



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de Naranja aplicando un Tratamiento con Vapor

TESIS

Para obtener el título de
INGENIERO EN ALIMENTOS

Presenta:

Nerio Priego Mendoza

Director de Tesis:

M.C. Jesús G. López Luna

Huajuapán de León, Oax., Diciembre de 2007.

Este trabajo se realizó en las instalaciones de los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Alimentos (Laboratorio de Química, Laboratorio de Ciencias Químico-Biológicas, Laboratorio de Ciencia de los Alimentos y Taller de Procesamiento de Alimentos); en el Laboratorio de Minería de la Universidad Tecnológica de la Mixteca y en el Laboratorio de Ciencia de los Alimentos y Bromatología de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

DEDICATORIAS.

Con una mirada hacia el horizonte
Me detengo para reflexionar
Positivamente sobre mi viaje
Durante estos años a esta cumbre.
Por lo tanto es con gracias inmensas
Que dedico ese trabajo a Dios, que por su gracia me procuró.
A mis padres, cuyo amor inmenso, esfuerzo, sacrificio y enseñanzas
Me han guiado hasta aquí.
A mis hermanos, por ser parte de mi camino.
A toda mi familia y amigos, cuya perspicacia espiritual y emocional,
También me confían en un sentido más profundo
De inspiración.

npm

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por su fuerza divina durante los años en mis estudios pues sin Él nada de lo que soy, nada de lo que tengo y nada de lo que he logrado tendría sentido.

A mis padres por darme la vida, su amor y cariño, por todo el esfuerzo realizado, por ser parte de mis pruebas y victorias, visiones y logros.

Gracias y apreciación a mi consejero principal el M.C. Jesús G. López Luna por creer en mí y permitírseme la oportunidad muy necesaria de trabajar con él en este proyecto para completar mis estudios.

Al Dr. David Betancur Ancona por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

A mis Sinodales los M.C. Paula Guadarrama, Carlos Hernández y Gustavo de la Vega, por sus correcciones, comentarios y consejos oportunos para el mejoramiento de este trabajo.

Al Dr. Raul Salas Coronado por sus conocimientos transmitidos durante el seminario de Tesis.

A mis Profesores, guías y consejeros, por sus valiosos conocimientos y experiencias transmitidos, por formarme en un ambiente de calidad, dedicación y trabajo.

Al personal de los Laboratorios de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, así como al de los Laboratorios de Ciencia de los Alimentos y Bromatología de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán, por su apoyo con material, equipos y reactivos, supervisión, consejos, ayuda y amistad.

A mis compañeros quienes fueron el condimento necesario para darle sabor a cada día de esta carrera.

A todos mis amigos por su valiosa amistad por enseñarme y recordarme lo necesario e importante que se hace tenerlos todo los días.

Agradezco sinceramente a todos los que de alguna forma me ayudaron e hicieron posible la realización de este trabajo, como a quienes me apoyaron y estuvieron conmigo durante este periodo y el de la carrera.

A todos Gracias.

INDICE GENERAL.

Índice general.	v
Lista de cuadros.	vii
Lista de figuras.	viii
Lista de abreviaturas.	ix
Resumen.	10
1. Introducción.	11
2. Antecedentes.	12
2.1. Fibra Dietética (FD): Definición, Clasificación y Composición.	12
2.2. Propiedades funcionales de la Fibra Dietética (FD).	15
2.3. Propiedades fisiológicas de la Fibra Dietética (FD).	17
2.4. Tratamiento para la obtención de Residuos Fibrosos (RF).	19
2.5. Aprovechamiento de residuos de naranja.	22
2.6. Obtención de Residuos Fibrosos (RF) de naranja.	24
3. Objetivos.	27
3.1. Objetivo general.	27
3.2. Objetivos específicos.	27
4. Metodología.	28
4.1. Determinación de la curva de pérdida de humedad de los Residuos Fibrosos (RF).	28
4.1.1. Naranjas.	28
4.1.2. Obtención del Residuo Fibroso (RF) (sáculos).	29
4.1.3. Determinación de la curva de pérdida de humedad.	29
4.2. Determinación de las condiciones de procesamiento con vapor de los Residuos Fibrosos (RF).	29
4.2.1. Procesamiento de escaldado con vapor.	29
4.2.2. Diseño experimental.	32
4.2.3. Cuantificación de Fibra Dietética Soluble (FDS).	32
4.2.4. Análisis Estadístico.	34
4.3. Caracterización y comparación de los Residuos Fibrosos (RF) obtenidos mediante escaldado con vapor, escaldado por ebullición y un control sin tratamiento	34
4.3.1. Naranjas.	35

4.3.2. Obtención de los Residuos Fibrosos (RF).	36
4.3.2.1. Procesamiento de escaldado con vapor	36
4.3.2.2. Procesamiento de escaldado por ebullición.	36
4.3.2.3. Procesamiento control.	38
4.3.3. Caracterización química y microbiológica.	39
4.3.3.1. Composición proximal.	39
4.3.3.2. Contenido de Fibra Dietética Total, Soluble e Insoluble.	39
4.3.3.3. Caracterización microbiológica.	39
4.3.4. Comparación estadística de resultados.	40
5. Resultados y Discusión.	41
5.1. Secado de los sáculos de naranja.	41
5.2. Fracciones de Fibra dietética Soluble (FDS) en los Residuos Fibrosos (RF) escaldados por vapor.	43
5.3. Composición proximal de los Residuos Fibrosos (RF).	46
5.4. Fracciones de Fibra Dietética (FD).	50
5.5. Caracterización microbiológica.	52
6. Conclusiones.	56
7. Recomendaciones.	57
8. Referencias.	58
8.1 Otras fuentes consultadas.	63

LISTA DE CUADROS.

1.	Clasificación de la Fibra Dietética (FD) con base en sus constituyentes.	14
2.	Contenido de Fibra Dietética Soluble (FDS), Fibra Dietética Insoluble (FDI) y Relación FDS/FDI en Residuos Fibrosos (RF) de naranja (%b.s.).	24
3.	Diseño experimental del procesamiento con vapor.	32
4.	Contenido de Fibra Dietética Soluble FDS (%b.s.) de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja escaldados con vapor.	43
5.	Composición proximal (%b.s.) y contenido de FDT (%b.s.) de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja.	46
6.	Contenido de Fibra Dietética Soluble (FDS), Insoluble (FDI) (%b.s.) y Relación FDS/FDI de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja.	50
7.	Cuenta de microorganismos en Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja (UFC/g).	52
8.	Cuenta de microorganismos en Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja secados y molidos (UFC/g).	53

LISTA DE FIGURAS.

1.	Residuos de cáscaras y sáculos de naranja.	22
2.	Sáculos de naranja.	24
3.	Proceso general para la determinación de las condiciones de procesamiento con vapor para la obtención de Residuos Fibrosos (RF).	28
4.	Esquema del tratamiento térmico de los Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.	30
5.	Obtención de Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.	31
6.	Diagrama general para la comparación de los tratamientos de obtención de Residuos Fibrosos (RF) de naranja (método de vapor, referencia y control).	35
7.	Obtención de Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado por ebullición. Procedimiento modificado de Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, (2001).	37
8.	Obtención de Residuos Fibrosos (RF). Procedimiento control.	38
9.	Curvas de pérdida de peso y humedad de los sáculos de naranja.	41
10.	Obtención de los Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.	45

LISTA DE ABREVIATURAS.

AE	Actividad Emulsificante	Ton	Toneladas
° C	Grados Celsius	b.s	Base seca
CRA	Capacidad de Retención de Agua	g	gramos
CRA	Capacidad de Retención de Aceite	µm	Micrómetros
DMS	Diferencia Mínima Significativa	mg	Miligramos
ELN	Extracto libre de Nitrógeno	mL	Mililitros
EE	Estabilidad de la Emulsión	mm	Milímetros
FD	Fibra Dietética	min	Minutos
FDI	Fibra Dietética Insoluble	NOM	Norma Oficial Mexicana
FDS	Fibra Dietética Soluble	pH	Potencial de Hidrógeno
FDT	Fibra Dietética Total	p/v	Relación Peso/Volumen
H	Humedad	P	Probabilidad
h	horas	Patm	Presión Atmosférica
L	Litro	rpm	Revoluciones por Minuto
N	Normalidad	v/v	Relación Volumen/Volumen
RF	Residuos Fibrosos	UFC/g	Unidades Formadoras de Colonias por gramo

RESUMEN

La Fibra Dietética (FD) es el remanente comestible de las plantas y polisacáridos resistentes a las enzimas digestivas humanas, la cual ha tenido beneficios en el tratamiento de algunas enfermedades como cáncer de colon, diabetes y obesidad. La FD es clasificada como Fibra Dietética Soluble (FDS) y Fibra Dietética Insoluble (FDI). La necesidad actual de incorporarla como ingrediente en sistemas alimenticios se debe a sus efectos terapéuticos, originando la búsqueda de nuevas fuentes y métodos de obtención de residuos fibrosos (RF) de buena calidad fisiológica como los procedentes de los residuos agroindustriales de frutas y hortalizas, ya que éstos han presentado mejor calidad que los provenientes de cereales. En este trabajo se determinaron, mediante un diseño experimental, las condiciones de procesamiento, mediante escaldado con vapor, para la obtención de RF a partir de sáculos de naranja, teniendo como variable de respuesta el contenido de FDS. Los RF obtenidos bajo las mejores condiciones establecidas se compararon con los resultantes de un método de escaldado por ebullición y un control sin procesamiento, determinando para tal fin su composición química y calidad microbiológica. Las mejores condiciones de procesamiento con vapor evaluando los factores de tiempo de exposición al vapor y relación RF/agua de lavado (p/v) fueron 5 min y 1/1.5. El contenido de FDT en los tratamientos térmicos de vapor y ebullición fueron iguales estadísticamente (81.54% y 80.50%, respectivamente) y diferentes al control (82.92%). Los residuos sin tratamiento térmico presentaron elevada carga microbiana, a diferencia de los tratados térmicamente, encontrándose los conteos de microorganismos coliformes totales (11 UFC/g), bacterias mesófilas aerobias (555 UFC/g), mohos (84 UFC/g) y levaduras (93 UFC/g), en los residuos escaldados con vapor, dentro de los valores reportados para fibras comerciales.

1. INTRODUCCIÓN

Las recomendaciones en la dieta para mejorar la salud humana implican la ingesta de alimentos que contengan fibras alimentarias de buena calidad, definida ésta en función de su relación FDS/FDI, siendo consideradas de buena calidad fisiológica aquéllas con relación 30/70 y excelentes 50/50. Este balance promueve, además de beneficios sobre el funcionamiento digestivo, propiedades funcionales deseables en los alimentos. Existen diversos métodos para la obtención de RF dependiendo de la fuente de la que provengan (cereales, frutas, hortalizas) y con base en las características finales que se desean del producto; sin embargo, en algunos de los tratamientos empleados se presentan desventajas como son la pérdida de FDS por lixiviación, el sabor amargo por la presencia de la cáscara y, en ocasiones, la elevada carga microbiana, disminuyendo esto la calidad de los RF así como sus usos potenciales. Lo anterior ha originado la búsqueda de nuevos métodos y fuentes de obtención, lo cual, aunado a la tendencia de aprovechar los residuos agroindustriales que muchas veces no son utilizados, ha propiciado estudios relacionados con el empleo de estos residuos como fuente de FD. Particularmente se ha reportado que los RF de naranja son buena fuente de FD, pero algunas características como el sabor y la carga microbiana que presentan han limitado su uso. En el presente trabajo se propone una nueva metodología para la obtención de RF empleando un escaldado con vapor de agua para la conservación de la fracción soluble de la fibra, a fin de mantener una buena proporción de FDS/FDI, disminuyendo además su carga microbiana. Esto influiría positivamente sobre la calidad final del residuo haciéndolo un ingrediente valioso para su uso en la formulación de alimentos enriquecidos y para regímenes especiales.

2. ANTECEDENTES

2.1. Fibra Dietética (FD): Definición, Clasificación y Composición.

A partir de 1953 surgió el concepto de Fibra Dietética (FD) el cual ha sido discutido y desarrollado por varios investigadores de acuerdo a los fines con que se estudian sus componentes y con base en la naturaleza del material empleado (Saura-Calixto y García-Alonso, 2001), originándose dicho término de acuerdo a la metodología utilizada para su cuantificación. Hasta antes de 1970 prevaleció el término fibra bruta o fibra cruda, refiriéndose al residuo libre de cenizas que queda después del tratamiento en caliente con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio (Badui, 2006), compuesto principalmente por hemicelulosa, celulosa y lignina. Este residuo así determinado es menor al de la FD debido a que no se consideran otros componentes como polisacáridos resistentes a la digestión, gomas, celulosa modificada, mucílagos y pectinas (DeVries *et al.*, 1999).

