



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES
DE LA FIBRA DIETÉTICA A PARTIR DE LA
CÁSCARA DE NARANJA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

MARLITH PATRICIA SANTIAGO FALCÓN



Asesor: Dr. Edmundo Brito de la Fuente
Asesor técnico: Dr. Luis Medina Torres



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Páginas
Índice General	1
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	
1.1. Generalidades de la naranja	9
1.1.1. Componentes de la naranja	10
1.1.2. Composición química de la naranja	11
1.1.3. Producción de la naranja	14
1.1.4. Comercialización de la naranja	15
1.1.5. Principales usos de la naranja	17
1.2. Generalidades de la Fibra Dietética	18
1.2.1. Definición de la fibra dietética	18
1.2.2. Composición de la fibra dietética	18
1.2.3. Clasificación de la fibra dietética	20
1.2.3.1. Fibra dietética insoluble	20
1.2.3.2. Fibra dietética soluble	20
1.2.4. Efectos benéficos de la fibra dietética en la salud	21
1.2.4.1. Efecto hipocolesterolémico	22
1.2.4.2. Efecto regulador del metabolismo de la glucosa	23
1.2.4.3. Efecto gastrointestinal	23
1.2.5. Aplicaciones de la fibra dietética en la industria de alimentos	24
1.2.6. Preparación de polvos ricos en fibra dietética.	26

1.3. Propiedades funcionales de la fibra dietética	28
1.3.1. Propiedades de hidratación	28
1.3.2. Capacidad de absorción de aceite	30
1.3.3. Propiedades Reológicas (Viscosidad)	31
1.3.4. Capacidad de emulsificación	38
1.4. Proceso de Secado	41
1.4.1. Métodos generales de secado	41
1.4.2. Curvas de velocidad de secado	43
OBJETIVOS	46
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Preparación de la materia prima	49
2.2. Muestras	49
2.3. Técnica de secado	49
2.4. Molienda y tamizado	52
2.5. Análisis químico	52
2.6. Determinación del contenido de fibra dietética	52
2.6.1. Determinación de fibra dietética insoluble	54
2.6.2. Determinación de fibra dietética soluble	54
2.7. Determinación de las propiedades funcionales	55
2.7.1. Propiedades de Hidratación	55
2.7.1.1. Capacidad de retención de agua	55
2.7.1.2. Capacidad de hinchamiento	56
2.7.2. Capacidad de retención de aceite	56
2.7.3. Viscosidad de proceso	56
2.7.4. Capacidad de emulsificación	59
2.7.4.1 Estabilidad de la emulsión mediante la determinación del tamaño de gota por difracción de rayo láser	59

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cinéticas de secado	62
3.2. Propiedades fisicoquímicas	65
3.2.1. Análisis químico	65
3.2.2. Contenido de fibra dietética	65
3.3. Propiedades funcionales	68
3.3.1. Capacidad de retención de agua	68
3.3.2. Capacidad de hinchamiento	69
3.3.3. Capacidad de absorción de aceite	70
3.3.4. Efecto del tamaño de partícula en las propiedades funcionales (CRA, CH, CAA)	71
3.3.5. Viscosidad de proceso	72
3.3.5.1. Efecto del contenido de fibra soluble sobre la viscosidad	72
3.3.5.2. Efecto de la concentración sobre la viscosidad	76
3.3.5.3. Efecto del tamaño de partícula sobre la viscosidad	78
3.3.6. Capacidad de emulsificación	82
3.3.6.1. Estabilidad de la emulsión mediante la determinación del tamaño de gota por difracción de rayo láser	82
3.3.6.2. Efecto del tamaño de partícula en la estabilidad de la emulsión	86

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES	91
--------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	94
--------------	----

Apéndice A.	99
-------------	----

Apéndice B.	102
-------------	-----

RESUMEN

La naranja es la principal fruta que se produce en México y ocupa el cuarto lugar en la producción a nivel mundial. Durante el procesamiento de cítricos se produce una considerable cantidad de productos de desecho. Por lo tanto, una alternativa para su aprovechamiento, es su incorporación como fuente de fibra dietética en formulaciones alimenticias, pues se sabe que la cáscara de la naranja, es una excelente fuente de fibra dietética y su interés principal radica en su alto contenido de fibra soluble. Las propiedades funcionales que permitan convertir la fibra dietética (FD) de cáscara de naranja en un ingrediente funcional para adicionarse en formulaciones alimenticias, son de interés en este trabajo.

En este trabajo se empleo la cáscara de naranja con pulpa (flavedo, albedo y sacos de jugo) y la cáscara de naranja sin pulpa (flavedo y albedo únicamente). Primero se realizó la obtención de la cáscara de naranja deshidratada, la cual es una forma de preservar el producto, además de que resulta una mejor opción para su uso en la industria de alimentos. La deshidratación se llevó a cabo empleando el proceso de secado por convección forzada (60°C, flujo de aire: 5 m/seg), analizando su cinética de secado.

Posteriormente, se determinó el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble, así como el análisis químico. Finalmente, se evaluaron las propiedades funcionales de la cáscara de naranja (con y sin pulpa): Capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de aceite, viscosidad a concentraciones de 10 %, 12.5% y 15% (p/v), capacidad de emulsificación, evaluando la estabilidad de la emulsión mediante la determinación del tamaño de gota por difracción de rayo láser. A la par se tomo como referencia el efecto del tamaño de partícula en las propiedades funcionales con FD de naranja comercial.

Los resultados muestran que la cáscara de naranja presenta un alto contenido de fibra dietética total (53.6-76.5%) especialmente de la fracción soluble, siendo la cáscara de naranja con pulpa la que obtuvo un mayor contenido de ésta fracción (26.8%) con respecto a la cáscara sin pulpa (15.4%). La fibra de cáscaras de naranja evaluadas muestran una elevada capacidad de absorción de agua (11.2 a 12.6 g. agua/g fibra), una buena capacidad de absorción de aceite (1.8 a 2.3 g aceite/g fibra), alta capacidad de hinchamiento (9.0 a 10.8 g agua/g fibra), además de que aporta una alta viscosidad y tiene una aceptable capacidad de emulsificación. La FD de cáscara de naranja con pulpa obtuvo los resultados más satisfactorios, asociándose esto a su mayor contenido de fibra dietética soluble. Estos resultados sugieren, posibles usos de la FD de cáscara de naranja en formulaciones alimenticias enriquecidas con este tipo de fibra.

INTRODUCCIÓN

La naranja es una fruta cítrica que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales. Es considerada la principal fruta producida en México, tanto en volumen como en superficie cosechada, ocupando el cuarto lugar de la producción mundial. Alrededor de las tres cuartas partes de la producción total se consume en estado fresco, básicamente en forma de jugo, mientras que el resto se destina a las procesadoras de cítricos, en donde la cáscara que se obtiene es sumamente abundante, pues los cítricos en contraste con otros tipos de frutas, tienen una pequeña porción comestible y grandes cantidades de material de desecho o residuo (cáscara). Normalmente este subproducto era utilizado como alimento para ganado o simplemente para la obtención de pectinas y aceites esenciales. Hoy en día se sabe que la cáscara de cítricos es una excelente fuente de fibra dietética, por lo tanto, la cáscara de naranja puede ser altamente aprovechable para este fin en la industria de alimentos, además de que es sumamente abundante y de bajo costo.

La principal ventaja de la FD de frutas cítricas cuando se compara con otras fuentes alternativas de fibra como cereales, es su alta proporción de fibra dietética soluble con 33% en cítricos, mientras que solo el 7% es presente en salvado de trigo. Esto es importante ya que los requerimientos del consumo de FD deben ser balanceados, la fracción soluble debe representar entre el 30 y 50% de la fibra dietética total (FDT). La alta presencia de ambas fracciones indica una FD con muy buenos efectos fisiológicos, lo cual la hace interesante para su estudio, debido a los enormes beneficios que proporcionan en la salud. Puesto que la fracción soluble ayuda a disminuir los niveles de colesterol y glucosa en sangre, mientras que la fibra dietética insoluble tiene un efecto marcado en la regulación intestinal. Dado su alto beneficio nutricional es importante incrementar su consumo y diversificar su uso como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales. Además de las propiedades nutricionales, la FD de naranja también posee propiedades tecnológicas que pueden ser usadas en formulaciones alimenticias, dando como resultado modificaciones en la viscosidad y textura de los alimentos.

En los últimos años, la fibra se ha convertido en uno de los componentes más populares de los alimentos y las aplicaciones tecnológicas de la fibra dietética son cada vez más variadas, pues son adicionadas como ingredientes enriquecedores en algunas formulaciones o buscando algún efecto en la textura, por lo tanto, el uso de la fibra dietética en los alimentos esta basada en sus propiedades funcionales.

Los resultados de las propiedades funcionales de la FD pretenden ser útiles en formulaciones de alimentos que están enriquecidos con fibra, con buen aporte nutricional y con información suficiente para el desarrollo de nuevos productos alimenticios.

La necesidad en la industria alimentaria de disponer de ingredientes que aporten una proporción balanceada de fibra dietética, llevó a plantear el presente trabajo con el propósito de encontrar los parámetros tecnológicos que permitan convertir los residuos de la naranja en una fuente de fibra dietética, para su incorporación como ingrediente funcional en formulaciones alimenticias.

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES

1.1.- GENERALIDADES DE LA NARANJA

El naranjo dulce (*Citrus sinensis*) tiene su origen posiblemente en el noreste de la India y China central. La historia cuenta que la llegada de especies cítricas se dio con el arribo de los españoles a nuestro continente. La introducción de semillas de naranja dulce en América se da en el año de 1493, siendo los primeros países Santo Domingo y Las Bahamas, a través de las cuales con la conquista española, se extendería a México. El naranjo dulce es el que se ha distribuido más ampliamente, y proporciona las mayores producciones de todas las especies cítricas comerciales. Su resistencia moderada a las heladas, su adaptabilidad a un amplio abanico de condiciones climáticas y la diversidad de cultivos que existen lo hacen muy adaptable a muchas regiones. Los frutos del naranjo dulce tienen, en general un contenido en ácidos de moderado a bajo y un porcentaje de sólidos solubles de moderado a alto. Por lo tanto, el sabor de la fruta fresca y de los productos derivados de su jugo resultan atractivos para muchas personas en todo el mundo.

La naranja es un cultivo perenne que se desarrolla bien en zonas tropicales y subtropicales desde los 200 hasta 1,200 metros sobre el nivel del mar; resiste temperaturas comprendidas entre el rango de 10 a 50 °C y una precipitación anual de 200-1500mm. Respecto a los suelos, en general las grandes áreas productoras se localizan en los de tipo limo-arenosos y tierras de aluvión o limo-arcillosos profundos y bien drenados.



Figura 1.1. Imagen de la naranja

La cosecha de naranja se realiza prácticamente todo el año, el periodo de mínima cosecha abarca del mes de julio hasta agosto; de septiembre a noviembre y de abril a junio se tiene cosecha media y de diciembre a marzo, ocurre la máxima cosecha. Por su periodo de maduración se clasifica en: temprana, de media estación y tardías. En los climas subtropicales, los cultivares de madurez temprana alcanzan ésta generalmente en un plazo de 6-9 meses después de producirse la floración completa, las de media estación en 9-12 meses y las de maduración tardía en 12 meses.

La naranja pertenece a la familia Rutaceae, genero Citrus y especie Citrus sinensis. El árbol de naranja es reducido, mide de 6 a 10 m de alto, sus ramas son poco vigorosas y tiene tronco corto. Las hojas de los árboles son limbo grandes esparcidas y de color verde oscuro, las flores son blancas y aromáticas, solas o agrupadas con o sin hojas. Los brotes con hojas (campaneros) son los que mejores frutos dan.

Las variedades comerciales cultivadas en México son:

Valencia, Washington Navel, San Miguel, Pearson Brown, Criollo, Media Sangre, Hamlin, Morros, Jaffa, Mediterráneo, Chabela y Pine-apple.

La principal variedad que se cultiva en el país es la Valencia (maduración tardía), también identificada como naranja de jugo por los citricultores. Esta variedad se destaca por su cantidad y calidad de jugo, de uso tanto para consumo en fresco como para la industria, características que le han llevado a ocupar actualmente más del 80% de las tierras dedicadas al cultivo de esta especie. Para la realización de éste proyecto se utilizó la naranja Valencia.

1.1.1.- Composición de la naranja

Las principales partes que conforman a la naranja, son las siguientes:

1.- Flavedo (10%): Es una capa de tejido que esta delineando la epidermis y en el, abundan vesículas o celdillas que contienen lípidos, aceites esenciales y cromoplastos (carotenoides), es la porción colorida de la cáscara.

2.- Albedo (12-30%): Se encuentra debajo del flavedo; Es una capa de tejido esponjoso, blanco y celulósico, el cual constituye la mayor parte de la corteza. El mismo tejido forma el corazón o eje central del fruto, que junto con el flavedo contienen el sistema vascular, el cual suministra a la fruta de agua y nutrientes.

La cáscara o pericarpio (20-50%) es el flavedo y el albedo juntos.

3.- Endocarpio (50-80%): Se encuentra dentro de la cáscara y es la parte comestible de los cítricos, es comúnmente llamada pulpa, está formado por muchos carpelos o segmentos, que a su vez, están compuestos por vesículas que contienen el jugo y están separados por las membranas intercapilares.

4.- Jugo (35-50%): Es el contenido de las vesículas, extraído manual o mecánicamente. El jugo contiene suspendidos componentes solubles y partículas en suspensión tales como: Cromoplastos, vesículas, fragmentos de tejido y pectinas entre otros.

5.- Residuo de pulpa (20-25%): Es la fracción que queda al extraer el jugo, contiene fragmentos de centro, membranas y sacos de jugo, es la mayor parte fibrosa y celulósica de las vesículas y por tal motivo, retienen una gran cantidad de jugo.

6.- Semillas: De cubierta dura, lignocelulósica, contiene una importante cantidad de grasa.

1.1.2.- Composición química de la naranja

Los componentes químicos de la naranja son principalmente agua, azúcares solubles, fibra dietética, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas, minerales, aceites y lípidos, también contienen flavonoides y vitaminas. Todos estos componentes son encontrados en diferentes cantidades dependiendo de la fracción de la fruta (jugo, albedo, flavedo, pulpa y semillas).

La dulzura que contienen las frutas cítricas se debe a la presencia de glucosa, fructosa y sacarosa, los azúcares pueden variar desde 1% para limones hasta 9% para algunas naranjas. La acidez es principalmente debida al ácido cítrico. El color de la naranja y mandarinas es debido a los carotenoides y xantofilas, como la clorofila en la cáscara de éstos cítricos disminuye, los carotenoides aumentan. Además de que éstos también funcionan como antioxidantes naturales al igual que los flavonoides presentes en la naranja como el hesperidin (naranja), limonin, isolimonin y narangin y algunas vitaminas (Vitamina C y A). El contenido de fibra dietética total para subproductos cítricos es de 50 a 75% y en cuanto a los componentes de la fibra, se encuentran dentro de los intervalos informados para fibras cítricas: sustancias pécticas 20 a 30%; hemicelulosas 6 a 14%; lignina 2 a 8% y celulosa 25 a 40% (Borroto et al., 1995)

Los lípidos presentes en la cáscara son principalmente ceras, resinas y aceites esenciales estos últimos representan la fracción aromática más importante del fruto aproximadamente contienen del 0.2-0.5%, están constituidos por una mezcla compleja de compuestos principalmente alcoholes, fenoles, ácidos, aldehídos, cetonas y sobre todo una alta cantidad de terpenos (90% básicamente monoterpenos como el limoneno), los cuales son susceptibles a la oxidación, sin embargo no se han reportado estudios sobre la estabilidad a la oxidación de las frutas cítricas deshidratadas, y por lo tanto, se puede considerar que por la concentración de grasa presente en la cáscara de naranja (0.5-1.5 %), no causa ninguna alteración durante el almacenamiento. No obstante, Moreno reporta que se debe tener un proceso de almacenamiento eficiente para evitar que los terpenos sensibles a la oxidación tengan contacto con el oxígeno. Por otro lado y para evitar los sabores indeseables (amargor) producidos por los terpenos, se recomienda realizar una desodorización de la harina de cáscara de naranja, la cual consiste en la separación de los compuestos volátiles presentes (desterpenación) ya sea por destilación con arrastre de vapor de agua o someténdolas en autoclave 121°C / 15 min. (Moreno et al, 2004).

Tabla 1.1. Composición química de la naranja por 100g.

Composición química de la naranja en 100 g de sustancia comestible	
Agua (g)	87.1
Proteínas (g)	1.0
Lípidos (g)	0.2
Carbohidratos (g)	12.2
Calorías (kcal)	49
Vitamina A (U.I.)	200
Vitamina B1 (mg)	0.1
Vitamina B2 (mg)	0.03
Vitamina B6 (mg)	0.03
Ácido nicotínico (mg)	0.2
Ácido pantoténico (mg)	0.2
Vitamina C (mg)	50.0
Ácido cítrico (mg)	980.0
Ácido oxálico (mg)	24.0
Sodio (mg)	0.3
Potasio (mg)	170.0
Calcio (mg)	41.0
Magnesio (mg)	10.0
Manganeso (mg)	0.02
Hierro (mg)	0.4
Cobre (mg)	0.07
Fósforo (mg)	23.0
Azufre (mg)	8.0
Cloro (mg)	4.0

1.1.3.- Producción de naranja

La naranja es uno de los frutales más extensamente cultivados en el mundo principalmente en las zonas subtropicales. México destaca por ser uno de los más importantes productores de naranja, ya que representa el primer lugar en la producción de frutas a nivel nacional, con una superficie sembrada del 26.4% de la superficie total. De acuerdo a estadísticas de la FAO, en el año 2001 (Figura 1.2), México produjo poco más del 5% de la producción mundial, ocupando el cuarto lugar como productor a nivel mundial, a la vez que Brasil, China y Estados Unidos concentraron casi 60% de la producción del mundo.

