanto papas como la yuca aumentaron su concentración discretamente.



8. BIBLIOGRAFÍA:

American Association Of Cereal Chemists AACC (2001).

Achata A. “El Camote (Batata) en el Sistema Alimentario del Perú: El caso del Valle de Cañeta”, Lima, Instituto Nacional de investigación Agraria y Agroindustrial INIAA, Centro Internacional de la Papa CIP (1990).

Almanzan A. M. & Zhou X. “Total Dietary fiber of some green and root vegetables obtained at different ethanol concentrations”, Food Chemistry 53: 215-218 (1995).

Alonso A. F. “El Cultivo de la Patata”, España, Ediciones Mundi-Prensa, pp 13, 19,23,24 (1996).

AOAC. Official Methods of Analysis AOAC. International, 15th Edition, Vol. I, Method 934.01(1990).

AOAC. Official Methods of Analysis AOAC. International, 16th Edition, Vol. II, Section 45.4.07, Method 985.29 (1995).

Asp, N.G., Furda, I., De Vries, J. W., Schwelser, T. F., Prosky, L., Dietary fiber definition and analysis. American Journal of Clinical Nutrition. 48: 688- 691 (1988).

Bello L. A., Memorias del Curso Internacional “Almidón y Fibra dietética: química, tecnología y biodisponibilidad”. Yautepec, pp 39-55, 101-105, (2003).

Biliaderis, C.G., The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 69, 60-78 (1991).



Blanco-Metzler A., Tovar J., Fernández-Piedra M., Caracterización Nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica [en línea, disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222004000300011&script=sciarttext&lng=es>; internet; accesado en Septiembre 2004]

Buléon, A, Colonna, P. et Leloup, V., Almidones y derivados de industrias en el sector de los cereales. Industrias de la Alimentación y agroindustrias, pp 515-532 (1990).

Carreón Rodríguez Ofelia, “Contenido de Fibra Dietaria y Almidón Resistente en Cereales, Leguminosas y Tubérculos” Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, 2005.

CIP: Centro Internacional de la Papa. Producción y consumo del camote [en línea disponible en <http://www.cipotato.htm> org/espanol/ camote/camote. , accesado 2004]

Chen W. J., Anderson J.W., Jenkins D. “Propionate may mediate the hypocholesterolemic effect of certain soluble plant fiber in cholesterol fed rats”, Proc Soc Exp Biol Med 175: 215-218. (1984).

Chen W. J., Anderson J.W., “Hypocholesterol effect of soluble fibers, Dietary fibers basic and clinical aspects”, U.S.A:, Plenum Press pp 275-286 (1984).

Cummings J. H., “Short Chain fatty acids in the huan colon” 22:763-769 (1981).



Díaz M. M. “Diferentes Fuentes de Fibra Dietética en México, su composición, propiedades fisicoquímicas y posibles aplicaciones” Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química, 1996; 6-9,16-21.

Englyst H. N. & Cummings J.H., “Clasificación and measurement of nutritionally important starch fraction, European Journal of Clinical Nutrition, 46:2, S33-S50 (1992).

FAO. Producción y consumo de yuca [en línea disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/004/x0307s/x0307s12.htm accesado 1998]

Fersini A., “Horticultura Práctica”, México, Editorial Diana, pp 69,72,84,85 (1982).

Fratti-Munari A.C., Fernández J.A., De la Riva H., Ariza A. R., Torres M.C., “Efecto del nopal (*opuntia sp*) sobre lípidos séricos, la glicemia y el peso corporal”, México, Archiv Invest Med 14:117-125 (1983).

Fratti-Munari A.C., Flores G. M.A., Ariza A. R., Islas A. S., Chávez N.A. “Efecto de diferentes dosis de mucílago de plantado psyllum en la prueba de tolerancia a la glucosa”, México, Archiv Invest Med 20:147-151 (1989).

Lai, L.S. and Kokini, J.L., Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). Biotechnology Progress, 7, 251-266 (1991).

Luallen, T.E., Structure, characteristics, and uses of some typical carbohydrate food ingredients. Cereal Foods World, 33, 924-927 (1988).

Lund, D., Influence of time, temperature, moisture, ingredients and processing conditions on starch gelatinization. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 20, 249-273 (1984).



Maroto B. J. V., Horticultura Herbácea Especial, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, pp 241 (1989).

Millar I. Probabilidad y Estadística para Ingenieros, México, Editorial Prentice may Hispanoamericana, pp 248,249,582 (1992).

OECD Enviromental Health and Safety Publications. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Potatoes: Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Toxicants [en línea, disponible en <http://www.oecd.org/ehs/>; internet; accesado 2002]

Platzman A., Dairy Field [en línea, disponible en [http://www .findarticl es.com /p/articles/mi_qa3846/is_200104/ai_n8949490](http://www.findarticl es.com /p/articles/mi_qa3846/is_200104/ai_n8949490); internet; accesado en Abril 2001].

Reistad R. & Hagen B.F., “Dietary fibre in Raw and Cooked Potatoes”, Food Chemistry 19: 189-196 (1986).

Rosado J. L. “Fibra dietética: definición, propiedades fisicoquímicas y fisiológicas y sus implicaciones en la salud”, Programa INN, Serie Educación, Comunidad y Salud Pública 5, México (1989)

SAGARPA Panorama Mundial de la papa [en línea disponible en <http://www.siea.sagarpa. I, gob.mx/InfO Mer/analisis/Anpapa.htm> accesado 2001]

Saura-Calixto, F., Goñi, I.,Bravo,L and Mañas, E. “ Resistent Starch in Foods: Modified Method for Dietary Fiber Residues”, Journal Food Science 58 (3): 642,643. (1993)



Terranova Enciclopedia Agropecuaria. Producción Agrícola 2, Colombia, Terranova Editores, pp 341,347-349 (1995).

Thed S. T. & Phillips R.D. “Changes of Dietary fiber and starch composition of processed potato products during domestic cooking”, Food Chemistry 52 (3), pp 301-304 (1995).

Utilización de Alimentos Tropicales: Raíces y Tubérculos, Roma, Estudio FAO. Alimentación y Nutrición 47/2 ONU para la Agricultura y la Alimentación, pp 3,4,8 (1990).

Woolfe J. Sweet Potato: An Untapped Food Source, Great Britain, Ed. Cambridge University Press, pp 44 (1992).