Actualmente existen diversas formas de evaluar el contenido de FD, sin embargo la mayoría se basa en el método enzimático-gravimétrico de Prosky quien, en 1979, junto con otros investigadores, desarrolló un método para su cuantificación que se apega al concepto que varios investigadores habían manejado, definiendo a la FD como el conjunto de constituyentes celulares resistentes a las enzimas digestivas humanas, incluyendo compuestos como gomas, celulosa modificada, mucílagos, oligosacáridos y pectinas (Saura-Calixto y García-Alonso, 2001).

En 1999 la Association of Analytical Cereal Chemists [AACC] definió a la FD como el remanente de la parte comestible de las plantas y carbohidratos análogos resistentes a

la digestión y absorción en el intestino delgado, con completa o parcial fermentación en el intestino grueso; constituida por polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas; con algún efecto laxante, disminución del colesterol sanguíneo o atenuación de la glucosa en sangre (AACC, 2001). En ese mismo año la Association of Analytical Chemists [AOAC] la definió como el remanente comestible de células vegetales, polisacáridos, lignina y sustancias resistentes a las enzimas digestivas humanas, incluyendo macronutrientes como celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas, celulosa modificada, mucílagos, oligosacáridos, pectinas y sustancias minoritarias como ceras, cutina y suberina (DeVries *et al.*, 1999).

La FD está formada por una mezcla heterogénea de sustancias que por sus propiedades físicas y el efecto que cumplen en el organismo se clasifican como Fibra Dietética Soluble (FDS) y Fibra Dietética Insoluble (FDI) (Gorinstein *et al.*, 2001), referida dicha solubilidad a las fibras que se dispersan en el agua. Secreciones de las plantas como pectinas y gomas, constituyentes como mucílagos y agentes quelantes como los fitatos forman parte de la FDS; mientras que la celulosa, el almidón resistente, compuestos fenólicos como los taninos y estructuras lipídicas como las ceras, suberinas y cutinas constituyen la FDI.

También la FD puede clasificarse con base en sus constituyentes (Cuadro 1). Polisacáridos no almidonosos como celulosa, hemicelulosa y polisacáridos no estructurales como pectinas, gomas y mucílagos forman parte de los Polisacáridos Libres de Almidón y Oligosacáridos Resistentes. Elementos como dextrinas indigestibles, metilcelulosa y almidón resistente se consideran Carbohidratos Análogos; éstos no forman parte natural de la planta pero surgen de los tratamientos que se aplican a los alimentos y presentan las mismas funciones de la FD. Finalmente, compuestos no

polisacáridos como ceras, cutina, suberina, ácido fítico y taninos se incluyen como Sustancias asociadas al complejo de polisacáridos no almidonosos y Lignina, pues se encuentran enlazados a estas estructuras en la planta. Con excepción de los Carbohidratos Análogos todos estos compuestos se encuentran asociados a las células vegetales y, debido a que su pared celular varía en composición de acuerdo al tipo de célula y de planta, la composición de la FD es a su vez variable (Dreher, 1987).

Cuadro 1. Clasificación de la Fibra Dietética (FD) con base en sus constituyentes.

Clasificación	Constituyentes	
	FDS	FDI
Polisacáridos no almidonosos y Oligosacáridos Resistentes	Hemicelulosa (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) Polifruktosas Inulina Oligofruktanos Galacto-oligosacáridos Pectinas Gomas Mucílagos	Celulosa Arabinoxilanos y Arabinogalactanos
Carbohidratos Análogos		Almidón resistente Dextrinas Indigestibles Maltodextrinas y Dextrinas Polidextrosa Metilcelulosa Hidroxipropilcelulosa
Sustancias asociadas al complejo de polisacáridos no almidonosos y Lignina	Fitatos Saponinas	Ceras Cutina Suberina Lignina Ácido Fítico Taninos

Fuente: Sánchez, 2005.

A partir del descubrimiento de la FD y sus beneficios en la salud humana, las investigaciones relacionadas con sus propiedades han aumentado al igual que la búsqueda de nuevas fuentes para su obtención. En los 80's se utilizaba como recurso de FD a los cereales, siendo el salvado de trigo (Lairon, 1987) y las cascarillas de arroz, maíz y sorgo (Nyman *et al.*, 1983; Ranhotra *et al.*, 1990; Reyes *et al.*, 1998) los mayormente empleados. Mas adelante, con la búsqueda de nuevas fuentes, se encontró que las hojuelas de avena y las leguminosas presentaban mayor contenido de FD y de mejor calidad (Saura-Calixto *et al.*, 2002). Actualmente se ha encontrado que las frutas y vegetales (Ruales y Zumba, 1998; Hernández-Unzón y Gallardo-Navarro, 1998; Ramulu y Rao, 2003; Yoon *et al.*, 2005) poseen además de un mayor contenido de FD que las fuentes anteriormente mencionadas, una mejor proporción de fibra soluble e insoluble, logrando obtener una relación balanceada en ambas fracciones. Esto aumenta su interés como fuente de FD debido a las propiedades fisiológicas y funcionales que pueden tener en el organismo humano y en los sistemas alimenticios en que se incorporen (Figuerola *et al.*, 2005).

2.2. Propiedades funcionales de la Fibra Dietética (FD).

La funcionalidad de un componente o ingrediente de un alimento puede definirse como cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas de las características de un alimento y que contribuye a la calidad del producto final (Badui, 1999). El conocimiento de estas propiedades de los RF es importante ya que permite seleccionar la fibra adecuada a las funciones específicas que se requieran en ciertos sistemas alimenticios, contribuyendo así a la calidad final del producto. Dentro de estas se encuentra el color, propiedad muy importante, pues dependiendo de éste, un RF puede adicionarse en alimentos que requieran resaltar su color o enmascararlo. Grijelmo-Miguel

y Martín-Belloso (1999) señalan que la aplicación de la fibra depende del color del producto al cual será añadida, controlándose la cantidad agregada para no afectar las propiedades ópticas, evitándose así el rechazo del producto.

El tamaño de partícula, también es otra propiedad importante (Fuertes, 1998), ya que dependiendo de su granulometría (se recomiendan tamaños de 50 a 800 μm) (Martínez-Bustos *et al.*, 2005) será el tipo de alimento en el que se incorpore, pudiendo añadirse como fibra perceptible o imperceptible (Zhang y Moore, 1999; Cruz, 2002).

Además de las propiedades mencionadas anteriormente, se evalúa la capacidad de retención de agua (CRA), que expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por una fibra en presencia de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza patrón (Tamayo y Bermúdez, 1998). Esta propiedad se relaciona con el efecto de frescura y suavidad que se presenta en los productos de panificación. La capacidad de retención de aceite (CRa) está relacionada con la capacidad para absorber grasa bajo la acción de una fuerza mecánica; cuando esta retención es baja proporciona una sensación no grasosa en los productos fritos, cuando es alta, imparte a los productos cárnicos jugosidad y mejor textura (Peraza, 2000; Ator, 2000; Sánchez, 2005).

Otra propiedad importante de evaluar para algunas aplicaciones es la emulsificación, esta es la propiedad de la fibra relacionada con la capacidad de interactuar con proteínas, polisacáridos y otros compuestos involucrados en una emulsión. Es medida a través de la actividad Emulsificante (AE) y la Estabilidad de la emulsión (EE), teniendo aplicación en productos como las mayonesas y aderezos.

2.3. Propiedades fisiológicas de la Fibra Dietética (FD).

Además de las características mencionadas anteriormente se estudian las propiedades fisiológicas de los RF, su importancia radica en el conocimiento que se debe tener de ellas para la predicción de sus efectos en el organismo.

La capacidad de hidratación es una propiedad importante de evaluar en los RF, siendo principalmente las fibras solubles las que poseen esta característica en mayor grado debido a la presencia de grupos polares libres que al hidratarse forman una matriz gelatinosa, la cual, ya en el tracto gastrointestinal, aumenta la viscosidad del bolo alimenticio retardando el vaciado gástrico y disminuyendo la absorción de nutrientes, siendo uno de sus efectos más estudiados el relacionado con la regulación de la concentración de glucosa en sangre. Por su parte, las fibras insolubles con buena capacidad de hidratación aumentan su volumen, lo cual acelera la velocidad del bolo fecal en el intestino al promover su peristalsis, combatiendo el estreñimiento y otros padecimientos gastrointestinales (Larrauri *et al.*, 1996; McDougall *et al.*, 1996).

Estas propiedades están relacionadas con el tamaño de partícula, que influye a su vez en la capacidad de hidratación y fermentabilidad de la FD; fibras con tamaños de partícula entre 500-800 μm son eficaces en el tratamiento de problemas digestivos como el estreñimiento, mientras que fibras de tamaño menor (50-200 μm) poseen mayor superficie de contacto, por lo tanto mayor capacidad de hidratación y de degradación microbiana, con sus consecuentes beneficios a la salud (Martínez- Bustos *et al.*, 2005).

Toda la FDS y parte de la FDI son susceptibles a la fermentación microbiana, siendo completa la degradación de las pectinas y gomas, solamente parcial la

fermentación de la celulosa, y totalmente resistente a este proceso la lignina. Es por esto que las fibras de frutas, ricas en gomas y pectinas, se fermentan más que las de los cereales, estos últimos abundantes en celulosa, hemicelulosa y lignina. La fermentación se ve favorecida por la hidratación de la fibra ya que facilita la penetración de bacterias dentro de la matriz fibrosa (Brown, 1996). Como resultado de la acción de la flora intestinal sobre la FD se tiene la producción de ácidos grasos de cadena corta (90-95% del total de los ácidos producidos), como los ácidos propiónico, butírico y acético, que son absorbidos y metabolizados a través de la mucosa intestinal. El ácido propiónico ha sido reportado como inhibidor de la síntesis de colesterol hepático; el ácido butírico es el principal sustrato de la mucosa intestinal, protegiéndolo contra la generación de enfermedades como colitis y cáncer colónico (Goñi y Martín-Carrón, 2001); el ácido acético es tomado por el músculo y metabolizado como fuente de energía (Larrauri *et al.*, 1996).

Otras propiedades que se estudian es la adsorción de moléculas orgánicas que se basa en la capacidad que poseen algunos componentes de la fibra para unirse a determinadas sustancias. Fibras solubles como la pectina e insolubles como la lignina pueden adsorber compuestos como ácidos biliares y colesterol, esto impide su disponibilidad en el intestino e incrementa su excreción, reduciéndose así los niveles de colesterol plasmático (Olds, 1986; Zambrano *et al.*, 1998; Guillon y Champ, 2000; Drzikova *et al.*, 2005).

Otro efecto de la fibra que ha tomado relevada importancia es su capacidad de ligar compuestos iónicos. Fitatos, compuestos fenólicos, ácidos urónicos y pectinas pueden formar complejos con minerales como el Ca (II), Zn (II), Mg (II) y Fe (II), reduciendo la absorción intestinal de estos micronutrientes importantes en procesos como

la calcificación de los huesos, el crecimiento, el metabolismo y la acción hormonal (Torre *et al.*, 1991; Saura-Calixto *et al.*, 1995); por lo que la ingesta de la FD debe ser planeada de acuerdo a las necesidades de cada individuo.

Los efectos mencionados anteriormente permiten apreciar el importante el papel que la FD juega en la alimentación humana, de aquí que sea recomendada una ingesta diaria de 20-35 g (Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán [INNSZ], 1990) de fibra, preferentemente de buena calidad, es decir, que cuente con un buen balance de FDS/FDI, como mínimo 30% de FDS y 70% de FDI; considerándose como excelentes fuentes aquellas que tienen una proporción 50/50 (Martín-Belloso *et al.*, 1999; Saura-Calixto *et al.*, 2002), esto con el objetivo de beneficiarse con las propiedades de ambas fracciones de fibra para obtener la calidad buscada.

Larrauri (1999) citado por Figuerola *et al.*, (2005), menciona que un RF comercial de buena calidad debe poseer un contenido de fibra dietética arriba del 50%, humedad menor al 9%, bajo contenido de lípidos, sabor y olor neutros, así como una buena relación FDS/FDI para obtener sus beneficios fisiológicos y como ingrediente funcional. Es por esto que actualmente se buscan nuevas fuentes de fibra que cumplan con estos requisitos.

2.4. Tratamientos para la obtención de Residuos Fibrosos (RF).

La obtención de concentrados de fibra, así como sus propiedades, están en función de la fuente empleada (frutas, vegetales, leguminosas o cereales), de su estado de madurez, época de producción, lugar de cosecha y procesamiento al que sea sometida (Pérez, 2003; Grijelmo-Miguel *et al.*, 1999; Baquero y Bermúdez, 1998). Los métodos

tradicionales para la obtención de RF involucran operaciones como trituración para disminuir su tamaño de partícula; lavado para eliminar carga microbiana, residuos y azúcares simples; filtración y secado para prolongar su vida útil y, finalmente, la molienda y el envasado (Pérez y Sánchez, 2001). Actualmente también son empleados tratamientos como extrusión, autoclavado e hidrólisis en medios ácidos o alcalinos, que se aplican en fuentes con alto contenido de FDI con el fin de hidrolizar parte de esta fracción para obtener una mejor relación FDS/FDI y para inducir a los RF propiedades funcionales deseables para un sistema alimenticio específico.