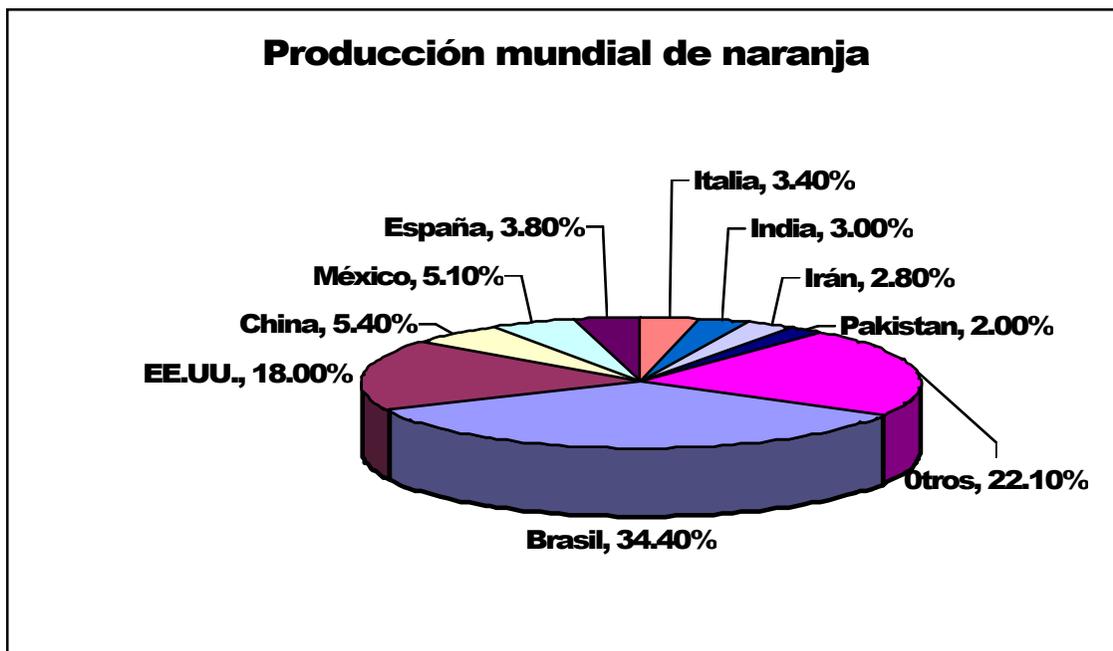


Figura 1.2. Participación promedio de la producción mundial de naranja en el 2001 (%). [FAO, 2001 (ASERCA, 2003)]

Su importancia en la alimentación de la población nacional es cada vez mayor, se considera la principal fruta en cuanto a superficie cosechada, el promedio de consumo por persona al año es de un poco más de 26 Kg y dicho consumo se hace principalmente en fruta fresca. En nuestro país, la producción nacional de naranja ha crecido de forma importante en la última década. Entre 1990 y 2001 las cifras muestran que la producción nacional de naranja, naranja agria y naranja valencia aumentó casi el

doble, pasando de 2,220 miles de toneladas en 1990 a 4,035 miles de toneladas en 2001, esto significó un crecimiento promedio anual de 5.6% en ese lapso. En estos resultados destaca el importante crecimiento de la producción de naranja valencia (maduración tardía) (ASERCA, 2003).

La producción de naranja en nuestro país está localizada en zonas tropicales y subtropicales, principalmente en los Estados de Veracruz, San Luis Potosí, Tamaulipas, Sonora y Tabasco, Yucatán, Puebla, Nuevo León, Oaxaca y Chiapas. Estos estados aportan el 96% de la producción nacional. De acuerdo al Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAO), existen en el país 27 estados productores de naranja, sin embargo, esta se encuentra altamente concentrada en: el estado de Veracruz 49% (principalmente en el Municipio de Martínez de la Torre) participa con casi la mitad de la producción nacional, a la vez que otros estados como Nuevo León (9.4%) , Tamaulipas (8.5%) y San Luis Potosí (7.3%) tienen también una participación importante en el contexto de la producción nacional.

De la totalidad de la superficie nacional dedicada a la siembra de frutales, la naranja es el cultivo más importante en términos de hectáreas sembradas. Hacia 1997 la superficie sembrada de naranja representó más de 322 mil hectáreas, equivalentes al 26.7% de la superficie total, en 2001 esta aumentó a 340,312 hectáreas, aunque su participación relativa cayó ligeramente a 26.4%. (ASERCA, 2003)

1.1.4.- Comercialización de la naranja

Mercado Interno

El crecimiento constante de la producción, pone en evidencia el mecanismo de comercialización hasta ahora utilizado y las problemáticas que enfrenta éste. En nuestro país las Centrales de Abasto constituyen los más importantes centros de acopio para la distribución de la naranja al mayoreo. En este caso la central de abasto del D.F. es el principal mercado tanto por sus volúmenes comercializados, como por el papel que juega en la determinación del precio. La distribución de la naranja que llega a la

cuidad de México, se da de la siguiente manera: las bodegas de los mayoristas absorben aproximadamente las tres cuartas partes del volumen de naranja que llega al andén. El resto se comercializa directamente en tiendas de autoservicio, en grandes mercados, o bien se envía a otras entidades del país.

La producción de naranja en nuestro país se canaliza de la siguiente manera:

- Del 75 al 85 por ciento se destina al mercado de fruta fresca, el cual elabora el jugo ya sea en forma casera o bien en puestos de venta directa.
- Del 10 al 20 por ciento es aprovechado por las plantas procesadoras de jugo de naranja, concentrado y reconstituido, y
- El restante 5 por ciento de la producción se vende al exterior como fruta fresca.

La industrialización cítrica de acuerdo a los procesos que realiza se divide en dos grandes campos:

a) La industrialización primaria, la cual inicia con la adquisición de la fruta en fresco para su posterior transformación; que se realiza a través de dos vías:

- El empaquetamiento de la fruta fresca (mediante un proceso de encerado), principalmente para la exportación.
- La obtención de subproductos por parte de la **industria juguera y beneficiadora, tales como jugos concentrados, aceites esenciales, conservas y pulpas. En el caso del jugo concentrado, la comercialización se realiza directamente para el consumo nacional y la exportación.**

b) La industrialización secundaria, se inicia con la adquisición de los subproductos ya mencionados. Abarca la industria refresquera y alimenticia, para la fabricación de productos tales como; naranjadas, mermeladas, dulces, etc. Dentro de este mismo sector, se ubica en pequeña proporción a la industria química y farmacéutica, la cuál fabrica saborizantes y complementos vitamínicos.

De estas dos actividades, la que destaca principalmente es la que se dedica a la industrialización primaria. Dicho sector consta de 22 plantas procesadoras de naranja, con una capacidad de procesamiento de 6 mil 700 toneladas de naranja por día. La localización de las plantas procesadoras va íntimamente relacionada con las zonas productoras, de tal forma que podemos ubicarlas en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Sonora y otros. (ASERCA, 1995)

Mercado Externo

México es uno de los cinco mayores productores de naranja a nivel mundial y, aunque su participación en el comercio exterior no ha sido demasiado significativa, los mayores volúmenes de exportación de la naranja mexicana se dan a través del producto procesado, especialmente el jugo de naranja, y una cantidad muy reducida se destina a la exportación como fruta fresca, teniendo como principal destino a los Estados Unidos de América, aunque los mercados de consumo, Japonés y Europeo han ido adquiriendo una mayor relevancia en los últimos años.

1.1.5. Principales usos de la naranja

- De la naranja como fruta fresca se extrae el jugo y se procesa en sus diversos tipos: pasteurizado, concentrado, congelado, deshidratado;
- De los subproductos del jugo, se derivan algunos productos como: pectinas, aceites esenciales, esencias, bases para bebida, pulpa de jugo, conservas (mermeladas, dulces), etanol, ácido ascórbico (vitamina C), flavonoides, alimento para ganado, etc.

Para que la naranja tenga un aprovechamiento integral, los residuos obtenidos de la extracción del jugo (cáscara y residuos de pulpa) también pueden ser ampliamente aprovechados como fuente de fibra dietética en la industria de alimentos.

1.2. GENERALIDADES DE LA FIBRA DIETÉTICA

1.2.1. Definición de la Fibra Dietética

La fibra dietética (FD), se define como el conjunto de polisacáridos de los vegetales y lignina que son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del tracto gastrointestinal del ser humano. Este, es el concepto de fibra más aceptado. No obstante, debe tenerse en cuenta que es un tema sobre el que se centran numerosas investigaciones, por lo que se trata de un concepto en evolución.

Así pues, la FD es la combinación de sustancias químicamente heterogéneas. Por definición, también se incluyen otros componentes que igualmente se escapan del proceso digestivo y llegan sin degradar al colon, como son: alginatos, carragenatos, xantanos, gomas xiloglucanos, dextranos, fructo-oligosacáridos, inulina y 1,3- β -D-glucanos, gomas de exudación. Además de otros componentes que están presentes en pequeñas cantidades como: almidón resistente, taninos condensados, polifenoles, proteínas resistentes de la pared celular, cutinas y ácido fítico (Periago et al, 1993).

1.2.2. Composición de la Fibra Dietética

Los componentes de la fibra dietética pueden ser agrupados en tres grandes grupos, si se atiende a las características químicas de los mismos:

I. Polisacáridos estructurales:

- **Celulosa. Es un polímero lineal no ramificado de la D(+) glucosa que posee enlaces $\beta(1,4)$ glucosídicos, con uniones entre cadenas adyacentes, formando microfibras características. Es la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza y es el componente mayoritario de la pared celular de los vegetales. Es prácticamente insoluble en agua.**
- **Hemicelulosa. Son polímeros de pentosas. Posee un esqueleto tipo xilano compuesto por unidades (1,4)- β -D-xilopiranosilo. Posee cadenas laterales de**

arabinosa y otros azúcares (ácido glucurónico y galactosa) lo que le confiere distintas propiedades químicas. Se distinguen algunos tipos de hemicelulosa como: xilanos, mananos y glucomananos, galactanos y arabinogalactanos. A pesar de lo que su nombre pudiera indicar, nada tiene que ver con la celulosa. Si es rica en ácido urónico se denominará hemicelulosa ácida, y neutra, si no es así.

- **Pectinas. Es un polímero de unidades de metil D-galacturonato, unidas por enlaces glucosídicos (1-4). La cadena principal posee segmentos de L-ramnosa, y en menor cantidad se encuentran también presentes D-galactanos y L-arabinanos unidos por enlace covalente al galacturonato. Los grupos carboxílicos de restos galacturónicos están esterificados en diferentes proporciones con metanol y los grupos OH de las porciones 2 y 3 pueden ser acetilados en pequeña cantidad, el grado de esterificación metílica es el responsable de los efectos fisiológicos que posee la pectina. Debido a sus enlaces cruzados adopta forma de gel y es soluble en agua caliente.**

II. Polisacáridos no estructurales:

- **Gomas. Son polisacáridos complejos unidos por enlaces glucosídicos, que forman sustancias viscosas y que, son segregadas por algunos vegetales como respuesta a las agresiones físico mecánicas. Su estructura está constituida por largas cadenas de ácido urónico, xilosa, manosa o arabinosa. Son solubles.**
- **Mucílagos. Están compuestos por pentosanos, hexosanos, ácido urónico, etc. Estos elementos cuando están en contacto con el agua forman disoluciones viscosas o también, debido a su gran capacidad para retener agua, pueden hincharse para formar una pseudo-disolución gelatinosa.**
- **Carragenatos. Son galactanos extraídos de algas rojas, cuyos monómeros son D-galactosa y 3,6-anhidro-D-galactosa. Tienen capacidad de formar geles cuando están asociados a determinados iones, y son solubles en agua cuando se asocian a iones sulfato y precipitan en presencia de iones potasio.**
- **Almidón resistente. Son las fracciones de almidón que no son digeridas por las enzimas digestivas y por lo tanto se incluye como fibra dietética.**

III. Sustancias estructurales no polisacáridos:

- **Ligninas.** Es una sustancia cementante intracelular propia de los vegetales, de estructura y naturaleza amorfa y compleja. Son polímeros mixtos de fenilpropano. Representa la parte hidrófoba de la fibra dietética. Es el elemento que da consistencia a la madera seca donde se encuentra hasta en un 25% de toda la materia. Es la única fibra no polisacárido que se conoce (Redondo, 1999; Periago et al, 1993).

1.2.3. Clasificación de la Fibra Dietética

La FD se divide en dos fracciones: fibra dietética insoluble y fibra dietética soluble. Cada una tiene una misión diferente dentro de nuestro organismo. La mayoría de los alimentos contienen los dos tipos de fibra en distintas proporciones.

1.2.3.1. Fibra dietética insoluble (FDI):

La FDI está formada por la celulosa, la lignina y algunas fracciones de hemicelulosa. Este tipo de fibra ayuda a la digestión, pues aunque no se disuelve en agua, retiene líquidos, lo que aumenta el volumen fecal y ablanda las heces, por lo que ayuda a prevenir el estreñimiento. Además, la fibra insoluble hace que los desechos de los alimentos estén menos tiempo en el intestino grueso evitando que algunas sustancias dañinas lastimen las células del intestino, es decir que reduce el tiempo de tránsito intestinal y aumenta la excreción. Este tipo de fibra se encuentra en alimentos como: salvado de trigo (cascarilla), cereales integrales y sus derivados, tortillas de maíz, verduras crudas, frutas crudas y con cáscara.

1.2.3.2. Fibra dietética soluble (FDS):

La FDS incluye gomas, pectinas, mucilagos, almidón resistente y ciertos tipos de hemicelulosas solubles. Este tipo de fibra se disuelve en agua formando soluciones viscosas. La pectina de las frutas da a las jaleas y mermeladas su consistencia gelatinosa. La FDS ayuda a disminuir el nivel de glucosa en sangre, ya que hace que el

material del intestino se vuelva más viscoso, y por lo tanto, hace más lenta la absorción de la glucosa. También nos puede ayudar a disminuir los niveles de colesterol y lipoproteínas de baja densidad (LDL-C). Gran parte de la FDS sufre un proceso de fermentación en el colon, con producción de ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico y butírico) que son absorbidos influyendo en el metabolismo del colesterol y en el equilibrio de la microflora y la mucosa intestinal. La fibra soluble se encuentra en frutas cítricas, membrillo, manzana, guayaba, durazno, plátano, fresa, avena, frijol, nopal y otros alimentos.

1.2.4. Efectos benéficos de la fibra dietética en la salud

La fibra dietética no es absorbida en el intestino delgado, contrariamente a lo que ocurre con el resto de los nutrientes, y llega al intestino grueso sin degradarse sufriendo, en mayor o menor grado según su composición, fermentación en el colon con producción de gases y ácidos grasos de cadena corta. El tránsito de la fibra a lo largo del intestino puede tener diversas implicaciones fisiológicas: a corto plazo proporcionan volumen a las heces, disminuyen el tiempo de tránsito intestinal de los alimentos, esto ocasiona una eliminación más rápida de los productos de desecho que, de permanecer ahí, podrían producir irritación o incluso, las condiciones propicias para el desarrollo del cáncer. Además ocasionan una modificación en el metabolismo de los hidratos de carbono, ya que disminuyen la velocidad de absorción intestinal de la glucosa. De forma adicional, la FD provoca una disminución en los niveles de colesterol sanguíneo. Estas propiedades hacen de la fibra un adecuado regulador intestinal, y un factor en regímenes dietéticos para la prevención o tratamiento de estreñimiento, diverticulosis, diabetes, hipercolesterolemia, obesidad y para evitar el cáncer de colon.

Para que una fibra sea lo más completa posible en sus propiedades, debe tener una composición equilibrada de fracción soluble e insoluble. Los cereales son ricos en fibra insoluble, mientras que frutas y verduras contienen, una mayor proporción de fibra soluble.

La cantidad recomendada de fibra dietética es de 25-30 g por persona al día. Por lo que el desarrollo de alimentos enriquecidos con fibra ayudará a los consumidores a cubrir esta recomendación.

1.2.4.1. Efecto hipocolesterolémico

La fibra dietética soluble (FDS) puede disminuir la absorción de ácidos grasos, lípidos y colesterol en el intestino por la propia viscosidad de la fibra al formar un gel coloidal en el lumen del intestino o bien por una disminución de la digestibilidad de los lípidos como consecuencia de una inhibición en la formación de la micela grasa al absorber la FDS, los ácidos biliares. Este efecto se le atribuye principalmente a las fibras solubles, especialmente las pectinas ricas en ácidos urónicos, ya que tienen la habilidad de secuestrar moléculas orgánicas, como los ácidos biliares, por lo tanto contribuyen a disminuir la absorción de colesterol y lipoproteínas de baja densidad, al absorber los ácidos biliares dentro de la masa alimenticia viscosa, dificultando la reabsorción de estos ácidos. El cuerpo debe entonces utilizar el colesterol circulante para sintetizar más ácidos biliares, lo que reduce el nivel de colesterol en la sangre, puesto que el colesterol es precursor de dichos ácidos.