Martínez-Bustos *et al.*, (2005) indicaron que al aplicar un tratamiento por extrusión en RF se observaron cambios en los contenidos de FDS y FDI debido a la ruptura de enlaces de los polisacáridos constituyentes de ambas fracciones de fibra, lo cual condujo a la formación de fragmentos moleculares más solubles, pudiendo ser recomendable este tratamiento para RF con alto contenido de FDI. Por otra parte Chang y Morris (1990) reportaron que en el caso de tratamientos en autoclave se produjo un efecto de ruptura en la estructura de la fibra, pues al realizar un estudio con fibra de cáscara de manzana, al ser observada al microscopio electrónico, encontraron la formación de grietas en la superficie de la fibra, reportando que dicho efecto pudo atribuirse a la presión alta generada por el autoclavado. Este tratamientos pueden llegar a cambiar la estructura física de la fibra, por lo que sería poco recomendable para fibras provenientes de frutas, pues al ser fibras suaves la fracción soluble se vería muy afectada, pudiéndose perder con mayor facilidad llegando a disminuir su calidad.

En algunos RF de cereales y bagazos como los de coco y caña, que poseen un alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que sus fibras son duras, se aplican tratamientos con ácidos, álcalis, sales o peróxidos, para hidrolizar las estructuras

de la fibra al destruirse los enlaces entre polisacáridos, así como las paredes celulares lignificadas (Fernández *et al.*, 1997), con la finalidad de hacer menos duros dichos residuos y poderlos incorporar en alimentos para humanos.

Para el caso de frutas y vegetales que poseen fibras suaves y que se ha observado tienen una relación de FDS/FDI más equilibrada [Saura, (1993); Fernández *et al.* (1993)], los tratamientos aplicados consisten en lavados con agua, sin embargo la temperatura empleada en ocasiones es alta (80 a 100° C), facilitándose en el medio acuoso la lixiviación de parte de la fibra soluble (Derivi *et al.*, 1998); además en fibras que poseen compuestos bioactivos sería poco favorable este tratamiento pues se podría favorecer más fácilmente la lixiviación de estos componentes (Gorinstein *et al.*, 2001). En otras metodologías se aplican lavados a temperatura ambiente (23° C), disminuyendo la lixiviación de los constituyentes de la fracción soluble, mejorando así la relación FDS/FDI, pero presentan como desventaja una alta contaminación microbiana debida a la baja calidad del agua empleada (proveniente del grifo) y al bajo arrastre de microorganismos durante la etapa de lavado, por lo que el uso de los RF así obtenidos se limita a su incorporación en alimentos que requieran de un proceso térmico en su elaboración (Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, 2001).

Se han propuesto diversos procesos tecnológicos para la obtención de RF, dependiendo de la fuente de la que provienen y con base en las características finales que se desean del producto, sin embargo, hasta ahora, la mayoría de los procedimientos disminuyen el contenido de FDS y en consecuencia su calidad fisiológica. La necesidad de disponer de RF de buena calidad fisiológica y microbiológica, y que además puedan llegar a poseer actividad antioxidante, ha originado la investigación de nuevas fuentes de fibra y el planteamiento de nuevos métodos de obtención. Actualmente se ha centrado la

atención en los residuos agroindustriales, en particular, los provenientes de cítricos los cuales han demostrado ser RF de buena calidad.

2.5. Aprovechamiento de residuos de naranja.

Actualmente el aprovechamiento de los residuos agroindustriales es un tema de gran interés debido a su posible aplicación en la alimentación humana (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso 1999; Nawirska y Kwasniewska 2005; Figuerola *et al.*, 2005) y animal (Cruz, 2002; García *et al.*, 2005). Una de las aplicaciones de estos residuos es su aprovechamiento como fuente de FD, siendo de gran interés los residuos provenientes de la naranja (Figura 1), fruto de gran comercialización y consumo.



Figura 1. Residuos de cáscaras y sáculos de naranja.

En el 2005 la producción mundial de naranja alcanzó un total de 62.5 millones de Ton (FAO, 2005), siendo los principales productores Brasil, Estados Unidos y México, para este último, la producción para el mismo año fue de 4.1 millones de Ton (Faostat, 2005), destinándose principalmente a la elaboración de jugos (SAGARPA, 2005).

Las industrias dedicadas a la elaboración de jugos y concentrados cítricos realizan una serie de etapas para su producción. Varman y Sutherland (1997) y Noriega (2000)

señalan que en la primera etapa de obtención del jugo se emplea un escarificador, equipo utilizado para la separación de la cáscara (exocarpio), pues ésta podría conferirle sabores amargos. Posteriormente se realiza la extracción del jugo mediante prensado y, finalmente, por filtración, se eliminan las semillas y el bagazo, compuesto por las membranas también llamadas sáculos. Los residuos obtenidos (cáscaras, semillas y sáculos) representan el 50% del fruto entero [Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) y Sendra *et al.*, (2004)] y son aprovechados para diferentes propósitos industriales. Las cáscaras poseen un alto contenido de aceites esenciales que son aplicados en la industria alimentaria como mejoradores de aroma y sabor en la preparación de bebidas refrescantes, zumos, esencias y concentrados (Byugo, 1994; Dreher, 1987); también se emplean para la obtención de pectinas para la industria farmacéutica y de alimentos (Avarantinos-Zafiris *et al.*, 1994; Tamayo y Bermúdez, 1998). Membranas interoculares, corazón, semillas y cáscara, en conjunto, se emplean como pulpa de cítrico deshidratada en la elaboración de alimentos para rumiantes (Ramos *et al.*, 1993), aunque el sabor amargo de estos residuos ha limitado su nivel de incorporación.

Pocas son las industrias que se han interesado en aprovechar los residuos como FD. Algunos estudios, como los realizados por Sendra *et al.*, (2004) y Nawirska y Kwasniewska (2005), señalan su potencial en este sentido. En especial los sáculos representan un desecho al que no se le ha prestado la debida atención (Figura 2), pues existe evidencia de que son ricos en FD (70%) y poseen buena relación de FDS/FDI (45/55) (Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, 2001), pudiendo considerarse como de muy buena calidad fisiológica; de aquí la necesidad de obtener RF con una metodología que permita conservar de mejor forma sus características naturales y a la vez asegurar su inocuidad a los consumidores.



Figura 2. Sáculos de naranja.

2.6. Obtención de Residuos Fibrosos (RF) de naranja.

Estudios realizados por Tamayo y Bermúdez (1998); Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) y Fernández-Pérez y Rodríguez Sánchez (2001), sobre residuos de la industria de extracción del jugo de naranja, han determinado la relación de FD en estos residuos como se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de Fibra Dietética Soluble (FDS), Fibra Dietética Insoluble (FDI) y Relación FDS/FDI en Residuos Fibrosos (RF) de naranja (%b.s).

Referencia	FDS	FDI	Relación de FDS/FDI
Tamayo y Bermúdez, ¹ (1998)	34	45	43/57
Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, ² (1999)	11	26	31/69
Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, ² (2001)	33	40	45/55

¹Empleando cáscara y sáculos, ²Empleando sáculos

Como se observa, la mayor cantidad de fibra corresponde a la porción insoluble. En los estudios realizados por Tamayo y Bermúdez (1998), se utilizó naranja Valencia, empleando la cáscara y los sáculos. El tratamiento aplicado para la obtención del RF, partiendo de residuos desgrasados, fue un lavado con agua a 80° C en una relación

1/3 (p/v) durante 5 min, un enjuague a 20° C por 1 min y finalmente el secado a 60° C. Los residuos presentaron un 79% de FDT, 34% de FDS y 45% de FDI, con una relación FDS/FDI de 43/57, así como buena capacidad de retención de agua y aceite; sin embargo, una de sus principales desventajas fue un ligero sabor amargo por el empleo de la cáscara, debido a la presencia de flavonoides (hesperidina y naranjina, específicamente en la naranja). Dado que estos compuestos presentan diferente grado de solubilidad en el agua (Matthews, 1990), en ese proceso trataron de disminuir el sabor amargo realizando los lavados a temperaturas altas, buscando también eliminar azúcares simples y garantizar la calidad microbiológica del RF obtenido, sin embargo, no se logró eliminar totalmente el sabor amargo. Se ha reportado el empleo de estos residuos en alimentos balanceados, pero deben suministrarse en pequeñas porciones ya que al paso del tiempo los animales llegan a rechazarlo por el sabor que presenta (García *et al.*, 2005).

En el proceso de Grijelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) se emplearon únicamente sáculos de naranja, evaluando tres variedades (Navel, Salustiana y Valencia), siendo la variedad Valencia la de mayor contenido de FD. El tratamiento para la obtención de estos RF fue un lavado a presión, la separación de los sáculos por desmenuzado, un prensado hasta alcanzar una humedad de 70-75%, la trituración de la pulpa obtenida (32 mallas) y, finalmente, un secado entre 80-90° C hasta una humedad menor al 8%. El RF de naranja valencia obtenido tuvo un 26% de FDI y 11% de FDS, pero una relación FDS/FDI poco equilibrada (31/69). La ventaja observada en esta metodología fue la ausencia de sabor amargo en el RF.

En el procedimiento realizado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001), empleando exclusivamente los sáculos de una mezcla de frutos cítricos, el tratamiento que se aplicó fue un escaldado con agua utilizando una relación 1/2 (p/v) a 95° C por

5 min y un secado a 60° C, obteniéndose un RF con un 40% de FDI y 33% de FDS, con una relación 45/55 (FDS/FDI), buena calidad microbiológica y ausencia de sabores objetables.

El empleo de la cáscara de frutas cítricas para la obtención de RF limita su uso en la industria de los alimentos (Tamayo y Bermúdez 1998 y Matthwes, 1990), de aquí que sea conveniente no incluirla en el proceso, como en los estudios realizados por Grijelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) y Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001); obteniendo además, estos últimos, una fibra de buena calidad fisiológica [FDS/FDI (45/55)] y microbiológica. Esto da la pauta para proponer nuevas metodologías para la obtención de RF en los que se busquen evitar la pérdida de la fracción soluble de la fibra y se garantice su calidad microbiológica, poniendo a disposición de los consumidores mejores y más variados productos y suplementos alimenticios.

El escaldado con vapor, en lugar del escaldado por ebullición empleado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001), podría disminuir la lixiviación de la FDS (logrando mejorar la proporción FDS/FDI) además de reducir la contaminación microbiana hasta niveles inocuos, obteniéndose de esta forma un RF con buenas características para su aplicación en alimentos para consumo humano que requieran o no de tratamientos térmicos previos.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general.

Determinar las condiciones de procesamiento para la obtención de Residuos Fibrosos (RF) a partir de sáculos de naranja empleando escaldado con vapor como parte del proceso a fin de mantener el mayor contenido de FDS en dichos residuos.

3.2 Objetivos específicos.

1. Determinar la curva de pérdida de humedad de los Residuos Fibrosos (RF) de naranja.
2. Evaluar el efecto de la proporción residuo-agua de lavado y tiempo de tratamiento con vapor sobre el contenido de FDS de los RF de naranja.
3. Seleccionar las mejores condiciones de procesamiento con base en el contenido de FDS de los RF
4. Determinar la composición proximal, fracciones de FD y calidad microbiológica de los RF obtenidos.
5. Comparar las características de los RF escaldados con vapor con RF obtenidos mediante escaldados por ebullición y un control sin tratamiento.

4. METODOLOGIA.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de trabajo para la obtención de las condiciones de procesamiento con vapor.

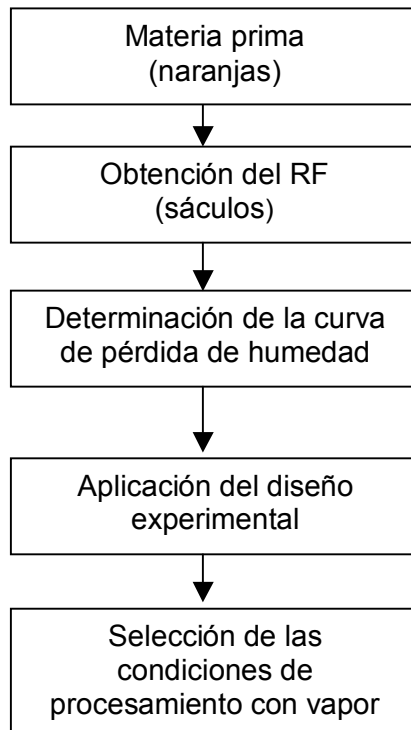


Figura 3. Proceso general para la determinación de las condiciones de procesamiento con vapor para la obtención de Residuos Fibrosos (RF).

4.1 Determinación de la curva de pérdida de humedad de los Residuos Fibrosos (RF).

4.1.1 Naranjas. Se empleó un lote de naranjas de la variedad Valencia perteneciente a la cosecha otoño 2006, adquirido en el Mercado Ignacio Zaragoza, localizado en el centro de la ciudad de Huajuapán de León, Oax.

4.1.2 Obtención del Residuo Fibroso (RF) (sáculos). Los sacúlos se obtuvieron después del lavado, cortado y extracción del jugo de la naranja utilizando un equipo TURMIX® estándar a velocidad alta. Se separaron manualmente los sacúlos de las cáscaras, los cuales fueron troceados a un tamaño de ¼ de saculo.

4.1.3 Determinación de la curva de pérdida de humedad. Se determinó mediante este experimento el tiempo en el cual las muestras disminuyeron su contenido de humedad hasta niveles considerados seguros para su almacenamiento ($H < 10\%$). La curva se obtuvo al secar a 60°C muestras de 10 g de sacúlos, troceados a un ¼ de su tamaño original, en una estufa de convección (*RIOSSA NOM HOF-48*), registrando los pesos a intervalos de 2 h durante 24 h (Cruz, 2002). La determinación de humedad se realizó según el método 925.09 de la AOAC (1997).

4.2 Determinación de las condiciones de procesamiento con vapor de los Residuos Fibrosos (RF).

4.2.1 Procesamiento de escaldado con vapor. Se emplearon naranjas de la misma variedad, procedencia y lote de las empleadas en la determinación de la curva de pérdida de humedad. Los sacúlos se trocearon a un tamaño de partícula de ¼ de saculo y se realizó un lavado sobre ellos con agua purificada a temperatura ambiente, empleando relaciones peso/volumen de 1/1.5 o 1/3 y mezclando con un equipo Kitchen Aid® durante 1 min a velocidad baja, posteriormente se eliminó el agua mediante un tamiz y se prensaron los sacúlos (en porciones de 100 g) con ayuda de un exprimidor de cítricos tipo prensa, haciendo presión hasta una distancia de 5 cm respecto a la posición inicial de la palanca. Se vertieron 250 mL de agua en una vaporera y al estar el agua en ebullición se introdujeron porciones de 250 g de RF colocados en una rejilla situada en la parte

superior del recipiente (ver Figura 4). Con un termopar Fluke® 52 II se monitoreó la temperatura del vapor siendo esta de 96° C. Se aplicó el tratamiento térmico con vapor a Patm [Presión de 0.8252 atm (estación meteorológica UTM, Huajuapán de León, Oax.)] con tiempos de 5 o 15 min de exposición. Los residuos se sacaron de la vaporera, se prensaron, para eliminar el agua condensada sobre ellos, utilizando el exprimidor manual a la misma distancia de prensado (5 cm) y se secaron a 60° C durante 6 h, empleando una estufa de convección (*RIOSSA NOM HOF-48*). Los RF obtenidos se molieron secuencialmente en los molinos Cemotec 1090 y Cyclotec 1093 Tecator a un tamaño de partícula menor e igual a 300 µm, se envasaron en recipientes de plástico con tapa de rosca y se almacenaron en refrigeración hasta su análisis. El diagrama de escaldado con vapor aplicado se muestra en la Figura 5.

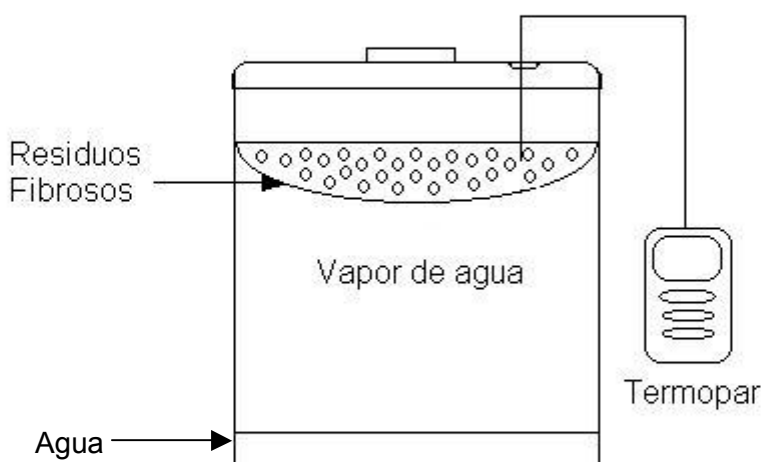


Figura 4. Esquema del tratamiento térmico de los Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.

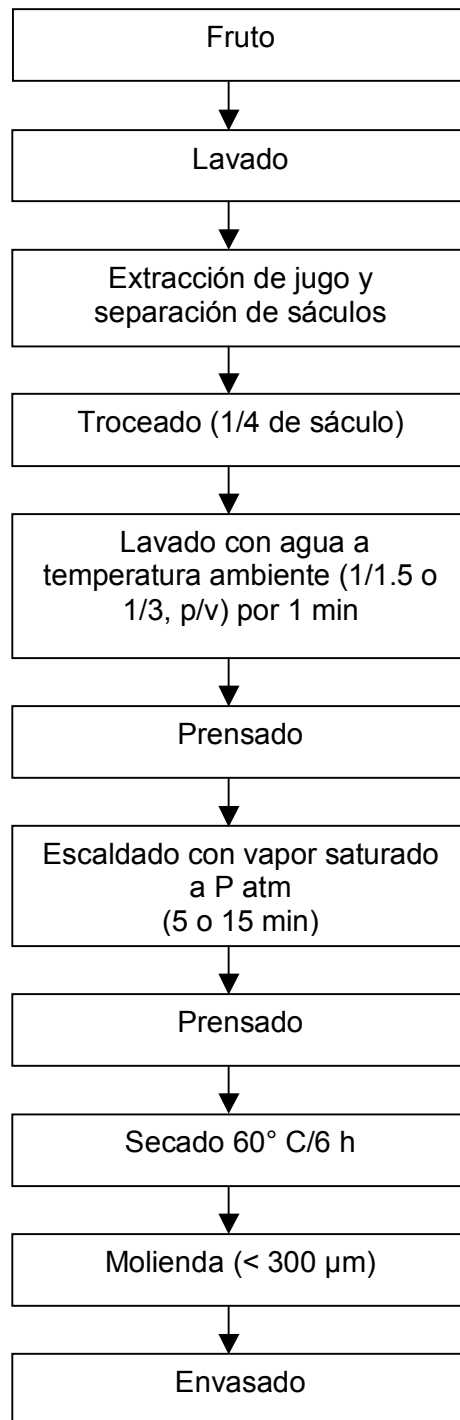


Figura 5. Obtención de Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.

4.2.2 Diseño experimental. Se aplicó un diseño experimental empleando un arreglo factorial 2^2 completamente aleatorizado, como se muestra en el Cuadro 3. Las variables fueron la relación residuo/agua de lavado (1/1.5 y 1/3, p/v) y el tiempo de tratamiento con vapor (5 y 15 min). Se realizaron 2 réplicas de cada tratamiento, cada una de ellas por duplicado. La variable de respuesta fue el contenido de FDS, determinando como el mejor tratamiento aquel en el cual se obtuvo la mayor cantidad de FDS.

Cuadro 3. Diseño experimental del procesamiento con vapor.

Relación residuo/agua de lavado	Tiempo de tratamiento con vapor (min)
1/1.5	5
	15
1/3	5
	15

4.2.3 Cuantificación de Fibra Dietética Soluble (FDS). El porcentaje de FDS, se obtuvo a partir de la cuantificación de FDT y FDI, empleando el método enzimático gravimétrico de Prosky *et al.*, (1988). Esta prueba se realizó utilizando 4 crisoles para fibra a los que se les agregó 0.5 g de celite (Sigma C-8656) suspendidos en 10 mL de etanol al 78%, formando una capa esparcida de celite. Se colocaron en la estufa a 130° C por 90 min para llevarlos a peso constante. Se pesaron por cuadruplicado muestras de 1 g (b.s.) de residuo fibroso y se transfirieron en matraces Erlenmeyer de 500 mL. Se les adicionó 50 mL de buffer de fosfato 0.05N a pH 6 (Potenciómetro Termo Orion 420) (se pesaron 9.6593 g de NaH_2PO_4 anhidro y 1.4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, se disolvieron con

700 mL de agua destilada, se ajustó el pH a 6 con HCl 0.325N o NaOH 0.275N y se aforó a 1 L). Se colocaron los matraces por 10 min en un baño de agua (R76 New Brunswick Scientific) a ebullición y agitación constante a 60 rpm. Sin sacarlos se les añadió 0.1 mL de la enzima α -amilasa termoestable (Sigma A-3306) y se agitaron durante 15 min a la misma velocidad. Transcurrido el tiempo los matraces se sacaron y enfriaron en un baño de agua fría hasta temperatura ambiente, se midió el pH y se ajustó a 7.5. Se colocaron nuevamente los matraces en el baño de agua y se atemperaron a 60° C por 10 min y sin sacarlos se les agregó 0.1 mL de proteasa (Sigma P-3910, 25 mg de proteasa disuelta en 0.5 mL de buffer de fosfato a pH 6), dejándolos incubar a esa temperatura por 30 min, manteniendo la agitación a 60 rpm. Transcurrido el tiempo se sacaron los matraces, se enfriaron a temperatura ambiente y se les ajustó el pH a 4 - 4.3. Se llevaron nuevamente al baño de agua por 10 min hasta que alcanzaron una temperatura de 60° C, posteriormente se les adicionó 0.1 mL de amilogucosidasa (Sigma A-9913). Se incubaron a la temperatura mencionada por 30 min con agitación constante a 60 rpm. Al término de este tiempo se les adicionó etanol al 95% precalentado a 60° C, en una relación aproximada de 1/4 (v/v) y se dejaron reposar a dicha temperatura durante 1 h. Transcurrido el tiempo, el contenido de cada matraz se filtró a vacío en cada uno de los crisoles a peso constante y con el celite. El residuo depositado en los matraces se lavó con tres porciones de 20 mL de etanol al 78%, dos porciones de etanol al 95% y 2 porciones de 10 mL de acetona. Se colocaron los crisoles en la estufa por 1.5 h a 130° C, al término del tiempo se registró el peso. A los residuos de la muestra de dos crisoles se les determinó proteína (Nitrógeno X 6.25) y el residuo de los otros dos se incineró durante 4 h a 550° C. Se corrieron dos blancos en forma similar al procedimiento de FDT pero sin adición de muestra (un blanco para proteína y otro para cenizas). La determinación del porcentaje de FDT se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ FDT} = \frac{(\text{Peso del residuo-proteína-cenizas-peso del blanco})}{w} \times 100$$

Donde w = peso de la muestra (b.s.)

El porcentaje de FDI se realizó en forma similar al de FDT, pero eliminando la adición del volumen de alcohol al 95%. Los cálculos se realizaron en forma similar a los empleados en la determinación de FDT.

La determinación del porcentaje de FDS se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ FDS} = \% \text{ FDT} - \% \text{ FDI}$$

4.2.4 Análisis estadístico. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación de medias por el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS), con un nivel de significancia del 5%, de acuerdo a los métodos señalados por Montgomery (2006), utilizando el software estadístico Design Expert versión 6.0

4.3 Caracterización y comparación de los Residuos Fibrosos (RF) obtenidos mediante escaldado con vapor, escaldado por ebullición y un control sin tratamiento.

Una vez determinadas las condiciones de procesamiento con vapor, se obtuvieron nuevamente los RF para la comparación de su composición química y carga microbiana con las obtenidas empleando un método de referencia [método modificado de Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001)] y un control sin tratamiento, procesados por el mismo analista. En la Figura 6 se muestra el diagrama de trabajo para la comparación de los tratamientos de obtención de RF.