Se conoce otro mecanismo de la FDS para reducir el colesterol en la sangre y es mediante los metabolitos producidos por la fermentación colónica. Los ácidos grasos de cadena corta (butírico, propiónico y acético) que se producen por la fermentación de la FDS en el intestino, pueden utilizarse como sustrato energético para las células intestinales o bien ser absorbido por la mucosa intestinal pasando por el torrente sanguíneo. Concretamente el propionato es transportado por la circulación portal hacia el hígado y actúa disminuyendo la síntesis del colesterol al inhibir una enzima limitante de la síntesis hepática de colesterol (3-hidroxi-3-metil-glutaril Co A reductasa) reduciendo así los niveles de colesterol plasmático (Periago et al., 1993).

También se le atribuye a la FDI un efecto hipocolesterolémico indirecto ya que al reducir el tiempo de tránsito intestinal disminuye la absorción intestinal y por lo tanto, la absorción de lípidos y colesterol.

1.2.4.2. Efecto regulador del metabolismo de la glucosa

La presencia de FD en la dieta produce un retraso en la absorción de glucosa en el intestino, fenómeno asociado con el contenido en FDS y ácidos urónicos (sustancias pécticas). Las dietas ricas en FDS producen un aumento en la viscosidad del contenido intestinal, ya que son moléculas que captan agua y poseen la propiedad de formar geles coloidales, lo que disminuye el contacto del quimio gelificado con la mucosa intestinal y la tasa de la digestión enzimática, reduciendo consecuentemente la absorción intestinal de la glucosa. De este modo la concentración de glucosa se incrementa más lentamente tras la ingesta, al igual que la secreción de insulina pancreática. Este hecho es aplicable al tratamiento de la diabetes, ya que las necesidades de insulina son menores cuando aumentamos en contenido de fibra en la dieta.

1.2.4.3. Efecto gastrointestinal.

La FD se ha asociado con efectos gastrointestinales beneficiosos, como el incremento del volumen de heces. La acción de las fibras insolubles (principalmente celulosas y hemicelulosas) se manifiesta en la última sección del intestino delgado. Al aumentar el volumen del bolo alimenticio, las fibras estimulan el peristaltismo intestinal y aceleran así el tránsito. En el intestino grueso, la FDI influye en el volumen y la consistencia de la heces, gracias a su capacidad de retención de agua, un bolo alimenticio rico en fibra se endurece menos, es más suave y más voluminoso, y acelera de esta forma el tránsito a través del intestino grueso. La brevedad del contacto entre las heces y la pared intestinal tiene varias ventajas: por una parte hay menos posibilidad de sufrir de estreñimiento y de diverticulosis. Por otro lado, las sustancias tóxicas como por ejemplo las sustancias cancerígenas, evacuadas a través de las heces, tienen menos tiempo para interactuar con la mucosa intestinal. Esta es una de las razones por las que el cáncer de colon es poco frecuente entre las personas que tienen una alimentación rica en fibras. El aumento del volumen de las heces está estrechamente ligado a la fermentación de la FD, las fibras poco fermentables, por ejemplo la celulosa, aumentan más el volumen de las heces. A menor fermentabilidad se produce una mayor retención

de agua y un mayor volumen y peso de las heces, sin embargo la fibra pierde esta capacidad tras su fermentación.

1.2.5. Aplicaciones de la fibra dietética en la industria de alimentos

En los últimos años la fibra dietética se ha convertido en uno de los componentes más populares de los alimentos, generalmente son adicionadas como ingredientes enriquecedores en algunas formulaciones, o bien buscando un efecto en la textura en algunas otras.

La adición de FD en alimentos confiere 3 diferentes tipos de beneficios:

- 1) Su valor nutricional el cual motiva a los consumidores a incrementar la cantidad de FD en su dieta;**
- 2) Sus propiedades tecnológicas que son de gran interés para los productores de alimentos;**
- 3) Finalmente, para aumentar el valor de los productos y subproductos agrícolas, para su uso como ingrediente en alimentos.**

Consecuentemente, tanto el valor nutricional como las propiedades tecnológicas de la FD son importantes en el desarrollo potencial de una gran variedad de alimentos enriquecidos con fibra.

Cuando las fibras dietéticas son adicionadas a una formulación, a menudo es necesario cambiar los niveles de otros ingredientes. La sensación granular producida por la adición de fibras, puede llevar a limitaciones organolépticas. El producir fibras con un menor tamaño de partícula, puede eliminar este problema. En el mercado existe una gran variedad de fibras dietéticas, dentro de las cuales se distinguen dos tipos: las “fibras neutras” (p. ejem. fibra de avena, arroz y maíz), las cuales pueden ser adicionadas en alimentos sin muchas modificaciones; y las “fibras no neutras” (p. ejem. fibra de cocoa, manzana y cítricos), las cuales pueden producir colores y sabores en un alimento debido a otros compuestos asociados a las fibras.

La fibra puede ser usada en productos cárnicos cocidos (emulsiones cárnicas, patés, embutidos) para aumentar el rendimiento del cocimiento, debido a sus propiedades de retención de agua y aceite. Cuando la fibra es adicionada hay una disminución significativa de la pérdida de grasa y agua durante el cocimiento, además la textura del producto también es mejorada.

En años recientes se ha visto el desarrollo de productos homeados, bizcochos y barras de cereal para el desayuno con un mayor contenido de fibra insoluble mediante la adición de fibras de cereales (salvado de trigo, avena, cebada), fibras de frutas (manzana, cítricos), fibras vegetales y polvos de celulosa. La fibra sustituye parte de la harina o de la grasa, y es adicionada principalmente por sus beneficios nutricionales (reducción de contenido calórico, incremento del contenido de fibra), pero también en el caso de algunas fibras no purificadas, se adicionan por sus efectos de color o sabor. Sus propiedades de retención de agua y texturales son explotadas notablemente por su efecto en el volumen de pastas y pasteles y en la preservación del pan.

Las fibras solubles como un aditivo enriquecedor directo, tienen enormes aplicaciones en la industria de alimentos. Los productores de alimentos comúnmente usan fibras solubles purificadas en bajas concentraciones (0.2-1.0%) por sus propiedades funcionales (p.e. goma xantana, carragenina, guar, inulina). Aunque las fibras solubles son valoradas en alimentos sólidos, homeados, y en dulcería, su gran aplicación está dentro de los alimentos que requieren de ingredientes solubles como algunas bebidas, sopas y otros líquidos de baja viscosidad, donde la fibra soluble ni siquiera se distingue del producto original. De este modo, las fibras solubles son lo más indicado para adicionarse a bebidas pues se alteran únicamente en el gusto y en sus propiedades reológicas, en caso de haber un incremento en la viscosidad. También son usadas como espesantes, y como sustitutos de almidón, harina, azúcar, grasas y aceites, no solo se incrementa el contenido de fibra sino que se disminuye al mismo tiempo, el aporte de calorías.

La mayoría de los jarabes bajos en calorías disponibles actualmente en el mercado, utilizan fibra soluble para mantener la consistencia una vez que se elimina el azúcar que la proporcionaba. En helados, salsas y aderezos para ensaladas, los espesantes son grasas y aceites; y aunque éstos no pueden ser eliminados sin alterar drásticamente las características del producto, si pueden ser adicionados en menor cantidad al sustituirlos parcialmente por fibra soluble, siempre logrando un incremento en la calidad de fibra en el producto y una disminución en el aporte de calorías. También en refrescos con pulpa y en jugos de verdura, la adición de fibra soluble persigue un efecto espesante y acarrea los mismos beneficios. El cuerpo, la consistencia, la viscosidad, la adherencia, la cremosidad y la aceitosidad, son utilizados comúnmente para describir las características de textura atribuibles a las fibras solubles.

Las propiedades funcionales de las fibras juegan un papel importante en la calidad comestible y la aceptación sensorial de los alimentos. La comprensión de esta relación, ayudará en el desarrollo de productos alimenticios con gran aceptación de los consumidores. Además, si las propiedades reológicas (p. ejem. Viscosidad) son relacionadas con parámetros físicos, entonces pueden ser utilizados para monitorear la calidad durante el proceso y el almacenamiento, con la ventaja de que la medida de las propiedades funcionales es más rápida de analizar y presentan menor variación que los datos sensoriales.

1.2.6. Preparación de polvos ricos en fibra dietética.

Los subproductos de cítricos presentan un alto contenido de agua lo cual hace difícil su aplicación en la industria de alimentos por lo que es necesario su procesamiento para obtener un polvo con alto contenido de fibra y un porcentaje de agua menor a 10%.

Las principales características de los polvos de FD comercializados son: contenido de fibra dietética total mayor a 50%, humedad menor del 9%, bajo contenido de lípidos y un bajo valor calórico (menor de 8.36 kJ/g).

Las principales etapas para la producción de polvos de FD de frutas son (Figura 1.3):

1) **Molienda húmeda:** Se emplean tamaños de partícula en el intervalo de 0.6 a 2.0 cm dependiendo de procedimiento empleado y del tipo de muestra.

2) **Lavado:** La eliminación de compuestos indeseables (como azúcares) asociados a la FD, y la eliminación de microorganismos patógenos, son el principal objetivo de esta operación.

3) **Secado:** El secado es la operación más importante y costosa en la producción de fibra dietética. Esta operación mejora la vida de anaquel de la FD sin la adición de conservadores químicos y reduce el costo de transporte. Antes de seleccionar un método de secado se deben considerar las características de la materia prima (alta humedad y bajo contenido de azúcar) para diseñar un procedimiento apropiado que minimice el efecto adverso de esta operación en la calidad del producto final.

4) **Molienda en seco:** Muchas fibras son molidas para mejorar su aceptabilidad en el producto final, las fracciones obtenidas pueden tener una composición química diferente. La molienda puede afectar las características de hidratación de las fibras así como la textura, aspecto y calidad del alimento al que será adicionada. El tamaño de partícula de los polvos de FD se encuentran en un rango de 0.43 mm a 0.15 mm (Larraruri et al., 1999).

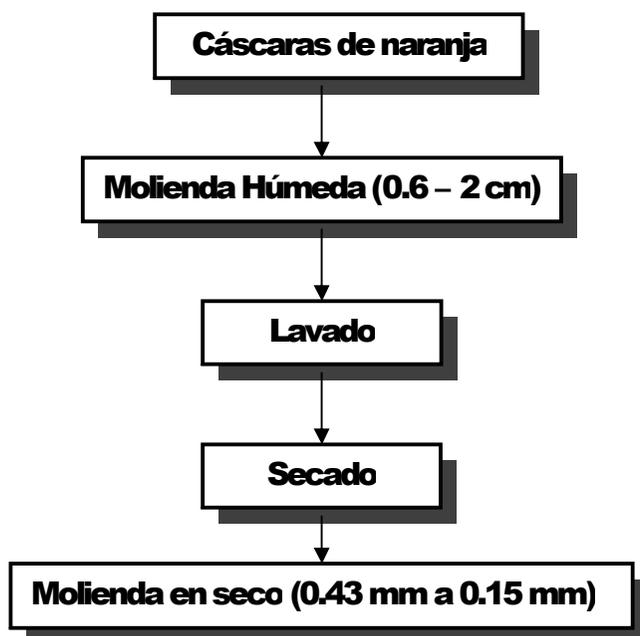


Figura 1.3. Preparación de polvos ricos en fibra dietética de la cáscara de naranja

1.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA FIBRA DIETETICA

La FD en alimentos puede cambiar la consistencia, textura, comportamiento reológico y características sensoriales de los productos terminados. La necesidad de nuevas fuentes de fibra dietética y la búsqueda por mejorar la funcionalidad de la fibra (todos los parámetros que hacen a un alimento aceptable para su procesamiento y para el consumidor) han estado ofreciendo nuevas oportunidades para su uso en la industria de alimentos. No toda la fibra puede incorporarse de la misma manera y en el mismo tipo de alimentos (bebidas, producto lácteos, sopa, salsas, carne, bocadillos, pan dulce, y productos de la panadería). Sus propiedades funcionales son el factor determinante para su uso. Estas dependen de las características intrínsecas de la fibra, la manera en la que el alimento es procesado y de la estructura del alimento (arreglo espacial, los elementos estructurales y sus interacciones). Las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética, juegan un papel importante en su funcionalidad: las dimensiones de fibra, la porosidad, propiedades de hidratación, propiedades reológicas y retención de grasa. Por ejemplo, se han usado gomas durante años para espesar o impartir viscosidad a la fase acuosa en sistemas alimenticios, ellas proporcionan textura y cuerpo. También son usadas para estabilizar suspensiones (sólidos dispersados en agua), emulsiones (aceite disperso en agua) y espumas (gas disperso en agua). Generalmente, las fibras se usan en bajas cantidades. Las fibras insolubles también puede usarse como un agente texturizante (pueden producir una textura arenisca) y espesante. Estos efectos son principalmente atribuidos a sus propiedades de hidratación. El tamaño de la partícula puede considerarse para estos efectos y debe adaptarse a la aplicación.

1.3.1. Propiedades de hidratación

Las propiedades de hidratación de la FD determinan sus niveles óptimos de uso en los alimentos debido a que una textura deseable debe ser retenida en el alimento. Esta propiedad está condicionada por el grado de solubilidad de la propia fibra, por el tamaño de las partículas y por el pH. Usualmente, las propiedades de hidratación son descritas por cuatro diferentes parámetros: capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de unir agua (CUA), capacidad de hinchamiento (CH) y solubilidad.

De manera simplificada, el agua unida a la fibra puede estar presente en dos formas: Agua unida por tensión superficial en los poros de la matriz; ó Agua unida por puentes de hidrógeno, uniones iónicas y/o interacciones hidrofóbicas. La división del agua entre estos dos estados depende de la estructura química de los componentes, asociación entre moléculas, tamaño de las partículas, porosidad de las fibras, efecto de solventes y temperatura.

La capacidad de retención de agua, se define como la cantidad de agua que permanece unida a la fibra hidratada después de la aplicación de una fuerza externa (presión, centrifugación).

La capacidad de hinchamiento es una medida del volumen obtenido por una masa definida de fibras cuando se obtiene el equilibrio en presencia de un exceso de solvente (agua). (Thebaudin et al, 1997)

La capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento, proporciona una vista general de la hidratación de la fibra y dará información útil para alimentos enriquecidos con fibra.

El primer paso de la solubilización de los polisacáridos es el hinchamiento. El agua entra a la estructura sólida y separa las macromoléculas hasta que están completamente dispersas. Este fenómeno puede provocar la solubilización de las moléculas, pero para algunos polisacáridos, como la celulosa, la dispersión final no es posible debido a su conformación lineal, por lo tanto, la celulosa se hincha pero no se solubiliza. La solubilidad depende de la naturaleza de los componentes glucosídicos y de las características estructurales de la fibra dietética. La regularidad química de una cadena lineal aumenta la fuerza de los enlaces y estabiliza la conformación ordenada. Si se presenta una irregularidad química o una ramificación en el esqueleto lineal, los enlaces se vuelven más débiles, la estructura ordenada se disocia más fácilmente, y las moléculas serán solubilizadas fácilmente. El tipo de enlace entre los polisacáridos, como el enlace $\alpha(1\rightarrow6)$, dan flexibilidad dentro de la cadena, modificando la solubilidad de los polisacáridos. Los polímeros más flexibles serán los más solubles.

Otro factor que influye en la solubilidad de los polisacáridos es su carga eléctrica. La presencia de grupos cargados como por ejemplo, ácido urónico disociado, sulfato o piruvato, favorecen la solubilidad de los polímeros. Este efecto depende del pH, la temperatura y la concentración de otros componentes en el agua, como sales y azúcares (Thebaudin et al., 1997).

Propiedades estabilizantes y de textura

Las propiedades estabilizantes y de textura resultan de las propiedades de hidratación de la fibra. La incorporación de FD en los alimentos modifica la textura y la estabilidad en función de las condiciones de procesamiento (métodos de producción y preservación). Los mecanismos difieren de acuerdo a la solubilidad de la fibra. La propiedad espesante (p. e. goma xantana), gelante (p. e. carrageninas, pectinas) y la capacidad de retención de agua contribuyen a la estabilización de la estructura de los alimentos (dispersiones, emulsiones y espumas) mediante la modificación de las propiedades reológicas de la fase continua. Debido a su capacidad de retención de agua y a sus propiedades de hinchamiento, la fibra puede influenciar la textura del alimento (Thebaudin et al., 1997).

Propiedades anti-cristalizantes

Algunos polisacáridos de la pared celular como las fibras pueden limitar la formación de cristales de hielo cuando la temperatura del agua cae por debajo del punto de congelación.

1.3.2. Capacidad de retención de aceite.

Las fibras insolubles pueden retener más de cinco veces su masa en aceite. Esta propiedad es explotada en los alimentos (productos cárnicos cocidos) para aumentar su retención de grasa la cual es perdida normalmente durante el cocimiento. Esta propiedad puede ser benéfica para la retención de sabor y para aumentar el rendimiento tecnológico (Thebaudin et al., 1997).