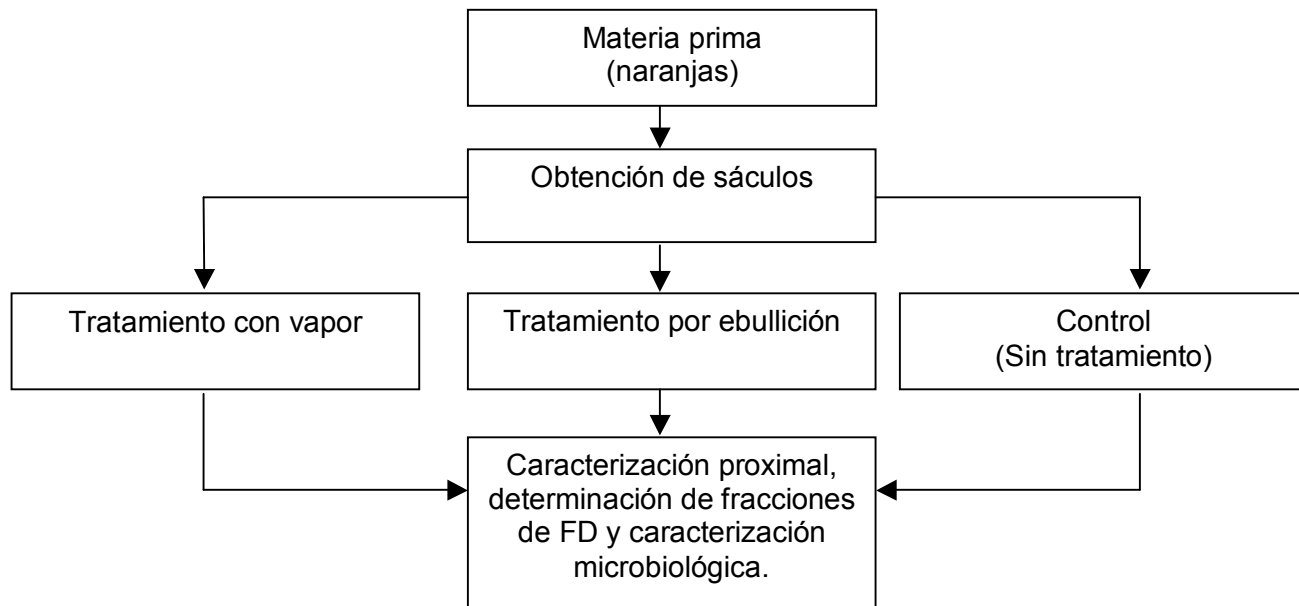


Figura 6. Diagrama general para la comparación de los tratamientos de obtención de Residuos Fibrosos (RF) de naranja (método de vapor, referencia y control)

4.3.1 Naranjas. Se empleó un lote de naranjas Valencia pertenecientes a la cosecha otoño 2006, adquiridas en el mercado San Benito, localizado en el centro de la ciudad de Mérida, Yuc., empleando dicho lote en la caracterización proximal y determinación de las fracciones de FD de los residuos obtenidos con el tratamiento de vapor, ebullición y control.

Para determinar la calidad microbiológica de los residuos obtenidos se empleó un lote de naranjas de la variedad Valencia, perteneciente a la cosecha invierno 2006, adquirido en el Mercado Ignacio Zaragoza, localizado en el centro de la ciudad de Huajuapán de León, Oax.

4.3.2 Obtención de los Residuos Fibrosos (RF).

4.3.2.1 Procesamiento de escaldado con vapor. Se aplicó el tratamiento de escaldado con vapor según el procesamiento anteriormente descrito en el apartado 4.2.1, empleando las condiciones finales: una relación residuo/agua de lavado de 1/1.5 y un tiempo de tratamiento con vapor de 5 min.

4.3.2.2 Procesamiento de escaldado por ebullición. Se empleó el procedimiento modificado de Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001), mostrado en la Figura 7. Se cortaron los frutos, se extrajo el jugo y se separaron los sáculos troceándolos a $\frac{1}{4}$ de su tamaño original. Los sáculos fueron sometidos a un tratamiento térmico por medio de un escaldado con agua a 95° C, empleando una relación 1/2 (p/v) por 5 min, se filtraron con ayuda de un tamiz y se lavaron con agua a temperatura ambiente con la misma relación p/v y tiempo (1/2 y 5 min), con ayuda de un equipo Kitchen Aid® durante 1 min a velocidad baja. Se prensaron los residuos para eliminar el exceso de agua utilizando un exprimidor manual de jugos en el cual se colocaron porciones de 100 g de RF a una distancia de 5 cm respecto a la posición inicial del exprimidor. Finalmente, se secaron a 60° C/6 h empleando una estufa de convección (*RIOSSA NOM HOF-48*), se molieron secuencialmente en los molinos Cemotec 1090 y Cyclotec 1093 Tecator a un tamaño de partícula menor e igual a 300 μm y se envasaron en recipientes de plástico con tapa de rosca, almacenándolos en refrigeración hasta su análisis.

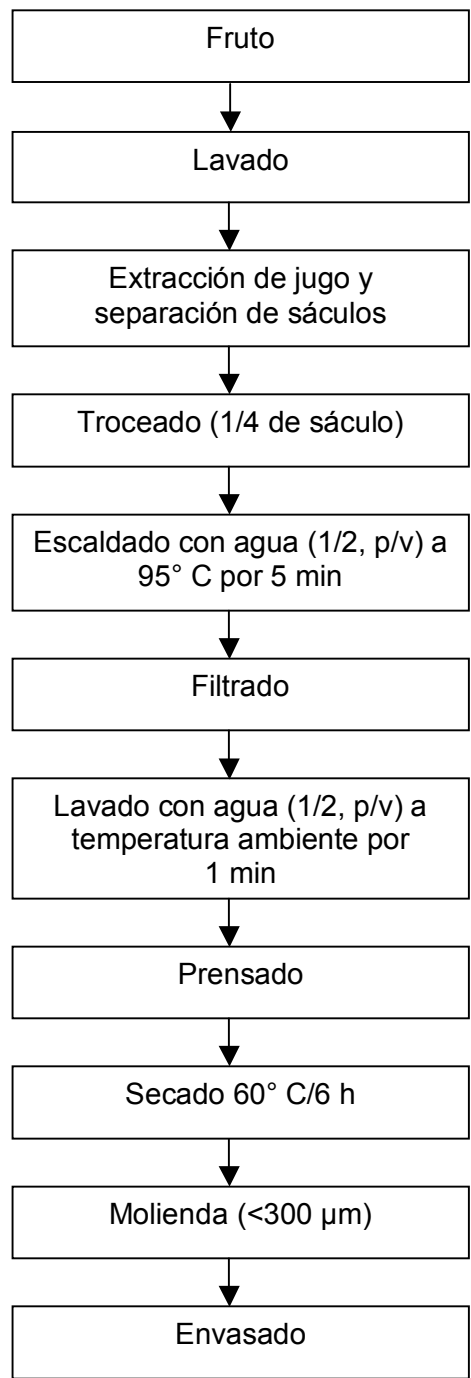


Figura 7. Obtención de Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado por ebullición. Procedimiento modificado de Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, (2001).

4.3.2.3 Procesamiento control. Los tratamientos de escaldado con vapor y por ebullición se compararon con un control procesado como se muestra en la Figura 8. Los frutos fueron lavados y cortados a la mitad para extraer el jugo, posteriormente los sáculos fueron separados de la cáscara y cortados a $\frac{1}{4}$ de su tamaño original; por último fueron secados a $60^{\circ}\text{C}/6\text{ h}$ en una estufa de convección (*RIOSSA NOM HOF-48*). Los RF se molieron secuencialmente en los molinos Cemotec 1090 y Cyclotec 1093 Tecator para obtener un tamaño de partícula menor e igual a $300\ \mu\text{m}$, se envasaron en recipientes de plástico con tapa de rosca y se almacenaron en refrigeración hasta su análisis.

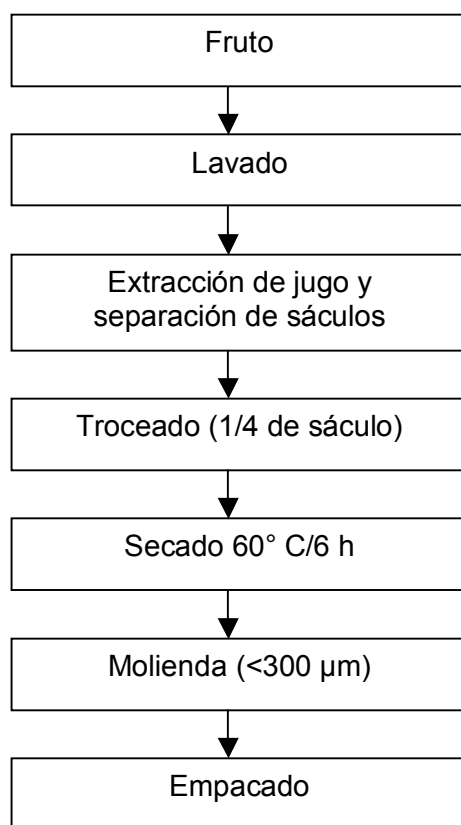


Figura 8. Obtención de Residuos Fibrosos (RF). Procedimiento control.

4.3.3 Caracterización química y microbiológica.

4.3.3.1 Composición proximal. La Composición proximal de los RF se determinó mediante los métodos oficiales descritos por la AOAC (1997), comprendiendo los análisis siguientes:

- a) Humedad (método 925.09). Secado en estufa a peso constante a 110° C.
- b) Cenizas (método 923.03). Calculadas como el peso remanente tras la calcinación de la muestra en la mufla a 550° C por 2 h.
- c) Proteína Cruda (método 954.01). Determinación del nitrógeno total utilizando el método de Kjeldhal, calculando el contenido de proteína multiplicando la cantidad de nitrógeno por el factor de 6.25.
- d) Grasa Cruda (método 920.39). Cuantificación de lípidos libres después de una extracción con hexano.
- e) Carbohidratos totales. Cuantificados por diferencia como Extracto Libre de Nitrógeno (ELN).

4.3.3.2 Contenido de Fibra Dietética Total, Soluble e Insoluble. El contenido de Fibra Dietética Total (FDT), Fibra Dietética Soluble (FDS) y Fibra Dietética Insoluble (FDI) se determinó mediante el método de Prosky (1988), descrito anteriormente.

4.3.3.3 Caracterización microbiológica. Se determinaron en los RF los recuentos de microorganismos coliformes totales, bacterias mesófilas aerobias, mohos y levaduras en dos etapas del proceso (después del tratamiento térmico y después de la molienda), con base en las Normas Oficiales Mexicanas, para conocer la efectividad del tratamiento térmico y del proceso en su totalidad.

4.3.4 Comparación estadística de resultados. Se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión de los resultados obtenidos para la composición proximal, fracciones de FD y caracterización microbiológica de los RF de cada ensayo. La comparación entre tratamientos se llevó a cabo mediante análisis estadístico “ t de student ”, con un nivel de significancia del 5%, de acuerdo a los métodos señalados por Montgomery (2006), utilizando el software estadístico Design Expert versión 6.0

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1 Secado de los sáculos de naranja.

Las curvas de pérdida de peso y humedad de los sáculos de naranja se presentan en la figura 9.

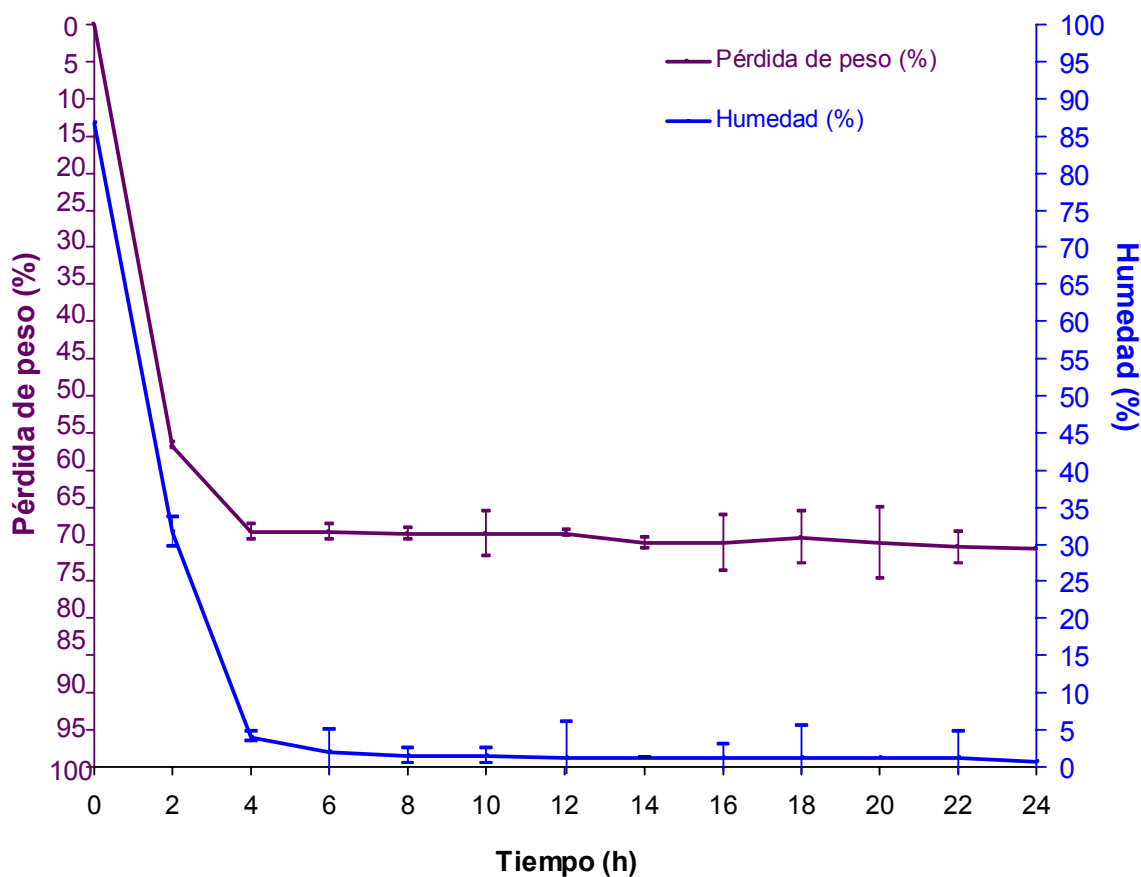


Figura 9. Curvas de pérdida de peso y humedad de los sáculos de naranja.