1.3.3. Propiedades Reológicas (Viscosidad)

La viscosidad puede definirse de un modo sencillo como el rozamiento interno que actúa dentro de un fluido, esto es, su resistencia a fluir. En el caso de los polisacáridos en solución, es causado por interacciones físicas entre ellos. La viscosidad depende de las características intrínsecas de los polisacáridos (la cantidad de espacio generalmente ocupada por el polímero caracterizado por viscosidad intrínseca), su concentración, el solvente y temperatura. La fibra dietética tiene muchas propiedades que la hacen útil en una extensa variedad de aplicaciones en alimentos. Las propiedades clave en la industria de alimentos incluyen las reológicas y las de gelificación, las cuales pueden afectar a los productos alimenticios en numerosas formas como en la estabilidad de emulsiones, en las características espesantes, en su textura y sabor (Guillon, 2000; Dreher, 1987).

La viscosidad se considera como la resistencia al flujo o a la deformación de cada una de las capas del fluido en movimiento. Existen dos tipos de fluidos:

Fluidos Newtonianos

Los fluidos Newtonianos siguen el comportamiento de la ley de Newton (viscosidad constante). En estos existe una relación lineal entre el esfuerzo de cizalla y el gradiente de viscosidad. Lo que significa que la viscosidad es constante e independiente de la velocidad de cizalla.

Fluidos no Newtonianos

En la industria de alimentos, la mayoría de los fluidos presenta un comportamiento no-newtoniano. Para este caso la viscosidad no es constante, ya que depende de la velocidad de deformación y del tiempo de cizalla. Los fluidos no-Newtonianos se clasifican en independientes o dependientes del tiempo.

Los fluidos independientes del tiempo son:

- Pseudoplásticos
- Dilatantes.

Los fluidos pseudoplásticos son también llamados fluidos con adelgazamiento a la cizalla. En este caso, la viscosidad decrece con el incremento de la velocidad de cizallamiento, por lo tanto, aumenta en forma lineal con la tasa de corte. Los fluidos pseudoplásticos son menos espesos al someterlos a velocidades altas de deformación.

Para los fluidos dilatantes, el comportamiento de flujo es contrario al de los pseudoplásticos, pues la viscosidad aumenta al incrementar la velocidad de cizalla y también es una función independiente del tiempo (Geankoplis, 1995). (Figura 1.4).

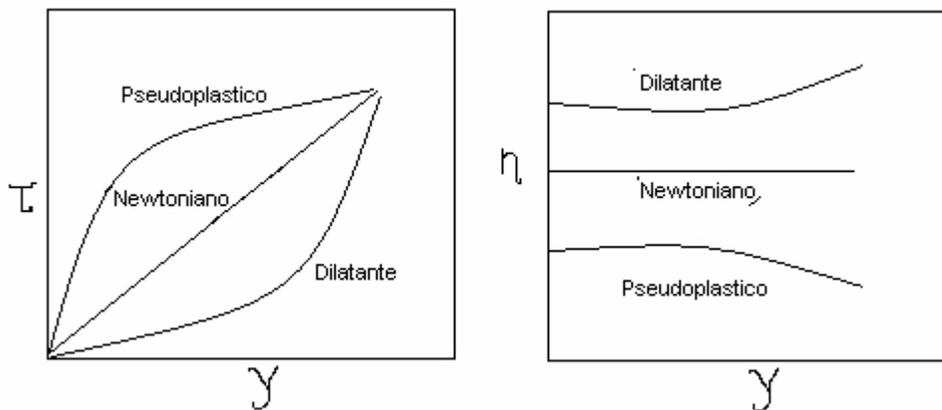


Figura 1.4. Relación del esfuerzo cortante (τ) VS velocidad de deformación (γ) y viscosidad (η) VS velocidad de deformación (γ) para líquidos Newtonianos y no-Newtonianos independientes del tiempo.

Dentro de los fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo existen dos tipos:

Tixotropía / Reopexia

En los fluidos Tixotrópicos la viscosidad decrece bajo el efecto del corte a lo largo del tiempo de agitación. En ausencia de una paliación del corte, el fluido se regenera y casi se aproxima a su viscosidad original, el proceso inverso se conoce como Reopexia

Estimación de la viscosidad

Se usan varios métodos experimentales diferentes derivados de la reometría para estimar la viscosidad de fluidos. Los más comúnmente usados son los tubos y el flujo rotatorio de fluidos. Los reómetros rotatorios tienen ventajas sobre el uso de tubos, ya que las muestras pueden cizallarse tanto como se desee, y que la velocidad de cizalla puede ser uniforme a lo largo de la muestra. Estos reómetros pueden tener geometrías diferentes: el cono y plato, cilindros concéntricos, platos paralelos. Cada geometría tiene sus ventajas y desventajas y la opción es dictada a menudo por las propiedades materiales de las muestras.

La estimación de funciones materiales como la viscosidad requiere normalmente la aplicación de variables dinámicas (flujos o deformaciones) o cinemáticas. Esto quiere decir, que el flujo o deformación, así como los esfuerzos involucrados, tienen una expresión matemática conocida. Si se aplica un flujo por ejemplo, en una geometría específica y se obtiene una ecuación reológica en un sistema continuo a través de la descripción matemática de ese flujo, así como de las variables medibles, como velocidad angular, torque y parámetros geométricos, es posible estimar la viscosidad.

Una de las condiciones fundamentales en las que se basa la estimación de la viscosidad, es la continuidad de los medios, es decir, que los materiales o medios tienen que ser homogéneos. Esto permite que la medición sea isotrópica, lo cual quiere decir que no importa en donde se realice dentro del material, la viscosidad será la misma, y sólo dependerá de la naturaleza del material y del estado termodinámico del medio.

Desafortunadamente en el área de alimentos, muchos materiales son heterogéneos, esto se debe en parte a su naturaleza, ya que están compuestos de fibras, sólidos, aditivos, polímeros (proteínas, carbohidratos, etc.), lo que los convierte en materiales complejos heterogéneos. En muchas ocasiones cuando el alimento se encuentra en fase líquida, es común que tenga propiedades similares a la de las suspensiones. En estos casos, las alternativas para estimar las propiedades reológicas son las siguientes:

- Modificación de las superficies de cizallamiento (para evitar deslizamiento en la pared)
- Modificaciones de las geometrías tradicionales (modificación de los sistemas reométricos convencionales para disminuir problemas de sedimentación)
- Uso de los principios de mezclado

La estrategia más común para resolver el problema de heterogeneidad de los medios, es la incorporación de los principios de mezclado. Esta consiste en reemplazar el sensor interno de una geometría tradicional (cono-placa, cilindros concéntricos, placas paralelas) por un agitador de mezclado. En otras palabras, el reómetro funciona en este caso como un pequeño sistema de agitación, donde el tanque es el recipiente externo y el agitador, el sensor que impone o crea el flujo previamente caracterizado hidrodinámicamente (Brito **et al**, 1998).

Las variables medibles efectuadas en un reómetro convencional empleando una geometría dada de un agitador, siguen siendo las mismas que cuando se emplean geometrías tradicionales y son esencialmente la velocidad del agitador (N) y el torque (T) requerido para mantener constante la velocidad de agitación. Al variar N cambia T en función de las características reológicas o viscosas del producto. Sin embargo, para el uso de geometrías de agitación, se requiere conocer la potencia consumida como función de la velocidad de agitación a fin de que permanezca el sistema en régimen laminar, y esto es para ambos tipos de comportamiento reológico (newtoniano y no newtoniano).

El uso de los principios de mezclado para la estimación de la viscosidad sugiere la aplicación de los principios básicos usados en la derivación de las curvas de potencia clásicas obtenidas bajo condiciones de flujo viscosimétrico, una alta precisión en las mediciones de torque (T) y velocidad de agitación (N) para una geometría de agitación dada, puede ser convertida en lo que se conoce como viscosidad de proceso.

En los casos particulares de fluidos pseudoplásticos, la propuesta de Metzner y Otto, es el método estándar para determinar la viscosidad. De acuerdo a Metzner y Otto, para fluidos que siguen la ley de la potencia ($\tau = m\dot{\gamma}^n$), de las curvas experimentales de potencia newtonianas, la viscosidad de proceso es definida como:

$$\eta = m (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (1.1)$$

donde (m) es el índice de consistencia y (n) es el exponente de la ley de la potencia o índice de flujo. El problema de la estimación de la velocidad de deformación o de cizalla, $\dot{\gamma}$, es resuelto a través del uso de la metodología propuesta por Metzner y Otto (1957), mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{\gamma} = K_s N \quad (1.2)$$

donde, K_s , es una constante, la cual es determinada experimentalmente para cada geometría. Esta constante es considerada como una función de la geometría de agitación y es independiente del comportamiento reológico. La estimación de la constante de Metzner y Otto, K_s , supone el uso de un reómetro convencional, los que aparentemente suena contradictorio ya que “a priori” no se conoce el comportamiento reológico de un material heterogéneo. Brito y sus colaboradores (1998), discuten estos principios y muestran de una manera clara, como, a través del conocimiento de la curva de potencia (principios de mezclado) obtenida con fluidos homogéneos, es posible estimar la viscosidad de proceso en fluidos heterogéneos. Los autores caracterizaron hidrodinámicamente un agitador helicoidal para la estimación de la viscosidad de proceso.

La representación tradicional del consumo de potencia newtoniana, en el régimen laminar ($Re \leq 10$), para este tipo de impulsor, esta dada en términos de números adimensionales dados por:

$$N_p = K_p Re^{-1} \quad (1.3)$$

Donde,
$$K_p = \frac{2\pi T}{N d^3 \mu} \quad (1.4)$$

K_p es la constante de potencia newtoniana laminar, y depende de la geometría del agitador. Por otro lado, N_p , representa el número de potencia, Re el número de Reynolds y d es el diámetro del agitador helicoidal empleado.

Adicionalmente, la ecuación que esta definida para el comportamiento no newtoniano esta dada por:

$$N_p = K_p(n) Re^{-1} \quad (1.5)$$

Donde,
$$K_p(n) = \frac{2\pi T}{m d^3 N^n} \quad (1.6)$$

n y m son el índice de flujo y de consistencia respectivamente del modelo de la ley de la potencia.

Con el objetivo de explorar las posibilidades para describir mejor las mediciones de torque y velocidad de agitación en sistemas de dos fases en fluidos sólido-líquido, con más datos reológicos fundamentales, el fundamento para el análisis es el hecho de que en el régimen newtoniano laminar, el torque es proporcional a la velocidad de rotación. El análisis procede asumiendo que los fluidos siguen la ley de Ostwald-de-Waele o modelo de la ley de la potencia, el cual es muy común para una amplia variedad de fluidos. En este caso y guardando el movimiento del fluido en la región laminar, el torque T , es relacionado a la velocidad de rotación N , por:

$$T = A(n) N^n \quad (1.7)$$

donde $A(n)$ es una función del esfuerzo cortante, dependiente de la geometría de mezclado y del índice de flujo n . **Esta relación es análoga al modelo de la ley de la potencia usado en mediciones reológicas absolutas ($\tau = m\dot{\gamma}^n$).**

$A(n)$ a su vez esta dada por:

$$A(n) = \frac{K_p(n) m d^3}{2\pi} \quad (1.8)$$

El índice de consistencia **m** y el índice de flujo **n** puede ser estimado si se conoce el valor de **Kp(n)** propuesto por Brito et al., (1998).

$$Kp(n) = Kp b^{n-1} c^{n-1/n} Re^{-1} \quad (1.9)$$

Para el caso del agitador helicoidal estudiado por Brito et al., (1998), el valor de Kp es 162.55, y los parámetros b y c son 24.64 y 0.91, respectivamente.

La función Kp(n), ha sido previamente usada para representar los efectos de pseudoplasticidad en el consumo de potencia a diferentes escalas de mezclado (Brito et al., 1998).

Una vez que la función Kp(n) ha sido calculada, entonces la viscosidad de proceso es estimada mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_e = \frac{m Kp(n) N^{n-1}}{Kp} \quad (1.10)$$

Esta metodología, es empleada en el presente trabajo para la estimación de la viscosidad en sistemas heterogéneos como es el caso de estudio.

1.3.4. Capacidad de emulsificación

Una emulsión es un sistema heterogéneo de dos fases líquidas inmiscibles, una de las cuales se encuentra distribuida en forma de glóbulos definidos en el interior de la otra. La fase dispersa o interna es el líquido desintegrado en glóbulos, el líquido circundante en el que están suspendidos es la fase continua o externa.

Las emulsiones pueden ser clasificadas en dos tipos:

- Emulsiones aceite en agua (O/W); cuando las gotas de aceite están dispersas en la fase acuosa, ejemplo: mayonesa, leche, crema, salsas.
- Emulsiones de agua en aceite (W/O), cuando las gotas de agua están dispersas en la fase oleica, ejemplo: margarina, mantequilla.

En la tecnología de alimentos suele considerarse emulsiones no solamente las dispersiones anteriores, sino que también se consideran emulsiones los sistemas coloidales complejos, que contienen, además de las dos fases líquidas (acuosa y oleosa), otras fases, tales como, agregados de proteínas, gránulos de almidón, sales minerales y carbohidratos disueltos en agua. Así como en la fase oleosa pueden existir diversos componentes como: cristales de grasa, hidrocarburos, ceras, etc.

Inestabilidad de emulsiones

Las emulsiones pueden desestabilizarse mediante tres mecanismos:

- a) **Formación de nata o sedimentación: Es producida por la acción de la fuerza de gravedad y diferencia de densidades entre las fases presentes.**
- b) **Agregación o floculación: La adherencia de las gotas produce la floculación de glóbulos que se mueven en conjunto y no individualmente, lo anterior ocurre cuando las fuerzas atractivas entre gotas exceden a las repulsivas. En este estado, las gotas mantienen su identidad original, y es a veces reversible al agitar la emulsión.**

- c) Coalescencia: Implica la ruptura de la película interfacial, por lo tanto de la emulsión. Lo anterior comienza con la agrupación de gotas hasta la formación de otra de mayor tamaño, este agrupamiento de glóbulos provoca la disminución del área interfacial, originada por la reducción del número de gotas en suspensión (Cortez, 1998; Lewis, 1993).**

Estabilidad de la emulsión

Es posible formar una emulsión por una simple homogenización entre el aceite y el agua, pero ambas fases se separarían rápidamente por la diferencia de densidades. Esto debido a que las moléculas tienden a atraerse con las de su misma naturaleza. Es posible formar emulsiones que son cinéticamente estables por un periodo razonable de tiempo incorporando sustancias conocidas como emulsificantes. Los emulsificantes son moléculas orgánicas que exhiben polaridad y solubilidad, poseen en sus moléculas grupos hidrófilos o polares y grupos hidrófobos o no polares, constituyendo una molécula anfifílica. Estos componentes actúan en la reducción de la tensión interfacial existente en la zona de separación de las dos fases inmiscibles.

Entre los factores que contribuyen principalmente a la estabilidad de la emulsión son:

- a) **Reducción de la tensión interfacial: Se da por la interacción de los emulsificantes en la interfase agua-aceite.**
- b) **Repulsión debida a las cargas eléctricas en la superficie de las gotas: El efecto repelente que se da es responsable de la estabilidad del sistema puesto que evita el acercamiento extremo de partículas o gotas y la subsiguiente agregación.**
- c) **Estabilización por aumento de viscosidad en la fase continua: cualquier factor que contribuya a aumentar la viscosidad de la fase continua, va a lograr que se dificulte la movilidad de las gotículas, impidiendo la agregación de la fase dispersa. Lo anterior cumple con la ley de Stokes ($V = D^2 g \rho / 18\eta$), que establece que la velocidad de separación entre fases inmiscibles es inversa a la viscosidad del sistema. Los hidrocoloides normalmente actúan elevando la viscosidad de la fase continua.**

- d) Tamaño de partícula dispersa: A medida que el tamaño de partícula de las gotas dispersas es más pequeño, más estable será el sistema.**
- e) Factores térmicos: Un aumento de la temperatura actúa negativamente sobre la estabilidad de la emulsión.**
- f) Películas interfaciales (Cortez, 1998).**

Además de las circunstancias de almacenamiento, que pueden ser, las temperaturas altas y bajas, la agitación y vibración, la dilución o evaporación durante el almacenamiento o el uso.

En el caso de una emulsión de aceite en agua, la capacidad de emulsificación se expresa usualmente como la cantidad de aceite emulsificada por unidad de masa del emulsificante. La estabilidad se estima determinando el contenido oleico en la parte superior de una emulsión que se ha dejado reposar durante un periodo de tiempo determinado. Estas mediciones son empíricas en su naturaleza, pero tal enfoque es útil para discriminar los emulsificantes potenciales (Lewis, 1993). Otra forma de determinar la estabilidad de una emulsión es mediante la distribución del tamaño de las gotas de aceite, en este trabajo se utilizó un analizador del tamaño de partícula, Malvern Mastersizer 2000s, mediante difracción de rayo láser, que mide el tamaño de las partículas o más específicamente la distribución de los diferentes tamaños dentro de la emulsión.

1.4. PROCESO DE SECADO

El secado o deshidratación, se usa como técnica de preservación de alimentos. Los microorganismos dejan de ser activos, cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo.

El proceso de deshidratación, tiene una gran aplicación en la industria alimentaria, debido a que ofrecen grandes ventajas respecto a los productos frescos: mayor vida de anaquel, ocupan menor volumen, tienen mas facilidad en el manejo, transporte, almacenamiento y distribución del producto.

1.4.1. Métodos generales de secado

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras:

- **Por lotes: Cuando el material se introduce, el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo.**
- **Continuos: Cuando el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.**

Los procesos de secado, se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua:

- 1) Secado por aire:** El calor se añade por contacto con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.
- 2) Secado al vacío:** La evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación.
- 3) Liofilización:** El agua se sublima directamente del material congelado.

Equipo para secado

Existen varios tipos de secadores y la selección de estos se determina por: las características físicas y químicas, la cantidad de producto, la economía y las condiciones de operación.

La clasificación de los equipos de secado esta basada en la transferencia de masa y energía:

- **Secadores directos por lotes (Secadores por lote de circulación directa, secadores de bandeja y compartimientos y Lechos fluidos),**
- **Secadores directos continuos (Secadores continuos de bandejas, secadores rotatorios , secadores por aspersion, secadores de circulación directa)**
- **Secadores indirectos por lotes (Secadores de artesas agitadas, secadores por congelación, secadores rotatorios y de bandeja al vacío)**
- **Secadores indirectos continuos (Secadores de cilindro para hoja, de tambor, de transportador de tornillo, de bandeja vibradores y secadores rotatorios de tubo).**

Durante el proceso de secado con aire caliente, la eliminación de agua del alimento depende de la temperatura y la humedad del aire. Cuando el aire entra en contacto con un alimento húmedo y su superficie se calienta, entonces el calor transmitido hace que el agua pase al estado de vapor (calor latente de vaporización). El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire que esta en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre aquél una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor. Este gradiente proporciona la “fuerza impulsora” que permite eliminar el agua. En general, el flujo de agua hacia el exterior del producto (N_a), es una función del gradiente de presión de vapor, de la difusión de vapor del aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Además, dado que para evaporar el agua es necesario calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor (Geankoplis, 1995). La salida de la humedad del producto y consecuentemente su deshidratación, dependerá de la transferencia de materia por convección hacia la superficie, de la temperatura al interior, de la estructura interna del producto así como de su composición. Adicionalmente,

variables externas como la velocidad del aire y su temperatura.

Condiciones de secado para cáscara de naranja

Las condiciones de secado que se establecieron en este trabajo, fueron sugeridas de acuerdo a lo reportado en la literatura, pues según Larrauri (1999) a 60°C, los componentes bioactivos de la naranja, no sufren daños ni cambios considerables.

Además esta temperatura es reportada para el secado comercial de fibra de naranja, de acuerdo a la ficha técnica del proveedor de fibra de naranja comercial, marca Vitacel.

Se ha reportado una temperatura máxima de secado de 70°C, sin embargo estas condiciones son consideradas como drásticas (García y de la Cruz, 1993). Por lo tanto, para este trabajo se estableció una temperatura de 60°C con una velocidad de aire de 5 m/s, la velocidad del aire no tiene efecto en el proceso de secado.

1.4.2. Curvas de velocidad de secado

La determinación experimental de la velocidad de secado, se realiza midiendo la pérdida de peso del alimento en función del tiempo y bajo diferentes parámetros de velocidad, temperatura y humedad del aire de secado. Los datos experimentales, se analizan graficando el tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de agua del producto.

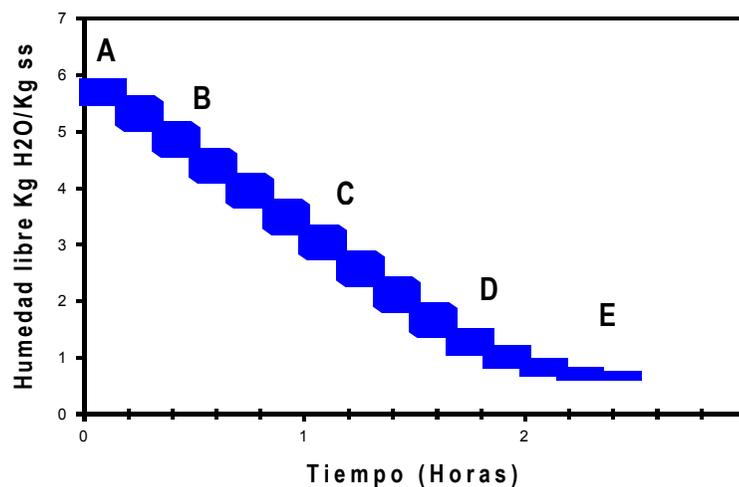


Figura 1.5. Curva de humedad libre (X) en función del tiempo

La curva de humedad libre en función del tiempo, es representada en la Figura 1.5. Al colocar el alimento dentro del secador, este se encuentra a una temperatura inferior a la del aire de secado, por lo que ocurre un calentamiento hasta que alcanza la temperatura de equilibrio, posteriormente comienza un periodo durante el cual, la evaporación de agua de la superficie del sólido, procede como si fuera una película de agua continua y actúa como si el sólido no estuviera presente. Cuando el agua de la superficie se termina de evaporar prosigue la evaporación del agua interna del sólido. Mediante esta curva se observa únicamente la velocidad de deshidratación, sin embargo el comportamiento del sólido a las condiciones establecidas de secado, se ilustra mejor en la Figura 1.6, la cual se obtiene mediante la derivación de la curva de la Figura 1.5 y representa la velocidad de secado con respecto a la humedad.

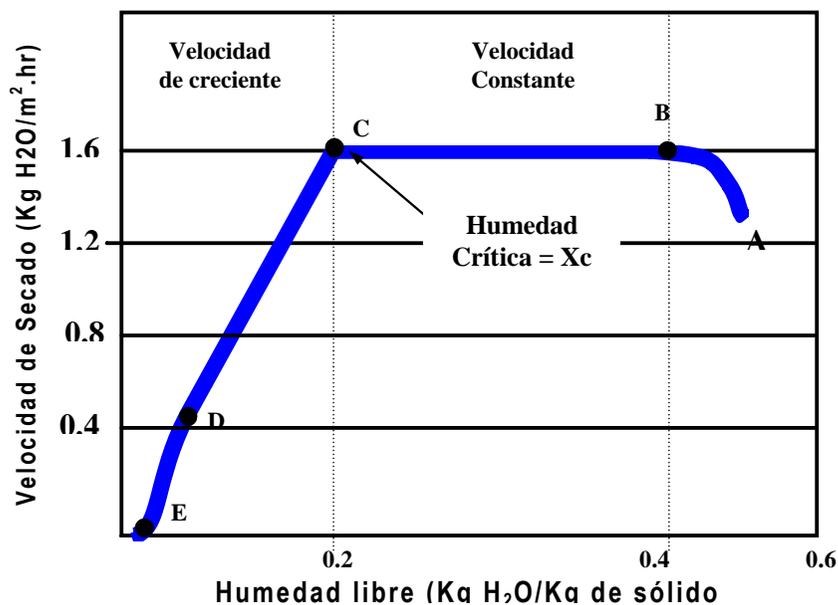


Figura 1.6. Representación de los diferentes periodos de velocidad de secado y su humedad libre

La sección AB de ambas curvas, representa el periodo de calentamiento del alimento, generalmente este periodo inicial de ajuste es bastante corto y no se considera en el análisis del mecanismo de secado. La región comprendida entre los puntos BC, representa el periodo de velocidad constante. En la Figura 1.5 la línea es recta y su

pendiente (velocidad) es constante, siendo horizontal en la Figura 1.6, el punto C se conoce como contenido crítico de humedad y señala el inicio del periodo de velocidad decreciente, aquí la velocidad de secado comienza a disminuir hasta llegar al punto D; este es el primer periodo de velocidad decreciente y corresponde a la línea CD que por lo general es lineal. El punto D marca el inicio del segundo periodo de velocidad decreciente, la velocidad de secado disminuye aún más hasta llegar al punto E, en donde el contenido de humedad es igual a la humedad de equilibrio.

La primera fase de secado tiene una menor duración que la fase de velocidad decreciente, y va a depender del coeficiente de transferencia de calor y de masa, a través de la capa límite de aire, entre el alimento y el aire de secado, así como del área expuesta al medio. El proceso de evaporación de agua en esta etapa es semejante al de una superficie de agua líquida; sin embargo las hendiduras de la superficie del alimento ayudan a que la velocidad de secado se incremente.

El periodo de velocidad decreciente, inicia en el punto C (humedad crítica), donde no hay suficiente agua en la superficie para mantenerla húmeda. La velocidad de secado se ve limitada por la transferencia de agua del interior del alimento a la superficie y depende básicamente del movimiento de la humedad en el interior del sólido, disminuyendo la influencia de las variables externas (Geankoplis, 1995).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades funcionales que posee la fibra de la cáscara de naranja, para su aprovechamiento como fuente de fibra dietética en formulaciones alimenticias.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer la composición de fibra dietética presente en la cáscara de naranja con y sin pulpa.
- Evaluar el efecto que tiene la fibra dietética soluble, sobre las propiedades funcionales de la fibra de cáscara de naranja.
- Evaluar la influencia que tiene el tamaño de partícula en las propiedades funcionales mediante los resultados de la fibra dietética de naranja comercial.

CAPÍTULO 2.

MATERIALES Y

MÉTODOS

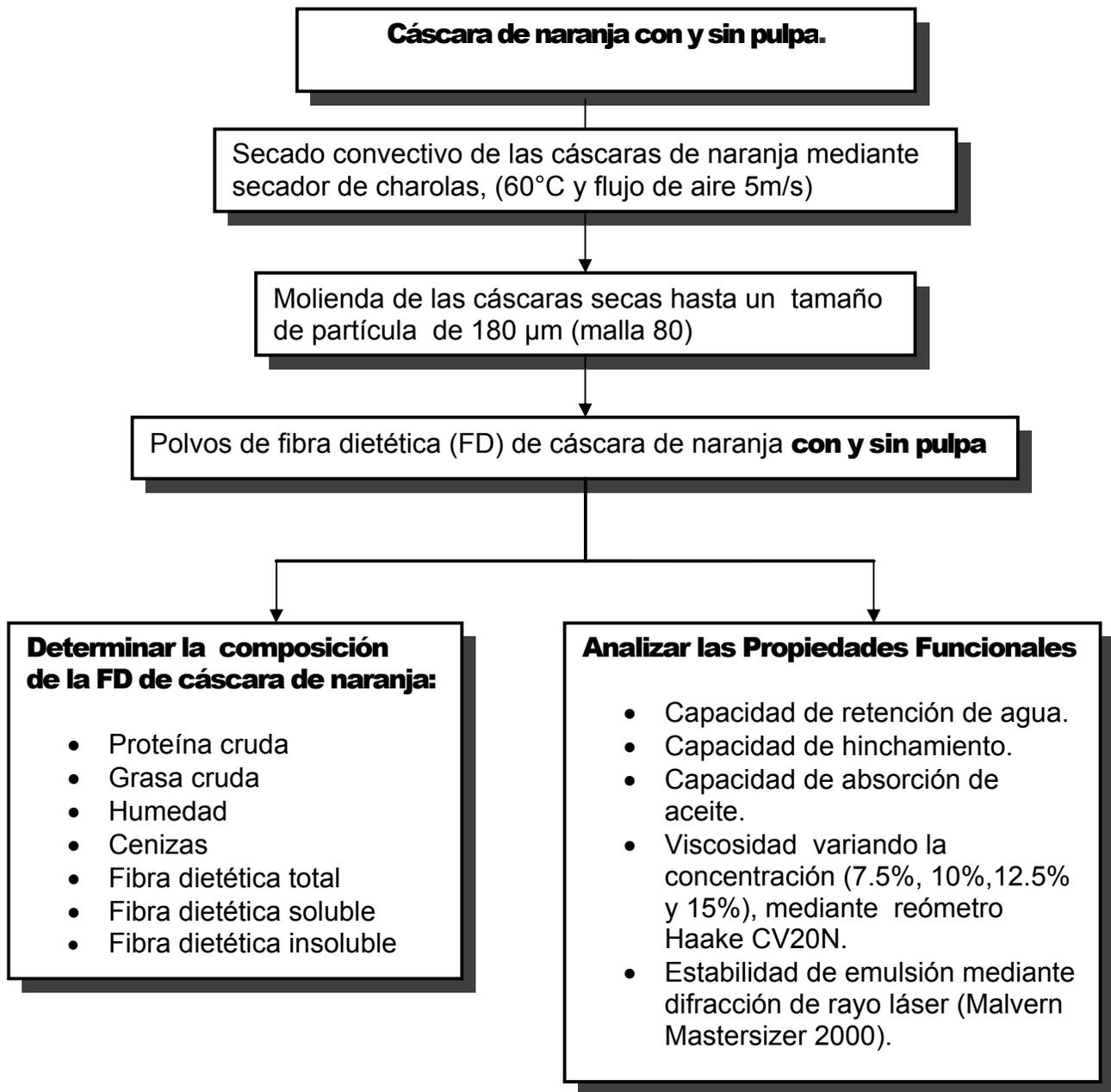


Figura 2.1. Diagrama general de la metodología experimental

2.1. Preparación de la materia prima

Para llevar a cabo el objeto de investigación de este trabajo, se utilizaron naranjas de la variedad Valencia, procurando que fueran uniformes en cuanto a tamaño y color (anaranjado). Las naranjas fueron recolectadas en el centro de acopio de la Central de Abastos de la Ciudad de México.

Posteriormente, las naranjas se lavaron con agua corriente para eliminar suciedad y polvo, se partieron por la mitad y se les extrajo el jugo mediante un exprimidor manual. Una vez extraído el jugo de naranja, las cáscaras fueron lavadas.

2.2. Muestras

Se seleccionaron dos lotes de cáscara de naranja: el primero, al que se le denominó cáscara de naranja con pulpa, contiene la cáscara y la pulpa (flavedo, albedo y sacos de jugo), tal como se obtuvo después de extraer el jugo. El segundo, que se identificó como cáscara de naranja sin pulpa, contiene la cáscara únicamente (flavedo y albedo), es decir, la pulpa fue eliminada manualmente.

2.3. Técnica de secado

Ambos lotes de cáscaras (con pulpa y sin pulpa) se cortaron en cuadros de aproximadamente 2 cm^2 y se colocaron en una charola con un área de 0.0578 (área de secado). Se determinó la humedad inicial de las cáscaras mediante una estufa con presión de vacío (Presicion Scientific).

Los dos lotes de cáscara de naranja (con y sin pulpa), se deshidrataron mediante secado convectivo a temperatura de 60°C , con un flujo de aire de 5 m/s.

El secado de las cáscaras de naranja se realizó en un secador de charolas modelo Pt SSE70 marca APEX Construction (ver Figura 2.2); el cual consiste en una cámara aislada dentro de la cual se colocan las charolas con soportes permanentes. El aire

entra por un ventilador que se encuentra dentro de la cámara de secado; la regulación de la velocidad del aire se hace mediante una perilla situada en la parte externa del secador y que regula velocidades de 1 a 12 m/seg. El flujo de aire pasa por un termostato que calienta el aire a temperaturas de 20 a 120°C, de esta manera el aire caliente entra en contacto con las charolas que contienen el material que se desea secar.

Para el registro de la variación del peso de la muestra, se colocó en la parte superior del secador una balanza digital marca Ohaus, a la cual se le adaptó un conector con la charola que se encuentra dentro de la cámara de secado; la pérdida de peso durante el secado se registró cada 20 minutos de manera continua durante la operación.

La temperatura interna de la cámara de secado se registró mediante termopares colocados en el interior del secador, con lo cual se pudo controlar el proceso.



Figura 2.2. Secador APEX modelo Pt SSE70

Curva de secado

Para obtener la curva de secado se graficó el contenido de humedad libre (X) en función del tiempo (t) en horas, a partir del peso del sólido húmedo (W), se obtiene la humedad libre a cada tiempo X(t), utilizando la siguiente ecuación:

$$X(t) = (W - W_s) / W_s \quad (2.1)$$

Donde:

X(t) = Humedad libre a cada tiempo (Kg agua / Kg ss)

W = Peso de la muestra a cada tiempo (Kg agua + Kg ss)

W_s = Peso del sólido seco (Kg ss)

Los datos obtenidos de la ecuación anterior se emplearon para trazar una grafica del contenido de humedad libre en función del tiempo. Para definir claramente la velocidad de secado (N_a) en función del contenido de humedad, los datos experimentales de X contra t son tratados mediante un modelo matemático como una función continua, misma que puede ser derivada (Ortega, 2004).

Para obtener la gráfica de velocidad de secado se empleo la siguiente ecuación:

$$N_a = (-L_s / area) \cdot \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (2.2)$$

donde:

N_a = Velocidad de secado

L_s = Peso seco (Kg de sólido seco)

dt es la derivada del tiempo, dX es la diferencial de la humedad en base seca (estimada a partir del código numérico descrito en el programa MathCad del Apéndice A).

2.4.- Molienda y tamizado

Las cáscaras de naranja deshidratadas se molieron en molino de piedras (Flour Grinding Mill, Type SC, Marca Chuo Boeki Goshi Kaisha), para obtener los polvos de cáscaras de naranja (con y sin pulpa) y posteriormente se tamizaron hasta un tamaño de partícula de 180 μm (malla 80). Los polvos obtenidos se almacenaron en recipientes cerrados hasta su utilización. Al material seco y molido (polvos) se le denominó fibra dietética (FD) de cáscara de naranja, con pulpa y sin pulpa, según sea el caso.