Se pudo observar que los sáculos presentaron inicialmente un contenido de humedad de 86.59%, reduciendo a las dos primeras horas su peso en un 56.6%, alcanzando una humedad de 31.71%. Transcurridas cuatro horas de secado, el peso

disminuyó 68.32%, teniéndose un contenido de humedad de 4.14%. A partir de este tiempo la pérdida de peso y el contenido de humedad disminuyeron con ligeras variaciones. A las 24 h de la operación de secado la pérdida de peso fue de 70.53% respecto al material fresco, con una humedad final de 0.66%. Un contenido de humedad menor del 10% inhibe el crecimiento microbiano, lo que aumenta la vida útil del producto (Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, 2001), el cual se obtuvo a las 4 h de secado, por lo que se determinó, para mayor seguridad, un tiempo de procesamiento de 6 h para la muestra.

El período en el cual se llevó a cabo el secado fue corto, y menor al reportado en procesos tradicionales de secado para RF de cítricos (empleando sáculos), donde se emplean tiempos entre 12 y 48 h, y temperaturas superiores a 60° C (Sendra *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2005; Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999). Esto pudo deberse a la eliminación rápida del agua debido a las características del material, ya que los sáculos de naranja presentan paredes delgadas y porosas (Soule *et al.*, 1978); además, al disminuir el tamaño de partícula, las estructuras internas (vesículas) del sáculo quedan expuestas a la corriente de aire caliente, facilitándose así el secado. Esto evita que los residuos queden mayor tiempo expuestos al calor, lo cual podría afectar su color, sabor y modificar algunas propiedades funcionales (Sendra *et al.*, 2004).

Por otra parte, la ventaja de los RF obtenidos a partir de sáculos de cítricos es que al no incluir la cáscara el tiempo de secado es corto, además se evitan problemas como el sabor amargo (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999), atributo que puede intensificarse por reacciones de obscurecimiento (Tamayo y Bermúdez, 1998) debidas a altas temperaturas y tiempos prolongados de secado, limitándose así su aplicación en alimentos (García, 2003).

La determinación de la curva de pérdida de peso fue necesaria para conocer el tiempo aproximado de secado de los residuos, de manera que se pudiera tener un control sobre esta operación para no afectar la calidad visual ni el sabor de los RF (Martín-Belloso *et al.*, 1999; Figuerola *et al.*, 2005), además de evitar un gasto energético innecesario.

5.2 Fracciones de Fibra dietética Soluble (FDS) en los Residuos Fibrosos (RF) escaldados por vapor.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de las fracciones de Fibra Dietética Soluble (FDS).

Cuadro 4. Contenido de Fibra Dietética Soluble FDS (% b.s.) de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja escaldados con vapor.

Factor del Tratamiento		Contenido de FDS
Relación residuo/ agua de lavado	Tiempo de tratamiento con vapor (min)	
1/1.5	5	26.48 ^a ± 1.82
	15	22.86 ^b ± 0.48
1/3	5	26.89 ^a ± 0.63
	15	22.02 ^b ± 0.91

^{ab} Medias en la columna con letras diferentes indican diferencia estadística (P<0.05).

En relación al factor residuo/agua de lavado, se observó, con base en el contenido de FDS, que ambos niveles con un mismo tiempo de escaldado fueron estadísticamente iguales (P>0.05), con porcentajes de 26.48 y 26.89% para las relaciones 1/1.5 y 1/3, respectivamente, empleando un tiempo de escaldado con vapor de 5 min; al igual que

para un tiempo de escaldado de 15 min, donde los contenidos, empleando las relaciones 1/1.5 y 1/3, fueron de 22.86 y 22.02%, respectivamente. Debido a que fueron estadísticamente iguales ambos niveles (1/1.5 y 1/3), sería preferible emplear la menor proporción residuo/agua de lavado, ya que utilizando un volumen bajo de agua de lavado se evita el efecto de lixiviación de la porción soluble de la fibra; también se logran eliminar azúcares simples y compuestos amargos, disminuyendo el contenido calórico del producto final y aumentando sus atributos sensoriales al no llevarse a cabo reacciones de pardeamiento que favorezcan la formación de compuestos que otorgan colores oscuros y sabores amargos (Martín-Belloso *et al.*, 1999); además, económicamente hablando, resulta más favorable esta relación, pues llevando el proceso a mayor escala se reducirían los costos del procesamiento al emplear menores volúmenes de agua (Tamayo y Bermúdez, 1998; Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, 2001).

En la relación 1/1.5, con 5 y 15 min de escaldado con vapor de agua a P_{atm} , los contenidos de FDS fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), lo cual indicó que el tiempo de escaldado con vapor influye directamente en el contenido de FDS. Esto podría deberse a que al emplear un tiempo de escaldado de 15 min se produjo mayor cantidad de condensado sobre los sáculos, lo cual podría haber favorecido la lixiviación de componentes solubles como las pectinas y las gomas, disminuyendo el contenido de FDS, a diferencia del tratamiento de 5 min, que presentó mayor contenido de FDS. De aquí que el emplear un tiempo de 5 min de escaldado con vapor sea el adecuado para conservar el mayor contenido de FDS presente en los residuos. El tiempo de 5 min de escaldado con vapor, al ser corto, reduciría los tiempos totales de obtención de RF, lo que disminuye el costo de procesamiento al ser menores los requerimientos de vapor; además, al ser por sí mismo un tratamiento térmico, podría lograrse la inactivación de microorganismos presentes en los desechos empleados, garantizando así la inocuidad del

producto. Con base en lo anterior el procedimiento para la obtención de RF mediante escaldado con vapor con las condiciones determinadas se muestra en la Figura 10.

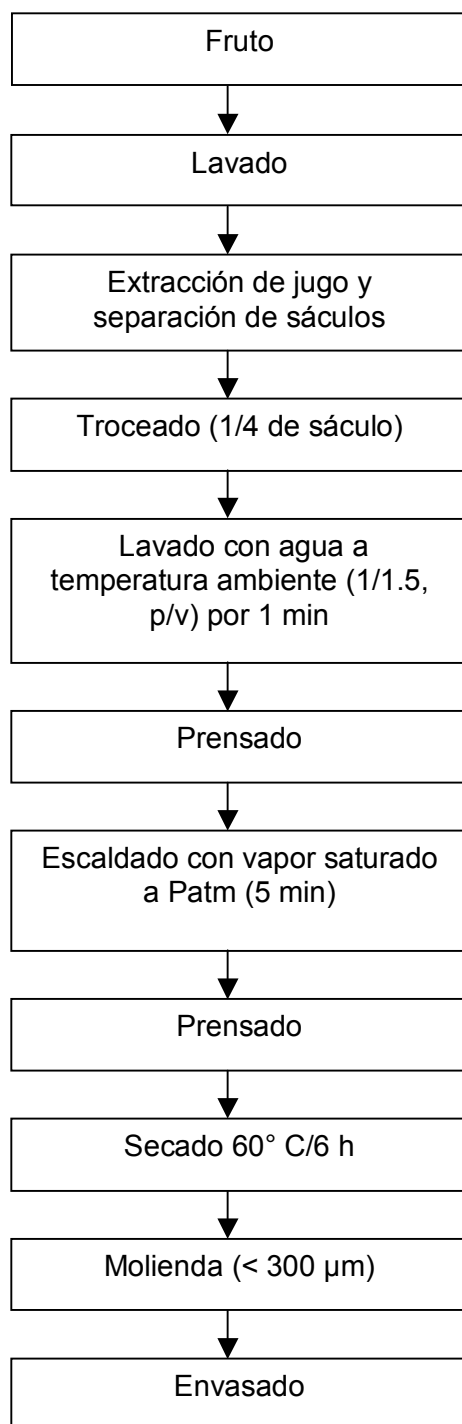


Figura 10. Obtención de los Residuos Fibrosos (RF) mediante escaldado con vapor.

5.3 Composición proximal de los Residuos Fibrosos (RF).

La composición proximal y el contenido de FDT de los RF de naranja se presentan en el Cuadro 5. La fibra obtenida aplicando escaldado con vapor presentó una humedad de 6.39%, mientras que las humedades de los residuos escaldados por ebullición y los obtenidos del procesamiento control fueron de 6.97% y 6.98%, respectivamente, encontrándose igualdad estadística ($P>0.05$) entre ambas. La humedad del residuo escaldado con vapor fue estadísticamente diferente ($P<0.05$) con la obtenida con el tratamiento por ebullición, al igual que con el control. Los residuos obtenidos en los tres tratamientos se encuentran dentro del nivel de humedad requerida para productos deshidratados en polvo, el cual debe ser menor al 10% (Griguelmo-Miguel y Martín-Belloso 1999; Tamayo y Bermúdez, 1998; Figuerola *et al.*, 2005) a fin de asegurar su vida útil y disminuir las reacciones de deterioro enzimático y no enzimático que pueden afectar la calidad del producto.

Cuadro 5. Composición proximal y contenido de FDT (% b.s.) de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja

Componente	Porcentaje (%)		
	Escaldado con Vapor	Escaldado por ebullición	Control
(Humedad)	(6.39 ^a ± 0.04)	(6.97 ^b ± 0.08)	(6.98 ^b ± 0.17)
Cenizas	2.81 ^a ± 0.21	2.84 ^a ± 0.08	3.14 ^a ± 0.10
Proteína Cruda	5.62 ^a ± 0.01	4.83 ^b ± 0.04	5.37 ^a ± 0.12
Grasa Cruda	1.29 ^a ± 0.03	1.31 ^a ± 0.07	1.72 ^b ± 0.04
Fibra Dietética Total (FDT)	81.54 ^a ± 0.31	80.50 ^a ± 0.55	82.92 ^b ± 0.4
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)	8.74 ^a ± 0.25	10.52 ^b ± 0.60	6.85 ^c ± 0.02

^{abc} Medias en cada fila con letras diferentes indican diferencia estadística ($P<0.05$).

La cuantificación de cenizas da idea de la cantidad de minerales presentes en los residuos y el efecto que tiene el tratamiento sobre los mismos. En los residuos escaldados tanto por ebullición como con vapor pudo haberse favorecido la lixiviación de minerales como el calcio, fósforo y potasio, encontrados principalmente en la naranja (Grijelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999), sin embargo, no hubo diferencia estadística ($P>0.05$) entre los valores cuantificados en estos tratamientos y el control.

Los valores obtenidos entre los tratamientos de escaldado con vapor y ebullición (2.81 y 2.84%) son similares a los reportados por Tamayo y Bermúdez (1998) (2.5%) para residuos de cáscara y sáculos de naranja, quizás porque en este estudio emplearon una relación residuo/agua de lavado de 1/3 (p/v), que pudo favorecer la lixiviación de minerales provenientes de la cáscara. Estos valores se encuentran en el intervalo que reportaron Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) para sáculos de diferentes variedades de naranja (Navel, Salustiana y Valencia) (2.6-3.1%), pero son menores al reportado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) (3.7%) en una mezcla de cítricos, donde además de los sáculos de naranja se incluyeron residuos de otros cítricos que pudieron haber influido en esta cuantificación, pues el contenido de cenizas también puede variar de acuerdo al fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha del mismo, así como por las condiciones de cultivo (Marlett y Vollendorf, 1994).

El contenido de proteína de los RF presentó igualdad estadística ($P>0.05$) entre el tratamiento de escaldado con vapor y el control, pero entre el tratamiento de escaldado por ebullición y el control sí hubo diferencia estadística. Esto pudo deberse a que el tratamiento por ebullición pudo haber favorecido la lixiviación de parte de este componente, pues el tratamiento térmico en un medio líquido favorece la lixiviación de polisacáridos enlazados con proteínas (Nyman y Margareta, 2003), a diferencia del

escaldado con vapor en el que el condensado pudo no ser lo suficiente para arrastrar una cantidad significativa de esta fracción. El porcentaje de proteínas de 5.62% obtenido en el tratamiento de escaldado con vapor fue menor al reportado por Tamayo y Bermúdez (1998) (6.0%) para cáscara y sáculos de naranja, ya que en la cáscara la presencia de componentes proteicos puede ser mayor; esta diferencia también pudo deberse a factores como la madurez, lugar de cultivo y época de cosecha del fruto (Badui, 2006). Los valores señalados anteriormente no son significativos como fuente proteica, pues en comparación con otros alimentos esta cantidad es mínima; su importancia radica principalmente en la fracción que pueda cuantificarse como proteína indigerible, ya que al ser resistente a la acción enzimática ésta podría formar parte de la FD (Larrauri *et al.*, 1997).

La cuantificación de grasa cruda entre los tratamientos de escaldado con vapor y por ebullición (1.29 y 1.31%, respectivamente) fue igual estadísticamente ($P>0.05$), pero diferente al control (1.72%), lo que pudo deberse a la lixiviación de componentes lipídicos. Estos valores son similares a los reportados por Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, (1999) para sáculos de naranja Valencia (1.47%), pero mayor al reportado por Tamayo y Bermúdez (1998) (0.6%) para cáscara y sáculos de naranja, pues éste último empleó los residuos del procesamiento del jugo después de que se extrajeron los aceites esenciales presentes en la cáscara. En general la fibra dietética proveniente de frutas que no incluyen la cáscara como parte del RF son pobres en este componente, pues la mayor parte de los compuestos lipídicos provienen de la cáscara (Badui, 2006).

El contenido de Fibra Dietética Total (FDT) que presentaron los RF tratados con vapor fue de 81.54%, valor estadísticamente igual ($P>0.05$) al obtenido mediante escaldado por ebullición (80.50%). Ambos tratamientos con respecto al control (82.92%)

fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), pues en éste último no se aplicó ningún tratamiento, permaneciendo casi inalterada la fracción fibrosa. La diferencia de ambos tratamientos respecto al control pudo deberse a los tratamientos térmicos que se efectuaron, que debieron haber lixiviado parte de la fracción soluble de la fibra. En el caso del escaldado con vapor podría haber ocurrido una ligera condensación, arrastrándose componentes solubles; en el caso del escaldado por ebullición podrían haberse perdido componentes solubles por arrastre en el medio líquido. Sin embargo, es necesario aplicar el tratamiento térmico para reducir la carga microbiana, ya que de no aplicarse, la calidad microbiológica final del RF se vería comprometida (Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, 2001).

Los valores obtenidos fueron mayores al reportado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez, (2001) para mezclas de cítricos, cuantificando un contenido de FDT de 72.8%. También en los estudios de Tamayo y Bermúdez (1998) para RF de naranja de la misma variedad, empleando cáscara y sáculos, el porcentaje fue alto (79%). Diferencias en el contenido de FDT de RF procedentes de frutos pueden ser atribuidas a la variedad, estado de maduración, época de cosecha y origen de la muestra (Marlett y Vollendorf, 1994), por lo cual es lógica esta variación entre las muestras analizadas y las reportadas por estos autores.

El Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) comprende la cuantificación de azúcares solubles y almidones, así como cantidades despreciables de pectina, hemicelulosa y celulosa (Saura-Calixto y García-Alonso, 2001). Los porcentajes cuantificados fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) en las tres muestras analizadas. Los sáculos tratados por ebullición presentaron el mayor porcentaje (10.52%) de esta cuantificación debido a la pérdida de parte de la fracción proteica y de FDT, a diferencia de los sáculos

tratados con vapor donde esta pérdida fue menor, calculándose un porcentaje de 8.74% de ELN. En los sáculos sin tratamiento térmico el porcentaje de ELN representó un 6.85%, ya que en éste último se conservaron la mayoría de los componentes.

5.4 Fracciones de Fibra Dietética (FD).

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de las fracciones de FD obtenidos de los diferentes tratamientos evaluados y las relaciones FDS/FDI obtenidas.

Cuadro 6. Contenido de Fibra Dietética Soluble (FDS), Insoluble (FDI) (% b.s.), y Relación FDS/FDI de los Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja

Tratamiento	Fracción de Fibra Dietética		
	Contenido		
	Fibra Dietética Soluble (FDS)	Fibra Dietética Insoluble (FDI)	Relación (FDS/FDI)
Escaldado con vapor	37.17 ^a ± 0.42	44.01 ^a ± 0.11	(46/54)
Escaldado con ebullición	36.79 ^a ± 0.27	43.71 ^a ± 0.28	(46/54)
Control	39.19 ^b ± 0.12	43.74 ^a ± 0.33	(47/53)

^{ab} Medias en la columnas con letras diferentes indican diferencia estadística (P<0.05).

En relación al contenido de FDI, se observó igualdad estadística (P>0.05) entre las tres muestras analizadas (44.01%, 43.71% y 43.74%), lo que indica que esta fracción permaneció prácticamente inalterada después de los tratamientos, de aquí que la metodología de escaldo con vapor sea adecuada, ya que evita la hidrólisis de esta fracción fibrosa (Derivi *et al.*, 1998; Nyman y Margareta., 2003). Los valores cuantificados fueron mayores al reportado por Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) (24.2%) para

sáculos de naranja, pero menores al reportado por Tamayo y Bermúdez (1998) (45%) quienes incluyeron la cáscara como parte del RF, teniendo características poco deseables en el residuo final (sabor amargo). Como se mencionó anteriormente, las variaciones en los contenidos de FDI también están relacionadas con la variedad del fruto, estado de maduración y fracciones comestibles empleadas (Kay, 1982), lo cual puede estar influyendo en las diferencias encontradas entre este estudio y los reportados en la bibliografía.

Los RF de naranja obtenidos por escaldado con vapor presentaron un contenido elevado de FDI (44.01%) comparado con otras fuentes [mango (27.21%), durazno (26.1%), manzana (36%), avena (13.8%)], pudiendo ser empleados en formulaciones destinadas a personas con problemas de estreñimiento, diverticulitis y colitis, así como para el control del sobrepeso y prevención de enfermedades como el cáncer de colon y niveles elevados de colesterol.

En cuanto a la porción soluble, su contenido en los RF obtenidos mediante los tratamientos de escaldado con vapor y por ebullición (37.17 y 36.79% respectivamente), fueron estadísticamente iguales ($P > 0.05$), pero respecto al control sí hubo diferencia estadística (39.19%). Esto pudo deberse a que durante los tratamientos muy probablemente se haya presentado la lixiviación de componentes que forman parte de esta fracción fibrosa; resultados que confirman las diferencias observadas en la cuantificación de la FDT. El contenido de FDS fue más alto respecto a otros estudios, como el reportado por Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) para sáculos de naranja, el cual fue de 11.3%; y por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) para una mezcla de cítricos (32.5%). Esto pudo deberse, como se mencionó anteriormente, a características del fruto como son la madurez, época de cosecha y lugar de cultivo, así

como al procedimiento aplicado, ya que en el caso de Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso (1999) las condiciones de lavado o el prensado pudieron haber influido en dicho contenido, mientras que en el estudio de Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) la fracción soluble presente en forma natural en los diferentes cítricos empleados en la mezcla estudiada pudieron influir en dicha cuantificación. El alto contenido de FDS cuantificado en los RF escaldados con vapor, al igual que el evaluado por ebullición, trae como consecuencia que la relación de FDS/FDI determinada con estos tratamientos tienda al equilibrio (46/54), con la cual se potencializa su aplicación como fuente de FD debido a las funciones fisiológicas que pueden promover ambas fracciones en el organismo contribuyendo a la salud.

5.5 Caracterización microbiológica.

Los resultados de los análisis microbiológicos realizados en los RF después del tratamiento térmico comparados con el control (sin tratamiento térmico) se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cuenta de microorganismos en Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja (UFC/g)

Tratamiento	Coliformes Totales	Bacterias mesófilas aerobias	Mohos	Levaduras
RF escaldados con Vapor	Ausente ^b	2 ± 1 ^b	Ausente ^b	Ausente ^b
RF escaldados por ebullición	Ausente ^b	3 ± 1 ^b	Ausente ^b	Ausente ^b
Control	240 ± 14.14 ^a	925 ± 120.20 ^a	7 ± 1.41 ^a	384 ± 50.91 ^a

^{a, b} Medias en las columnas con letras diferentes indican diferencia estadística (P<0.05)

El recuento de microorganismos coliformes totales, bacterias mesófilas aerobias, hongos y levaduras cuantificados en los RF del proceso control fueron elevados, ya que en estos residuos no se aplicó un tratamiento térmico. Estos valores fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) a los cuantificados para RF tratados térmicamente, tanto con vapor como por ebullición, tratamientos que fueron eficientes para disminuir la cuenta de bacterias mesófilas aerobias y eliminar microorganismos coliformes, mohos y levaduras. Para determinar la calidad microbiológica del producto final también se analizaron los RF después del secado y la molienda; los resultados de estos análisis se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Cuenta de microorganismos en Residuos Fibrosos (RF) de sáculos de naranja secados y molidos (UFC/g)

Tratamiento	Coliformes Totales	Bacterias mesófilas aerobias	Mohos	Levaduras
RF escaldados con Vapor	11 ± 0.70^b	555 ± 35.35^b	84 ± 5.65^b	93 ± 3.53^b
RF escaldados por ebullición	10 ± 1.41^b	930 ± 56.56^b	73 ± 4.94^c	100 ± 2.12^b
Control	425 ± 7.07^a	$88,000 \pm 4242.64^a$	3500 ± 2121.32^a	$19,000 \pm 50.91^a$

^{a, b} Medias en las columnas con letras diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$)

Se observó diferencia estadística ($P < 0.05$) en los recuentos de los microorganismos analizados en los RF secados y molidos que recibieron los tratamientos térmicos (escaldado con vapor y por ebullición) y el control. La cuenta de microorganismos coliformes totales fue elevada en el caso de los sáculos control (425 UFC/g), a diferencia del valor cuantificado en los RF tratados con vapor (11 UFC/g) y por

ebullición (10 UFC/g), ubicándose estos últimos dentro del intervalo reportado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) para concentrados comerciales de FD, los cuales reportan un conteo menor a 100 UFC/g.

En relación al recuento de bacterias mesófilas aerobias, se observó diferencia estadística ($P < 0.05$) entre los tratamientos térmicos estudiados respecto al control. Los RF tratados térmicamente se encontraron dentro del límite reportado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001), para RF comerciales (menor a 10,000 UFC/g). Caso contrario, el tratamiento control superó el límite señalado por estos autores. Tamayo y Bermúdez (1998) publicaron para residuos de cáscara y sáculos de naranja valores superiores a 10,000 UFC/g para estos microorganismos, sugiriendo que la fibra obtenida se debería incluir en productos que requieran temperaturas superiores a 60° C para su procesamiento, con el fin de asegurar la calidad microbiológica del producto final, evitando así poner en riesgo la salud del consumidor.

Los recuentos de mohos y levaduras en los RF control fueron 3,500 UFC/g y 19,000 UFC/g, respectivamente; para los residuos obtenidos mediante escaldado con vapor fueron 84 UFC/g y 93 UFC/g; y para los RF escaldados por ebullición estos valores fueron 73 UFC/g y 100 UFC/g, encontrándose diferencia estadística ($P < 0.05$) entre el proceso control y los dos tratamientos térmicos. Sendra *et al.*, (2004), determinaron un recuento de mohos y levaduras de 90 UFC/g para fibra obtenida de residuos de limón, conteo semejante al reportado por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) para fibras comerciales (100 UFC/g), por lo que los RF tratados térmicamente se encuentran dentro de los límites normales en estos productos para este tipo de microorganismos.

Hasta ahora no existe una NOM que determine la calidad microbiológica que deben observar este tipo de productos, sin embargo, al estar los RF obtenidos mediante escaldado con vapor dentro de los límites máximos determinados para concentrados de fibra de consumo inmediato que ya se encuentran comercializándose en el mercado, puede considerarse que su calidad microbiológica no representa un riesgo potencial para la salud de la población que los consuma, a diferencia de los residuos que no recibieron un tratamiento térmico (control), pudiéndose adicionar ya sea de manera directa en una suspensión en agua o en productos que requieran de un tratamiento térmico para su producción.

El tratamiento de escaldo con vapor y el tratamiento modificado de escaldado por ebullición propuesto por Fernández-Pérez y Rodríguez-Sánchez (2001) resultaron estadísticamente iguales sobre el contenido de FDS, de aquí que ambos tratamientos sean adecuados para la obtención de RF, logrando las dos metodologías generar poca pérdida de esta fracción de la fibra. Con los resultados obtenidos hasta ahora a nivel laboratorio no es posible definir qué tratamiento es mejor, para determinarlo es necesario realizar estudios como la caracterización funcional y, sobre todo, el análisis de compuestos bioactivos, ya que un método que permita retener la mayor cantidad de estos componentes presentes de manera natural en los residuos agroindustriales potenciales para su uso como fuente de FD, así como la mayor cantidad de la porción soluble de la fibra, generará residuos fibrosos de mayor calidad fisiológica y comercial.

6. CONCLUSIONES

- Con base en la curva de pérdida de peso se determinó un tiempo de secado de 6h, en el cual se alcanzó un contenido de humedad de 2.12%, considerado seguro para la conservación del producto a temperatura ambiente.
- Se evaluó el efecto de las condiciones de procesamiento de escaldado con vapor a Presión atmosférica en relación al contenido de FDS, conservándose el mayor contenido de esta fracción fibrosa al emplearse la relación 1/1.5 (residuo fibroso/ agua de lavado) y 5 min de tratamiento con vapor.
- Se determinó la composición proximal y las fracciones de FD de los residuos fibrosos escaldados con vapor y por ebullición, comparándolos con un control, encontrándose igualdad estadística en los tres tratamientos con base en el contenido de FDT y FDI. En relación al contenido de FDS se encontró diferencia estadística en los RF tratados térmicamente y el control.
- El análisis microbiológico de los RF indicó que el tratamiento térmico disminuyó su carga microbiana obteniéndose un producto que al parecer no implica un riesgo potencial para la salud.