2.5.- Análisis Químico

Para determinar la composición de la cáscara de naranja, se realizó el análisis proximal a las dos muestras (con y sin pulpa), mediante las técnicas descritas por la AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists). Humedad (método 14.004), Cenizas (método 7.009), Proteína (método 2.055), Grasa (método 7.063), (AOAC, 1989).

2.6.- Determinación del contenido de fibra dietética

Para determinar el contenido de fibra dietética se siguió el método oficial 991.43 de la AOAC para fibra dietética total, soluble e insoluble en alimentos (Método enzimático-gravimétrico de la AOAC, 1995). (Figura 2.3)

Preparación de la solución enzimática:

Se pesa por duplicado 1g de muestra (M_1 y M_2). Se agregan 50 ml de solución buffer de fosfatos pH 6.0 y se agita. Posteriormente se agrega 0.1ml de solución de α -amilasa termoestable (Sigma A3306), agitando, y se incuba a 95°C por 15 min/agitación constante. Dejar enfriar. (Ajustar a pH 7.5 con 10ml de NaOH). Después, se agregan 5 mg de proteasa (Sigma P3910), (disolver 50mg de enzima en 1ml de buffer), y se adiciona 0.1 ml de la solución, se incuban a 60°C 30 min/agitación constante. Ajustar a pH 4.0-4.7 a 60°C con 10ml de HCl 0.325N. Finalmente se agrega 0.1 ml de solución de amiloglucosidasa (Sigma A9913), y se incuba a 60°C/30 min, agitando.

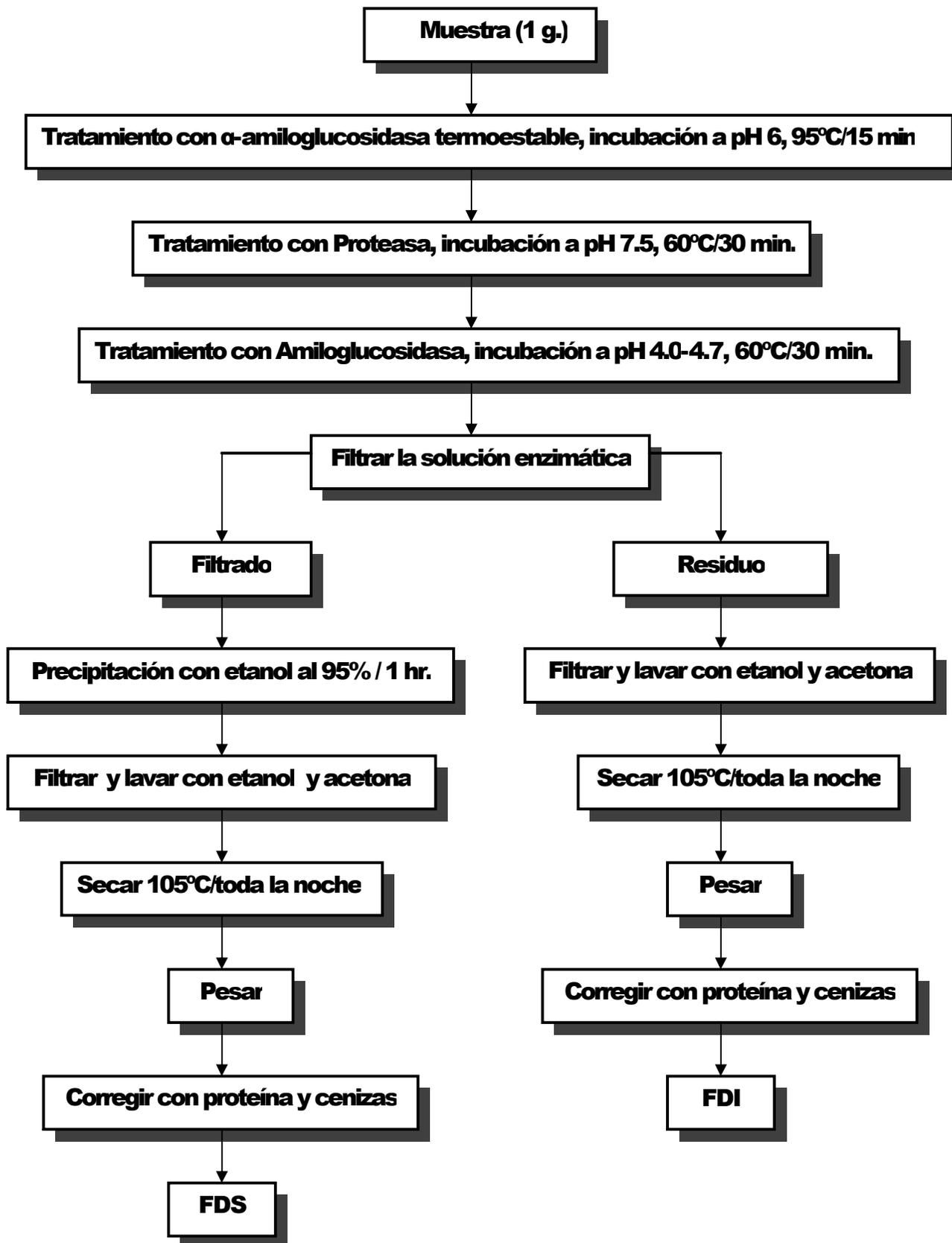


Figura 2.3. Determinación de Fibra Dietética Soluble e Insoluble

2.6.1. Determinación de fibra dietética insoluble (FDI)

Procedimiento:

Se filtra la solución enzimática a través de un crisol en un frasco de filtración. Se lava el residuo dos veces con 10 ml de agua a 70°C. Se combina el filtrado y las aguas de lavado y se transfiere a un vaso de precipitados, éste filtrado se guarda para la determinación de fibra dietética soluble. Posteriormente el residuo se filtra al vacío y se lava dos veces con porciones de 15 ml de etanol al 78%, de etanol al 95% y acetona. El residuo se deja secar durante toda la noche en la estufa a 105°C. y se pesa. Este residuo es la FDI.

2.6.2. Determinación de fibra dietética soluble (FDS)

Procedimiento:

Los vasos de precipitado que contienen el filtrado y las aguas de lavado se pesan, estimando los volúmenes. Se agregan 4 volúmenes de etanol al 95%, precalentado a 65°C, y se deja que precipite por 1 hora a temperatura ambiente. Posteriormente se filtra al vacío y se lava el residuo dos veces usando porciones de 15 ml de etanol al 78%, etanol al 95% y acetona. El residuo se deja secar durante toda la noche en la estufa a 105°C. y posteriormente se pesa. El residuo es la FDS.

Se usa un duplicado de cada muestra para determinar proteína usando N*6.25 como factor de conversión. Y al otro se le realiza la determinación de cenizas.

Cálculos:

Determinación del blanco (B):

$$B = [(Rb_1 + Rb_2)/2] - Pb - Cb$$

Donde Rb_1 y Rb_2 son pesos del residuo por duplicado en la determinación del blanco; y Pb y Cb son los pesos de proteína y cenizas respectivamente.

Determinación de fibra dietética:

$$\%FD = \frac{[(R_1 + R_2)/2] - P - C - B}{(M_1 + M_2/2)} * 100$$

Donde R₁ y R₂ son los pesos de los residuos de las muestras por duplicado. P y C son los pesos de proteína y cenizas, respectivamente, B es el peso del blanco; y M₁ y M₂ son los pesos de las muestras.

La Fibra Dietética Total (FDT), se determina sumando FDI + FDS.

2.7. Determinación de las propiedades funcionales

2.7.1. Propiedades de hidratación

Las propiedades de hidratación pueden ser caracterizadas por dos principales parámetros: la capacidad de hinchamiento que cuantifica el volumen ocupado por las fibras hidratadas; y la capacidad de retención de agua, que mide la cantidad de agua ligada después de aplicar una fuerza externa como centrifugación.

2.7.1.1. Capacidad de retención de agua

La capacidad de absorción de agua se expresa como la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de muestra seca en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza externa (p. ejem: centrifugación).

Procedimiento:

Se determina pesando 1 g. de muestra seca en tubos para centrífuga, se adicionan 30 ml de agua destilada y se agitan. Luego se dejan reposar a temperatura ambiente por 18 horas para después centrifugarlos a 3000 x g durante 20 minutos (Centrifuga Damon IEC Division, modelo 856). A las muestras centrifugadas se les elimina el sobrenadante. El residuo fresco se pesa, se seca (2h, 120°C) y se vuelve a pesar. Entonces la capacidad de retención de agua se reporta como los gramos de agua retenida por gramo de residuo seco. (Robertson et al., 2000)

2.7.1.2. Capacidad de hinchamiento

Indica la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua.

Procedimiento:

Se colocan de 0.1 a 0.2 gramos del producto en una probeta graduada, se adicionan 10 ml de agua destilada y se agita suavemente. Posteriormente se deja en reposo durante 18 horas a temperatura ambiente y se mide el volumen que ocupó la muestra. La capacidad de hinchamiento se reporta como la relación del volumen ocupado por la muestra entre el peso de la muestra seca (Robertson et al., 2000).

2.7.2. Capacidad de retención de aceite

Es la máxima cantidad de aceite que puede ser retenida por gramo de muestra seca en presencia de un exceso de aceite, bajo la acción de una fuerza externa (centrifugación).

Procedimiento:

Se coloca 4 g de muestra en tubos de centrífuga y se le adicionan 20 ml de aceite de maíz. Se agitan durante 30 minutos (30 seg cada 5 min). Posteriormente se centrifuga los tubos a 1600 x g durante 25 minutos (Centrifuga Damon IEC Division, modelo 856) y se elimina el sobrenadante. El aceite absorbido de las muestras se determina por diferencia de peso. La capacidad de absorción de aceite se expresa como gramos de aceite absorbidos por gramo de muestra seca (Abdul et al., 2000).

2.7.3. Viscosidad de proceso

La viscosidad es la resistencia al flujo de cada una de las capas del fluido en movimiento. Primero, se deformará la muestra a velocidad y temperatura controlada y posteriormente se estimará la viscosidad a esas condiciones.

La determinación de la viscosidad de proceso se realizó mediante un reómetro Marca Haake, modelo CV20N, utilizando una geometría helicoidal (ver Figura 2.4). El equipo

cuanta con un baño de agua para el control de la temperatura. El equipo es operado a través de una computadora PC. El sistema de agitación helicoidal empleado, fue el construido por Brito et al., (1998), en el cual se conoce la hidrodinámica necesaria para la estimación de la viscosidad de proceso.



Figura 2.4. Reómetro Haake modelo CV20N, con agitador helicoidal

A continuación se indica la transformación de las lecturas tomadas por el software en torque (T) y velocidad angular del agitador (N), mediante las siguientes ecuaciones.

El torque (T), se obtuvo mediante la transformación de la lectura tomada (%T).

$$T = (\%T) T_{max} / 100 \tag{2.3}$$

Donde $T_{max} = 1.022 \times 10^{-2}$ (Pa)

La velocidad angular, N (s^{-1}), se obtuvo a través de la transformación de las lecturas (%D) mediante:

$$N = (\%D) N_{max} / 6000 \tag{2.4}$$

Donde $N_{max} = 200$ RPM

Con los datos de torque (T) y velocidad angular (N), se estimó la potencia consumida, P (watts) para asegurar que el sistema está en la región laminar:

$$P = 2\pi N T \tag{2.5}$$

Posteriormente, se realizó la transformación de los datos para estimar la viscosidad de proceso de las muestras mediante el agitador helicoidal, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$T = A(n) N^n \quad (2.6)$$

$$A(n) = \frac{Kp(n) m d^3}{2\pi} \quad (2.7)$$

$$Kp(n) = Kp b^{n-1} c^{n-1/n} / Re \quad (2.8)$$

Donde para el caso del agitador helicoidal estudiado por Brito et al. (1998), el valor de Kp es 162.55. El valor de b = 24.64 y el de c= 0.91.

$$m = \frac{A(n) 2\pi}{Kp(n) d^3} \quad (2.9)$$

donde d= 0.0248 m

La viscosidad de proceso será determinada mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{m Kp(n) N^{n-1}}{Kp} \quad (2.10)$$

Procedimiento:

Se elaboraron soluciones a distintas concentraciones de fibra de cáscara de naranja con y sin pulpa al 7.5%, 10%, 12.5%, 15% (p/v). Se fijaron las condiciones de operación (temperatura 25°C), y la geometría a usar que en este caso se usó la geometría helicoidal, con el objeto de homogenizar las muestras de fibra. Posteriormente, se establece el programa de operación del reómetro (ascenso y posterior descenso de la rapidez de deformación), así como la cantidad de datos a tomar en un intervalo de rapidez de deformación durante determinado tiempo. Finalmente, se colocó la muestra en el reómetro, se llevó a su lugar el sensor y se inició la operación del reómetro.

2.7.4. Capacidad de emulsificación

Una emulsión consiste en formar un sistema de dos fases aceite en agua, en el cual la fase dispersa (aceite) se suspende en un medio líquido (agua) en forma de gota. Las propiedades de las emulsiones dependen en gran medida de la estructura de la gota, la cual está estabilizada por las moléculas emulsificantes. La capacidad de emulsificación de la FD de cáscara de naranja fue evaluada en términos de de capacidad de emulsificación y estabilidad de la emulsión.

Procedimiento:

Se toman 20 ml de dispersión acuosa de fibra al 7%, y se adicionan a 20 ml de aceite de maíz, posteriormente se homogeniza la emulsión con un agitador (Rotor estator) por 5 minutos a una velocidad de 3000 rpm. Una alícuota se centrifuga a 3000 x g por 5 min; el porcentaje de mezcla total que quedó emulsificado después de la centrifugación, fue expresado como capacidad de emulsificación (Yasumatsu, 1972).

2.7.4.1. Estabilidad de la emulsión mediante la determinación del tamaño de gota por difracción de rayo láser

Para evaluar la estabilidad de la emulsión de las emulsiones de fibra de cáscara de naranja, se determinó el diámetro medio de partícula $d(0,5)$ de los glóbulos de grasa formados en la emulsión, la distribución de superficie $d(3,2)$, la distribución de volumen $d(3,4)$ y el área superficial específica (ASE) de cada muestra, mediante un analizador de tamaño de partículas MALVERN MASTERSIZER 2000s (ver Figura 2.5), el cual mide el tamaño de partícula mediante la difracción de rayo láser, este aparato consta de un transmisor, un receptor y una computadora, la técnica se basa en medir la dispersión de la intensidad de luz, causada por la partícula al pasar a través del analizador, la medición de la luz difractada es medida mediante fotodiodos que se encuentran en una cámara receptora. Posteriormente se utiliza un programa que mediante modelos empíricos convierte la intensidad de la luz, en una curva de distribución de tamaño partícula (ver Figura 2.6). El rango de medición de esta técnica es de 1.2 a 1800 μm . La emulsión se analizó a las 0 hrs, 4 hrs. y 24 horas de reposo.

Las muestras fueron diluidas 1:50 para su análisis.



Figura 2.5. Analizador Malvern Mastersizer 2000s

En la Fig. 2.6 se observan las partes que conforman el Malvern Mastersizer 2000s para la determinación del tamaño de partícula (gota) en las emulsiones.

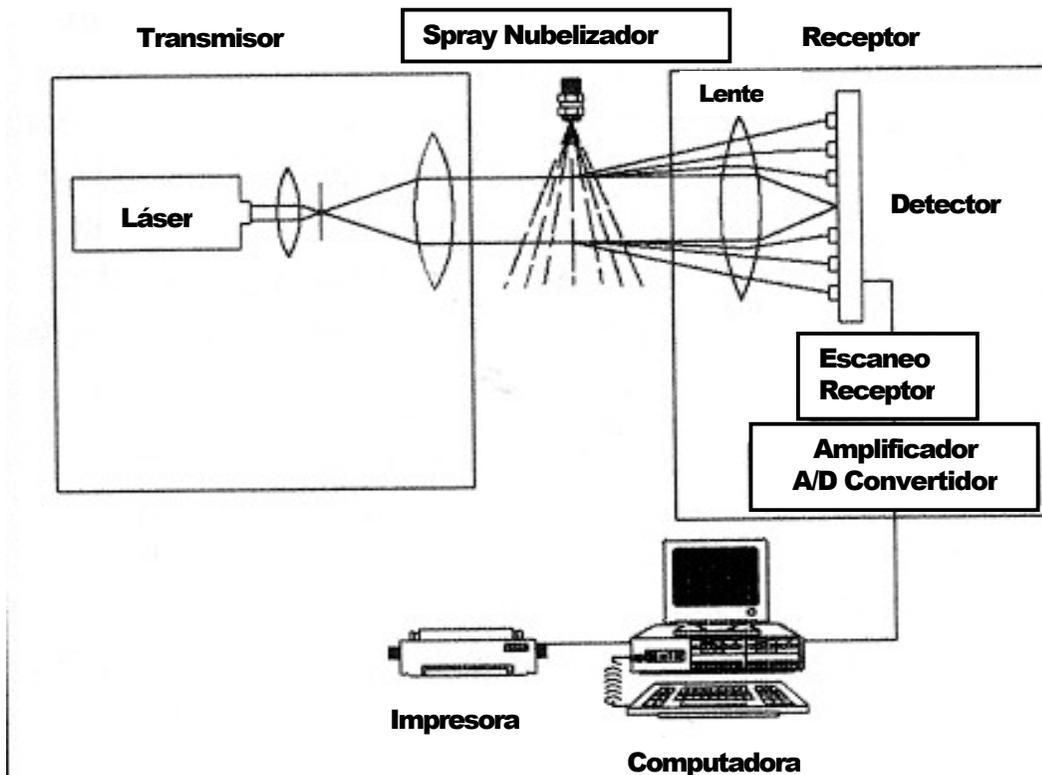


Figura 2.6. Diagrama del Analizador de Partículas Malvern Mastersizer 2000s

CAPÍTULO 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cinética de secado

Al inicio de cada experimento, se determino la humedad inicial de las muestras y el valor del sólido seco (LS), el cual depende del peso inicial de la muestra. Posteriormente, se determino la humedad final de ambas muestras, y los resultados se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Contenido de humedad de las muestras de cáscara de naranja

Muestra	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)	Sólidos secos (Ls)
Con pulpa	68.0067	6.5278	42.2311
Sin pulpa	55.8316	5.7452	28.7094

Para realizar la cinética de secado de las muestras de cáscara de naranja con y sin pulpa, se consideraron como variables constantes: la temperatura del aire de secado (60°C), la velocidad del aire de secado (5 m/s), así como el área de contacto (0.0578 m²).

Se determino la pérdida de peso de las muestras con respecto al tiempo. Cada prueba se realizó por duplicado para validar la reproducibilidad de los datos. Posteriormente se analizaron los datos experimentales de humedad obtenidos mediante la ecuación (2.1) (ver capítulo 2), graficando el contenido de humedad (X) en función del tiempo como se muestran en la Figura 3.1.

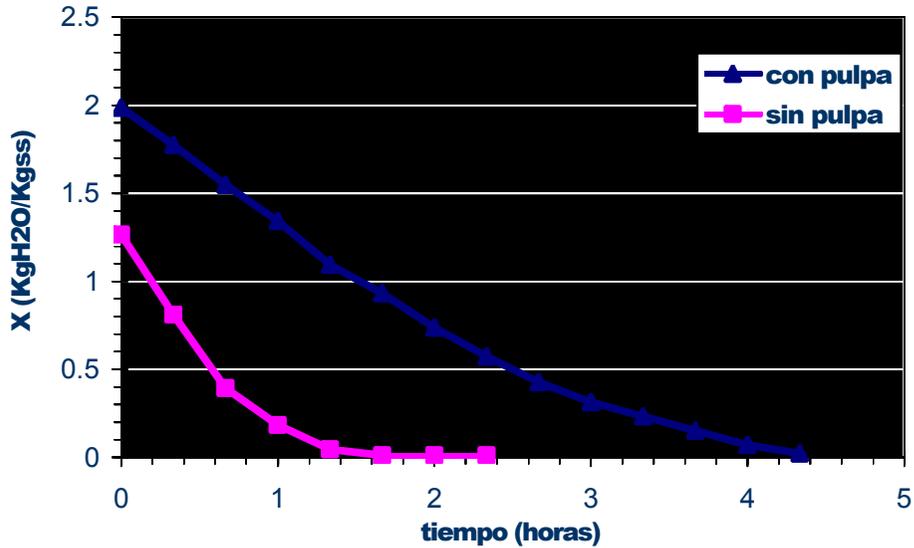


Figura 3.1. Curva de secado experimental para cáscara de naranja

En la Figura 3.1, se observa que las dos muestras presentan un comportamiento similar, sin embargo existe una notable diferencia en cuanto al contenido de humedad, se puede ver claramente que la cáscara de naranja con pulpa tiene un mayor contenido de agua (humedad libre) y por lo tanto requiere más tiempo en secarse, en cambio la cáscara que no contiene pulpa al tener una menor humedad libre, ocupó casi la mitad del tiempo.

En la Figura 3.2, se muestra la curva de velocidad de secado como función del contenido de humedad (N_a vs X), la cual se obtiene mediante la derivación de la curva de la Figura 3.1, aplicando el modelo matemático descrito por la ecuación (2.2) (ver Capítulo 2), utilizando el programa MathCad (Ortega, 2004) (ver Apéndice A).

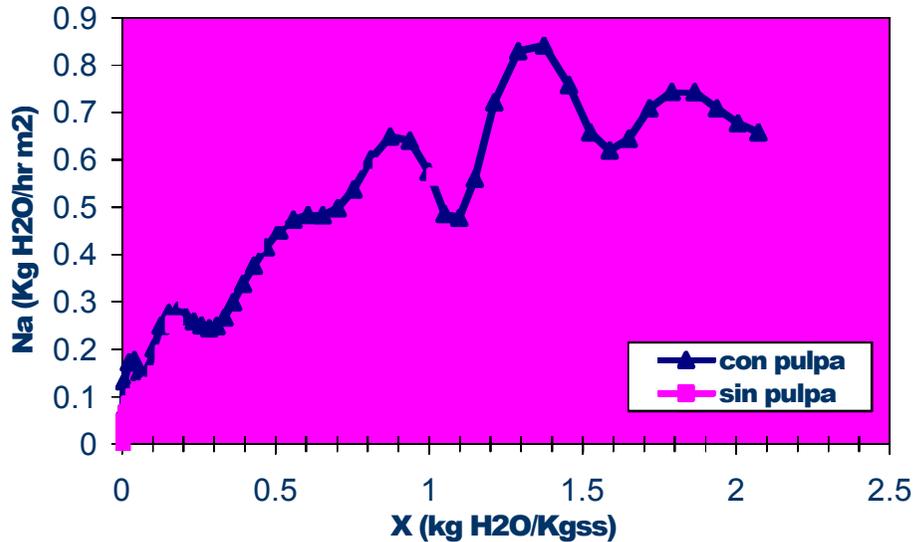


Figura 3.2. Curva de velocidad de secado para cáscara de naranja

Las curvas de la Figura 3.2 indican que, en ambas muestras de cáscara de naranja se presentan los dos periodos de velocidad de secado: constante y decreciente. En la muestra con pulpa se presenta un mayor intervalo del período constante de 2.1 – 0.8 KgH₂O /KgSS, comparado con el de la muestra sin pulpa, cuyo periodo de velocidad constante es muy breve: de 1.0 -0.6 KgH₂O /KgSS, lo anterior sugiere que, para la muestra con pulpa es mayor el contenido de humedad no ligada (humedad libre). En el caso del periodo de velocidad decreciente (poscrítico), éste se presenta con la misma tendencia en ambas muestras a partir de 0.8 KgH₂O /KgSS para la muestra con pulpa y de 0.6 KgH₂O /KgSS, para la muestra sin pulpa. Por lo tanto, el agua que se evapora durante esta etapa se encuentra ligada a los constituyentes del alimento (humedad ligada) y su transferencia depende de la temperatura de secado. La velocidad de secado en este periodo se ve limitada por la transferencia de agua del interior del alimento a la superficie y depende del flujo de humedad en el interior del sólido. Cabe mencionar que en el periodo decreciente, en el momento que existe equilibrio térmico, la velocidad de secado (Na), prácticamente disminuye conforme disminuye el contenido de humedad, tal como se observa en la Figura 3.2.

3.2. Propiedades Fisicoquímicas

3.2.1. Análisis Químico

En la Tabla 3.2 se muestra la composición química de la fibra de cáscara de naranja con y sin pulpa, en donde podemos observar que los valores son muy similares siendo ligeramente mayores los de la muestra con pulpa, y esto es debido a los componentes propios de la pulpa (sacos de jugo). En ambas muestras se presentó una humedad < 10% la cual permite una adecuada conservación ya que inhibe el desarrollo de microorganismos en las muestras.

Tabla 3.2. Composición química de la fibra de cáscara de naranja (g / 100 g de muestra seca)

Componentes	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
Con pulpa	5.366	8.23	1.644	4.802
Sin pulpa	4.611	7.69	1.412	4.483

La composición química de las muestras de cáscara de naranja es similar a los valores reportados en la literatura para naranja; proteína 8.7-10.12%, grasa 1.4-2.9% y cenizas 2.6-3.1 % (Grigelmo et al., 1999a). El contenido de minerales expresado como cenizas, depende de las condiciones del suelo y la fertilización durante el cultivo de las naranjas.

3.2.2. Contenido de fibra dietética

El contenido de fibra dietética soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) es mostrado en la Tabla 3.3. La FD de cáscara de naranja presenta un alto contenido de FDT (53.675 – 76.629%) el cual resulta comparable a lo informado en la literatura para FDT de naranja: 50 a 75% (Melton, 1992). La FDI (38.21- 49.62%) es la fracción mayoritaria en las muestras de cáscara de naranja, sin embargo, también poseen una alta fracción de FDS (15.45 - 26.89%), en comparación con otras fuentes de fibra como cereales (salvado de trigo: 41.5% FDI, 2.8% FDS y avena: 20.2% FDI, 3.6% FDS) (Grigelmo et al., 1999). La alta presencia de ambas fracciones en la cáscara de naranja la hace una FD con buenos efectos fisiológicos que proporcionan enormes beneficios en la salud, y resulta mejor que la de cereales. La FD Insoluble es importante para la regulación

intestinal, mientras que la fracción soluble esta relacionada con la reducción de colesterol y glucosa en sangre. Los resultados sugieren que la FD de naranja puede ser útil en la industria de alimentos como ingrediente alto en fibra.

Tabla 3.3. Composición de la Fibra Dietética presente en la cáscara de naranja (g / 100g muestra seca).

Muestra	Fibra dietética soluble (%)	Fibra dietética insoluble (%)	Fibra dietética total (%)
Con pulpa	26.897	49.623	76.529
Sin pulpa	15.456	38.219	53.675

En cuanto al contenido de fibra dietética en cada una de las muestras de cáscara de naranja (con y sin pulpa), mostrado en la Tabla 3.3 se observa, que la cáscara con pulpa presenta un mayor porcentaje de fibra dietética soluble (26.897%), respecto a la cáscara sin pulpa (15.456%), esto es debido a que en la primera se incluye además de la cáscara y el albedo, los sacos de jugo (pulpa), los cuales tienen mayor cantidad de pectinas que aumentan el contenido de fibra soluble, tal como se indica en los datos reportados de la composición de fibra dietética en las partes de la naranja, presentados en la Tabla 3.4, donde se observa un valor mas alto de pectina en los sacos de jugo que en la cáscara, por lo tanto la muestra con pulpa contiene tanto las pectinas de la cáscara como la de los sacos de jugo y por tal motivo presenta una fracción mayor de FDS, lo cual la hace fisiológicamente más adecuada. Estos resultados sugieren que la FD de cáscara de naranja, especialmente la muestra con pulpa, puede ser usada como una buena fuente de fibra soluble para muchas aplicaciones en alimentos.

Tabla 3.4. Composición de fibra dietética en los componentes de la naranja. (g / 100g muestra fresca)

Fracción de fibra	Cáscara	Sacos de jugo	Membrana
Hemicelulosa	1.8	1.7	1.5
Celulosa	3.8	3.5	3.5
Pectina	3.7	4.8	4.0
Lignina	0.3	1.0	0.7

Referencia: Braddock, 1983

El consumo de FD tiene que ser balanceado para obtener los efectos fisiológicos deseados propios de cada fracción, la relación debe estar en el rango recomendado de 1.0-2.3 FDI/FDS (Grigelmo et al., 1999b).

En la Tabla 3.5 se presentan las proporciones de ambas fracciones con respecto a la FDT, para las muestras de cáscara de naranja, se observa que ambas muestras tienen una buena proporción de fibra dietética soluble (28.7-35.1%) con respecto al total de la fibra dietética, este valor es alto en comparación con la proporción de FDS de cereales y otros subproductos de frutas y vegetales (ver Tabla 3.6).

Tabla 3.5. Proporción de fibra dietética soluble e insoluble en la fibra dietética total de naranja.

Muestra	Fibra dietética soluble		Fibra dietética insoluble		Fibra dietética total	Relación FDI/FDS
	%	% de la FDT	%	% de la FDT		
Con pulpa	26.897	35.146	49.623	64.842	76.529	1.87
Sin pulpa	15.456	28.795	38.219	71.204	53.675	2.47

Tabla 3.6. Proporción de FDS en el contenido de FDT de algunos derivados de cereales y otros subproductos de frutas y verduras.

Fuente de fibra	Fibra dietética soluble (%)
Salvado de trigo	6.4
Salvado de avena	15.1
Salvado de maíz	0.4
Cáscara de piña	3.5
Cáscara de cítricos	30.0
Bagazo de uva	6.8
Cáscara de pepino	8.3
FD de naranja	36.0
FD de manzana	23.0
FD de durazno	27.1

La principal ventaja de la fibra dietética de la naranja en comparación con otras fuentes de fibra, es su elevada proporción de fibra soluble (30% en cáscara de cítricos, 36% en FD de naranja) (Grigelmo et al., 1999a). Esto es un importante punto a tomar en cuenta

dado que el requerimiento de consumo de FD debe ser balanceado, y la fracción soluble debe representar entre el 30 y 50% de la fibra dietética total (Fernandez-Lopez, 2003). En cuanto a la relación FDI/FDS, la muestra con pulpa (1.87) esta dentro del rango recomendado, aunque la muestra sin pulpa tiene un valor ligeramente mayor (2.47), se puede decir que ambas presentan una relación adecuada, por lo tanto poseen una fibra dietética con muy buenos efectos fisiológicos, mucho mejor que la FD de cereales, la cual tiene una baja proporción de FDS, teniendo por lo tanto una relación FDI/FDS poco equilibrada (Salvado de trigo 14.5), reduciendo así sus efectos fisiológicos.

3.3. Propiedades Funcionales de la FD de cáscara de naranja

3.3.1. Capacidad de retención de agua

La propiedad más apreciada en fibras dietéticas es la capacidad de retención de agua (CRA). Desde el punto de vista tecnológico una alta retención de agua permite el uso de la fibra como ingrediente en alimentos enriquecidos, ya que evita la pérdida de agua (productos de horneados) y modifica la textura. Desde el punto de vista fisiológico una mayor CRA proporciona un mayor volumen del bolo alimenticio, y por lo tanto, mayor sensación de saciedad; además al retenerse más agua en el aparato digestivo, produce un mayor volumen, humedad y peso de las heces, acelerando el tiempo de tránsito intestinal.

Tabla 3.7. Capacidad de retención de agua de la fibra dietética de naranja.

Muestras	CRA (gH ₂ O/g mtra)
Con pulpa	12.604
Sin pulpa	11.289

En la Tabla 3.7 se muestran los resultados de la capacidad de retención de agua de las muestras de fibra de cáscara de naranja (con y sin pulpa), en ella se observa que la muestra con pulpa presenta un valor más alto de CRA, esto se relaciona con el mayor contenido de FDS que posee esta muestra (ver Tabla 3.3), ya que la fracción soluble de la fibra se asocia como responsable de la CRA (Grigelmo et al., 1999a).

En general, se puede decir que la capacidad de retención de agua de ambas muestras (con y sin pulpa) es similar al valor obtenido por Grigelmo (12.4 gH₂O/g mtra) para FD de naranja y es alta en comparación con lo reportado para la FD de cereales (Salvado de trigo 6.6 gH₂O/g mtra, salvado de avena 10 gH₂O/g mtra) y otras frutas (FD de manzana 6.3, FD de pera 6.8 gH₂O/g mtra) (Grigelmo et al., 1999a). Por lo tanto, la FD de cáscara de naranja al tener un alto valor de CRA puede ser empleada como un ingrediente funcional para reducir calorías, evitar la sinéresis y modificar la viscosidad y textura de productos alimenticios (productos homeados, alimentos instantáneos, productos cármicos y bebidas dietéticas).

3.3.2. Capacidad de hinchamiento

Respecto a la capacidad de hinchamiento (CH) mostrada en la Tabla 3.8, ambas muestras presentaron buenos resultados, y son comparables a los reportados por Robertson (10.45 mL/g mtra) para FD de cítricos (Robertson et al., 2000). Sin embargo, se observa un valor de hinchamiento mayor, para la FD de cáscara de naranja con pulpa (Tabla 3.8). Esto probablemente, se puede atribuir al mayor contenido de pectina (FDS) las cuales confieren propiedades hidrofílicas y elásticas a la fibra (Auffret et al., 1994).

Tabla 3.8. Capacidad de hinchamiento de la fibra dietética de naranja

Muestras	C. Hinchamiento (ml/g mtra)
Con pulpa	10.841
Sin pulpa	9.076

El primer paso de la solubilización de los polisacáridos es el hinchamiento. El agua entra a la estructura sólida y separa las macromoléculas hasta que están completamente dispersas. Este fenómeno puede provocar la solubilización de las moléculas, para algunos polisacáridos como la celulosa, la dispersión final no es posible debido a su conformación, la celulosa se hincha pero no se solubiliza. (Thebaudin et

al., 1997). Esta propiedad también permite conocer como se modifica la fibra insoluble al ser hidratada, lo cual se ve reflejado en las propiedades de textura del alimento. Los valores de hinchamiento de ambas muestras son altos en comparación con los valores reportados por Auffret para salvado de trigo (5.9 ml/g), y los reportados por Guillon para FD de manzana (7.4 ml/g) (Auffret et al., 1994; Guillon et al., 2000).