7. RECOMENDACIONES

- Se sugiere evaluar la actividad antioxidante, la capacidad de intercambio de cationes, la capacidad de adsorción de moléculas orgánicas y de ligar ácidos biliares de los RF obtenidos, además de realizar la caracterización funcional de los mismos para determinar los posibles beneficios a la salud y el tipo de alimentos a los que pueden incorporarse estos RF, con la finalidad de aprovechar al máximo sus propiedades nutracéuticas y funcionales.
- Una vez conocidas las características y potencialidades de los RF obtenidos mediante escaldado con vapor, se sugiere obtenerlos a nivel planta piloto para realizar el análisis de costos que permita conocer la viabilidad de este proceso sobre otras metodologías de obtención de RF.

8. REFERENCIAS

- A.A.C.C.** American Association of Cereal Chemist. (1984). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemist*, St. Paul MN.
- A.A.C.C** American Association of Cereal Chemist. (2001). Report of the definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46(3), 112-124.
- A.O.A.C** Association of Official Analytical Chemist. (1997). *Official methods of analysis*. Editorial Gaithersburg. Cap.2-13,14; Cap.4-13, Cap.25-28; Cap.32-1,2.
- Aravantinos-Zafirris**, G., Oreopoulou, V., Tzia, C., y Thomopoulos, D. (1994). Fibre fraction from orange peel residues after pectin extraction. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*, 27(5).
- Ator**, C., J. (2000). Caracterización química de la fibra dietética de subproductos obtenidos de la leguminosa *Vigna Unguiculata L. Walp.* Tesis de Maestría para obtener el título de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida Yucatán, México.
- Badui**, S. (2006). *Química de los alimentos*. (4ª Ed.). (Pp. 117-119 ibit, 538-540). México, DF. : Editorial Universidad Alambra.
- Baquero**, C., y Bermúdez, A. (1998). Los residuos vegetales de la industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 207-214.
- Biolley**, E., Villarroel, M., Larenas, G., Witting, E., Díaz, V., y Muñoz Y. (1998). Efecto retardante de la absorción de glucosa en mermelada a base de lupino. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 87-95.
- Butz**, P., García-Fernández, A., Fister, H., Merkel, C., y Tauscher. B. (2002). Changes in functional properties of vegetable induced by high pressure treatment. *Food Research International*, 35, 295-300.
- Byugo**, Kay. (1994). *Fruticultura: Ciencia y Arte*, A.G.T. Editor, México
- Brown**, I. (1996). Complex carbohydrates and resistant starch. *Nutrition FASPYN*, 5-119.
- Chang**, C., Morris, C. W. (1990). The effect of heat treatments on dietary fiber as assessed by scanning electron microscopy. *Journal of Food Processing*.14(5):335-

- Cruz**, S. M. (2002). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*) Tesis de Maestría para obtener el título de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida Yucatán, México.
- De Vries**, J. W., L. Prosky, B., y S, Cho. (1999). A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal foods world*, 423-010, 367-369.
- Derivi**, S.C.N., Mendez, M.H.M., Albino, A.M.S., Francisconi, A.D., y Carvalho G.C.S. (1998). Dietary fiber and availability of minerals Ca and Fe in vegetables. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 43-53.
- Dreher**, M. L. (1987). *Handbook of dietary fiber: An applied approach*. New York, NY: Marcel Dekker Inc.
- Drzikova**, B., Dongowski, G., Gebhardt, E., y Habel, A. (2005). The composition of dietary fibre-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation in vitro. *Food Chemistry*, 90, 181-192.
- Esposito**, F., Arlotti, G., Bonifati, A., Napolitano, A., Vitale, D., y Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 38, 1167-1173.
- Fernández-Pérez**, M., y Rodríguez-Sánchez, J. (2001). Tecnología para la obtención de fibra dietética a partir de materias primas regionales. La experiencia en Cuba. En Fibra Dietética en Iberoamerica: Tecnología y Salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Editado por Lajolo, M., F. Saura-Calixto, E. Witting y E. Wenzel. Varela Editora. Brasil. 212-213.
- Figuerola**, F., Hurtado, M., Estévez, A., Chiffelle, I., y Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potencial fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91, 395-401.
- Fuertes**, S. (1998). Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación. Séptimo simposio de alimentos. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, 1-25.
- García**, A. J., M. B. E. M. C., M. P. R., (2005). Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potencial use as animal feedstuffs. *Waste management*.
- García**, I. (2003). Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos fibrosos de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su incorporación en galletas. Tesis de

- licenciatura para la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.
- Gorinstein, S.,** Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Sembré, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S. y Martín-Belloso, O. (2001). Comparative content of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 952-957.
- Goñi, C. I.,** y Martín-Carrón, N. (2001). Fermentación colonica de fibra dietética y almidón resistente. En *Fibra Dietética en Iberoamerica: Tecnología y Salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos.* Editado por Lajolo, M., F. Saura-Calixto, E. Witting y E. Wenzel. Varela Editora. Brasil. 312-324.
- Guillon, F.,** y Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- Grigelmo-Miguel, N.,** y Martín-Belloso O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 335-361.
- INNSZ,** Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. (1990). Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México.
- Hernández-Unzón, H. Y.,** y Gallardo-Navarro, Y. (1998). Composición parcial de los polisacáridos de las fibras de chayote, brócoli y mamey. En *Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética;* editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 43-53.
- Jaime, L.,** Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M., López-Andréu, J. F., Y Esteban. (2002). Structural carbohydrates differences and potencial source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 122-128.
- Kay, M. R.** (1982). Dietary fiber. *Journal of Lipid Research*, 23, 221-242.
- Lairon, D.** (1987). Las fibras alimentarias. *Mundo Científico*, 102 (10), 520-528.
- Larrea, M. A.,** Chang, Y. K., Y Martínez-Bustos, F. (2005). Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality ok cookies. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*, 38, 213-220.
- Larrauri, J. A.,** Goñi, I., Martín-Carrón, N., Rupérez, P., Saura-Calixto, F. (1996). Measurement of health-promoting properties in fruti dietary fibres: antioxidant capacity, fermentability and glucosa retardation index. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 71, 515-519.

- Larrauri**, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., y Saura-Calixto, F. (1997). Seasonal changes in the composition and properties of a high dietary fiber powder from grapefruit peel. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 308-312.
- Marlett**, A. J., y Vollendorf, W. N. (1994). Dietary fiber content and composition of different forms of fruits. *Food Technology*, 51, 39-44.
- Martín-Belloso**, O., Gorinstein, S., y Grijelmo-Miguel, N. (1999). Characterization of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food Chemistry*, 65, 175-181.
- Martínez-Bustos**, Larrea, M. A., y Chang, Y. K. (2005). Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89, 301-308.
- Mathwes**, R. F. (1990). Removal of Limonin and Naringin from Citrus by Styrene-Divinylbenzene Resins. *Food Technology*, 44.
- McDougall**, G. J., Morrison, I.M., Stewart, D., y Hillman, R. J. (1996). Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 133-150.
- Montgomery**, D. C. (2006). *Diseño y Análisis de Experimentos* (2ª ed). México: Limusa, Wiley.
- Nawirska**, A., y Kwasniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruits and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221-225.
- Noriega**, Editores. (2000). *Jugos de frutas y verduras; guías empresariales*. México, D.F. : Editorial Limusa.
- Nyman**, G. L., y Margareta, E. (2003). Importance of processing for physico-chemical and physiological properties of dietary Fibre, *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 187-192.
- Nyman**, M., Siljeström, M., Pedersen, K., Bachknudsen, E., Asp, N. G., Johansson C. J., y Eggum, O. (1983). Dietary fiber content and composition in six cereals at different extraction rates. *Cereal Chemistry*, 61(1),14-19.
- Olds**, S. B. (1986). Dietary fiber: Physical and chemical properties, methods analysis, and physiological effects. *Food Technology*, February, 104-110.
- Peraza**, G. M. (2000). Caracterización de los residuos fibrosos de *Canavalia ensiformis L.* y *Phaseolus lunatus L.* y su incorporación a un producto alimenticio. Tesis de Maestría para la obtención del título de maestro en Ciencia y tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México.

- Pérez, N. C.** (2003). Elaboración y caracterización de complementos alimenticios con un alto contenido de fibra dietética de maracuyá (*pasiflora edulis*). Tesis de Maestría para la obtención del título de maestro en Ciencia y tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México.
- Prosky, L., Asp, N., Schweizer, T., De vires, J., y Fruda, I.** (1988). Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and foods products: Inter laboratory study. *Journal of the A.O.A.C.* 71, 1017-1023.
- Reyes, H. A., García, O. E., Infante, R. B., Rivera, C. J., y Morón, M. C.** (1998). Estudio bioquímico de dos tipos de cereales (maíz y arroz) y productos derivados de su procesamiento. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 143-148.
- Ramos, A. M., Balboa, N. H., y Vera, K. J. C.** (1993). Utilización de la pulpa deshidratada de cítricos en la alimentación de los rumiantes. Revista de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Agronomía, *Bioatam*, 5(1).
- Ramulu, P., y Rao, P. U.** (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 677-685.
- Ranhotra, G. S., Gelroth, J.A., y Astroth, K.** (1990). Total and soluble fiber in selected bakery and other cereal products. *Cereal Chemistry*, 67(5), 499-501.
- Ruales, J., y Zumba, J.** (1998). Cuantificación y caracterización de fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 55-59.
- Sánchez, G. B. S.** (2005). Caracterización Físicoquímica y Funcional de la Fibra Dietética del Fruto del Níspero (*Eriobotrya japonica*) y de la Cáscara de Mango Obo (*Mangifera indica L.*). Tesis de Licenciatura para obtener el título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.
- Saura-Calixto, F., Torre, M., y Rodríguez, R. A.** (1995). Interactions of Fe(II), Ca(II) and Fe(III) with high fibre materials: A physicochemical approach. *Food Chemistry*, 54, 23-31.
- Saura-Calixto, F. y García-Alonso, A.,** (2001). Metodología para el análisis de fibra y carbohidratos. En fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud. Obtención,

- caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Editado por Lajolo, M., F. Saura-Calixto, E. Witting y E. Wenzel. (pp. 17-25). Brasil: Editora Varela.
- Saura-Calixto**, F., Cambrodón, G., Albarrán, M., y Ferrer, P. R. (2002). Fibra dietética en cerveza: contenido, composición y evaluación nutricional. Centro de Información Cerveza y Salud. España. 4-19, 43.
- Sendra**, E., Lario, Y., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., y Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Preparation of high fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 113-117.
- Soule**, J., y Grierson, W. (1978). Anatomy and Physiology of Citrics. New York.
- Tamayo**, Y., y Bermúdez, A. (1998). Los residuos vegetales de la Industria de jugo de naranja como fuente de fibra dietética. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 181-189.
- Torre**, M., Rodríguez, A. R., Saura-Calixto, F. (1991). Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 1(1), 1-22.
- Valiente**, C., Esteban, R.M., Mollá, E., y López-Andreu, F.J. (1994). Roasting Effects on dietary fiber composition of cocoa beans. *Journal of food Science*, 59(1), 140-142.
- Varman**, H. A., Sutherland, J. P. (1997). *Bebidas: tecnología, química y microbiología*. España. : Editorial Acribia.
- Yoon**, Y. K., Cha, M., Shin, S. R., y Kim, K. S. (2005). Enzymatic production of soluble-fibre hydrolyzate from carrot pomace and its sugar composition. *Food Chemistry*, 92, 151-157.
- Zambrano**, Z. M., Hernández-Hernández A., Gallardo-Navarro, Y. (1998). Caracterización fisicoquímica del Nopal. En Temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra Dietética; editado por Lajolo, M. y E. Wenzel. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México, 29-41.
- Zhang**, D., y Moore, W.R. (1999). Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 805-809.

8.1 Otras fuentes consultadas.

- FAO**, (2005). Estadísticas de la producción de naranja a nivel mundial. Consultada en Noviembre del 2006. <http://www.fao.org>.

- FAOSTAT.** Base de datos estadísticos de la FAO. (2004) Consultada en Noviembre del 2006. <http://faostat.fao.org/faostat>.
- SAGARPA.** (2005). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Producción y Comercialización de naranja. Consultada en Diciembre del 2006. <http://www.sagarpa.gob.mx>
- NOM-092-SSA1-1994.** Norma Oficial Mexicana. (1994). Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Secretaria de Salubridad y Asistencia, México.
- NOM-110-SSA1-1994.** Norma Oficial Mexicana. (1994). Bienes y Servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Secretaria de Salubridad y Asistencia, México.
- NOM-111-SSA1-1994.** Norma Oficial Mexicana. (1994). Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Secretaria de Salubridad y Asistencia, México
- NOM-113-SSA1-1994.** Norma Oficial Mexicana. (1994). Bienes y Servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Secretaria de Salubridad y Asistencia, México