3.3.3. Capacidad de absorción de aceite

En la Tabla 3.9, se presentan los resultados de la capacidad de absorción de aceite (CAA), de la fibra de cáscara de naranja (con y sin pulpa) en donde ambos valores son ligeramente mayores a los valores reportados para la FD de naranja (0.8-1.27 g aceite/g mtra) (Grigelmo et al., 1999a). La cáscara de naranja con pulpa obtuvo un valor más alto respecto a la muestra sin pulpa. Las fibras insolubles pueden retener más de cinco veces su masa en aceite. En consecuencia, la muestra sin pulpa al tener una menor proporción de la fracción insoluble (ver tabla 3.3), posee una menor capacidad de retención de aceite comparada con la muestra de cáscara de naranja con pulpa. Los resultados de CAA para las muestras de FD de naranja, son bajos en comparación con los reportados para cereales (salvado de arroz: 4.54 ml/g) (Abdul et al., 2000) debido a que éstos tienen una mayor proporción de fibra dietética insoluble. Esta propiedad es explotada en los alimentos (productos cárnicos) para aumentar la retención de grasa que es normalmente perdida durante el cocimiento. Esto puede ser benéfico para la retención del sabor y para aumentar el rendimiento tecnológico. Esta propiedad también hace a la FD de naranja apropiada para estabilización de alimentos con un porcentaje alto de grasa y emulsiones.

Tabla 3.9. Capacidad de absorción de aceite de la fibra dietética de naranja

Muestra	C. A. A. (g /g mtra)
Con pulpa	2.325
Sin pulpa	1.864

3.3.4. Efecto del tamaño de partícula en las propiedades funcionales (CRA, CH, CAA).

En la Figura 3.3 se presentan los resultados de las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua CRA, capacidad de hinchamiento CH y capacidad de absorción de aceite CAA) de la fibra dietética de naranja comercial, marca Vitacel en dos distintos tamaños de partícula (280 μm y 35 μm) y de la FD de cáscara de naranja con pulpa con tamaño de partícula de 180 μm (malla 80), solamente se incluyó la muestra con pulpa a fin de comparar los resultados con las muestras comerciales, puesto que éstas también contienen la pulpa.

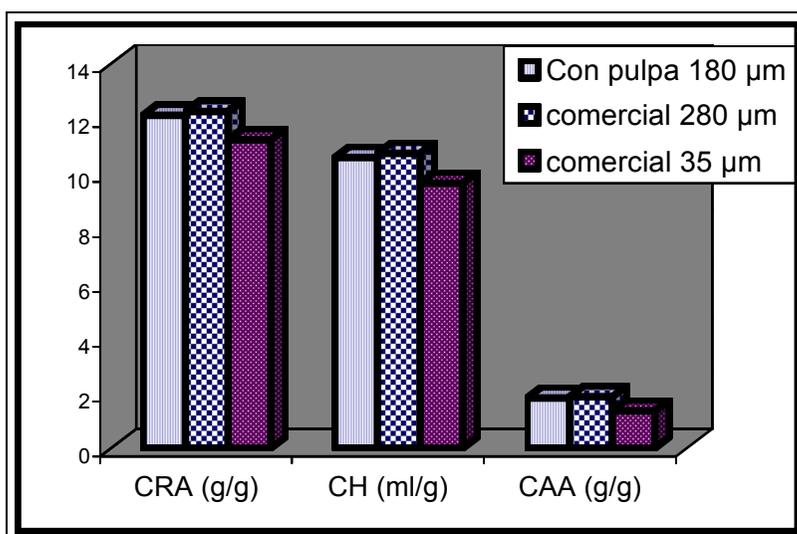


Figura 3.3. Propiedades funcionales de la cáscara de naranja con pulpa y muestra comercial a diferentes tamaños de partícula.

Los resultados de la figura 3.3, indican una reducción de las propiedades funcionales evaluadas (CRA, CH, CAA) a medida que disminuye el tamaño de partícula. Esta disminución de las propiedades puede deberse al daño que sufre la fibra durante la molienda, por ejemplo la reducción en la CRA y CH probablemente se debe a que la molienda puede cambiar los espacios disponibles para el agua libre por el colapso de la estructura de la matriz de la fibra (Auffret et al, 1994).

3.3.5. Viscosidad de proceso

Las Figuras 3.4 a 3.12, presentan las curvas de viscosidad de proceso como función de la velocidad de agitación (helicoidal), para muestras de fibra de cáscara de naranja. Como se observa en las figuras anteriores, los datos presentan un comportamiento no-newtoniano, del tipo adelgazamiento a la cizalla (pseudoplástico), donde (n) es el índice de flujo de acuerdo al modelo de la ley de la potencia, si $n < 1$, el fluido sigue un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico y si n es igual a 1, el fluido es newtoniano. Para los fluidos pseudoplásticos, la viscosidad disminuye conforme aumenta la velocidad de agitación. La dependencia con respecto a la velocidad de deformación pone de manifiesto la existencia de una estructura compleja dentro del sistema. Donde, el comportamiento pseudoplástico indica una ruptura continua o reorganización de la estructura, dando como resultado una disminución de la resistencia al flujo a medida que aumenta la velocidad de deformación (Barbosa-Cánovas et al, 1993). La viscosidad de sistemas alimenticios esta relacionada con sus propiedades sensoriales y de textura, tales como, cuerpo, consistencia, pegajosidad y adherencia.

3.3.5.1. Efecto del contenido de fibra soluble sobre la viscosidad

En las Figuras 3.4 a 3.7 se muestran las curvas de viscosidad de la fibra de cáscara de naranja con y sin pulpa a cuatro distintas concentraciones (7.5%, 10%, 12.5% y 15% p/v), en las cuales se puede observar una diferencia notable en cuanto a la viscosidad de ambas muestras, teniendo una viscosidad mayor la fibra de cáscara de naranja con pulpa, la cual contiene la fracción más alta de fibra soluble, especialmente pectinas que dan mayor viscosidad, esto se puede explicar por el hecho de que las pectinas en solución van a formar una red tridimensional continua similar a la de un gel débil, la cual atrapa y retiene el líquido dentro de ella para formar una estructura que tiene la habilidad de resistir al flujo, por lo tanto, al haber más pectinas en la muestra con pulpa, esto aumentará su viscosidad.

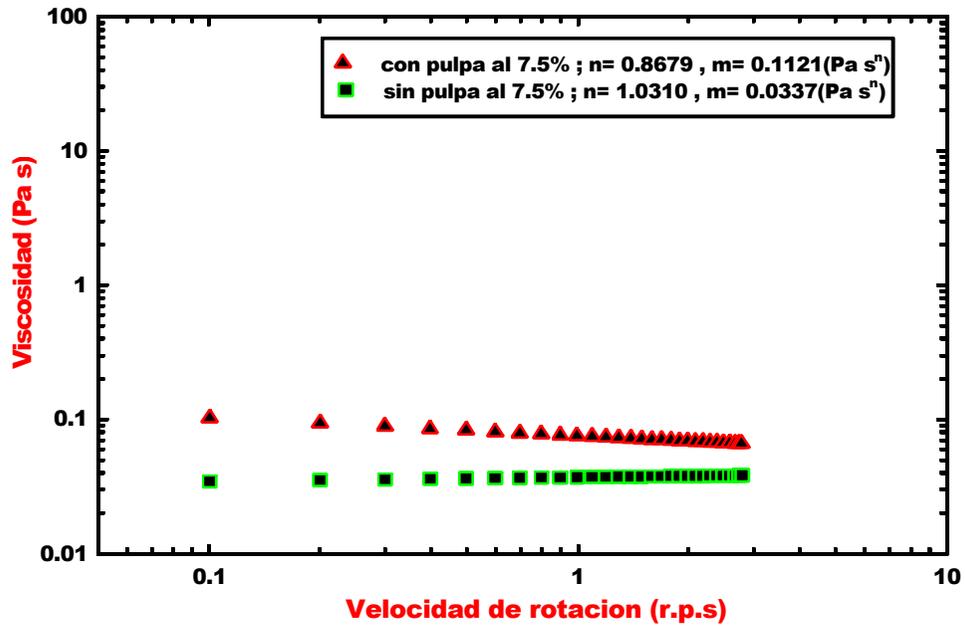


Figura 3.4. Viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja al 7.5%

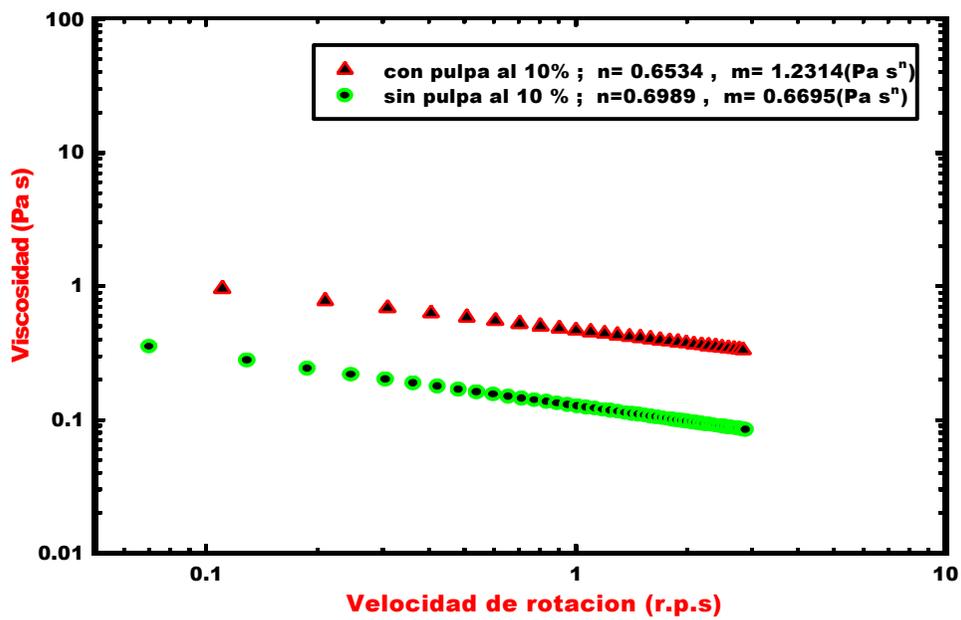


Figura 3.5. Viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja al 10%

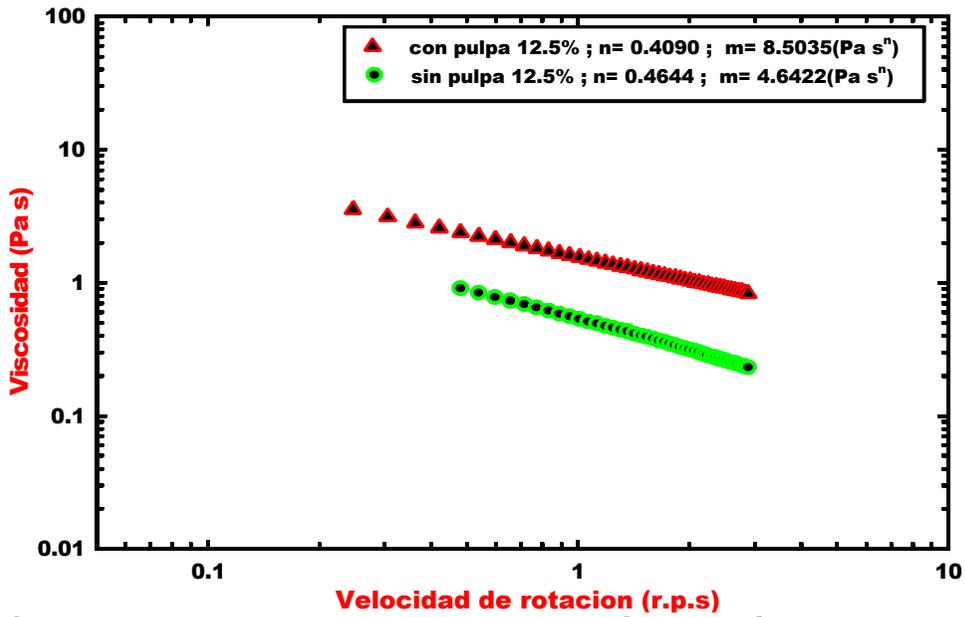


Figura 3.6. Viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja al 12.5%

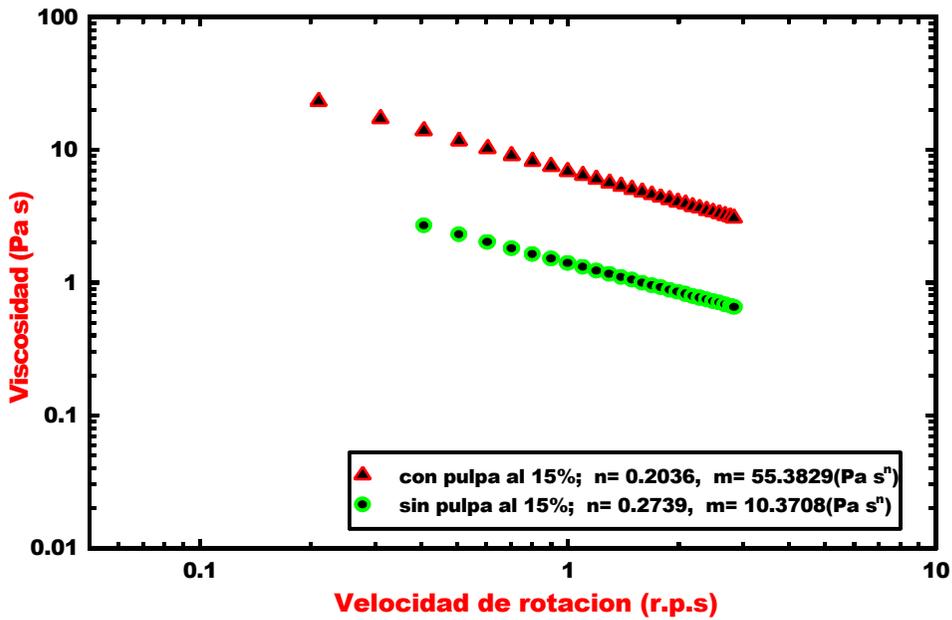


Figura 3.7. Viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja al 15%

En este tipo de sistemas donde existen las partículas solubles y además los componentes insolubles, son fluidos en dos fases (fase continua y fase dispersa), por tal motivo, la viscosidad de estas dispersiones, depende tanto de la viscosidad de la fase continua (la cual va en mayor proporción), como de las propiedades de la fase dispersa. En el caso de la muestra de cáscara de naranja con pulpa (26.897% FDS, 49.623% FDI), se sugiere que al tener mayor contenido de fibra soluble (pectinas), éstas aportaran una mayor viscosidad en la fase continua, además de la que aporta la fracción insoluble, la cual también es mayor respecto a la muestra sin pulpa (15.456% FDS, 38.219% FDI). Analizando el índice de flujo (n) (Tabla 3.10), se puede decir que la muestra de cáscara de naranja con pulpa es más pseudoplástica ($n < 1$), que la que no tiene la pulpa, es decir, que el valor de (n) es menor, y esto se explica considerando también, que las muestras de cáscara de naranja con pulpa tiene un mayor contenido de este tipo de polisacáridos estructurados (pectinas), las cuales favorecen el comportamiento pseudoplástico.

Tabla 3.10. Parámetros reológicos, (n) índice de flujo y (m) índice de consistencia de la fibra dietética de naranja

Muestras		n	m (Pa s ^{n})
Con pulpa	7.5%	0.8679	0.1121
	10%	0.6534	1.2314
	12.5%	0.4090	8.5035
	15%	0.2246	55.3829
Sin pulpa	7.5%	1.0310	0.0337
	10%	0.6989	0.6695
	12.5%	0.4644	4.6422
	15%	0.2739	10.3708
Comercial 35 μ m	10%	0.8307	0.1994
	12.5%	0.5868	2.8015
	15%	0.4368	35.0650
Comercial 280 μ m	10%	0.9108	0.0926
	12.5%	0.7801	0.6773
	15%	0.6521	6.1257

Adicionalmente, el índice de consistencia (m) es mucho más alto en la muestra con pulpa por estar más estructurada, por lo tanto, el alto valor de (m) nos indica también mayor viscosidad. Así pues, la presencia de la pulpa en la cáscara, probablemente debido a un mayor contenido de pectina, proporciona una mayor viscosidad. Aunque no hay datos reportados específicamente para cáscara de naranja, éstos datos son parecidos para estudios realizados en jugo de naranja concentrado, donde los autores reportan valores de $n=0.683$, $m=2.51$ (Pa s^n) para jugo de naranja concentrado con 21.2% de pulpa y de $n=0.85$, $m=0.53$ (Pa s^n) para jugo concentrado sin pulpa (filtrado) (Amstalden, et al., 2001).

3.3.5.2. Efecto de la concentración sobre la viscosidad

En las Figuras 3.8 y 3.9 se aprecia claramente el efecto que tiene la concentración sobre la viscosidad en las dos muestras (con y sin pulpa) de fibra de cáscara de naranja a cuatro distintas concentraciones (7.5%, 10%, 12.5% y 15%), observándose un aumento de la viscosidad conforme aumenta la concentración. Esto puede explicarse por el hecho de que a bajas concentraciones, las moléculas están muy separadas y libres para moverse independientemente y por lo tanto no hay mucha fricción e interacción entre ellas. Cuando la concentración aumenta, las partículas están en contacto unas con otras teniendo menos espacio libre entre ellas y por lo tanto creando mayor fricción, provocando un aumento en la viscosidad. En el cuadro de parámetros reológicos (Tabla 3.10), se observa que la tendencia de los datos va de un comportamiento newtoniano prácticamente a menor concentración, a un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico conforme aumenta el contenido de sólidos. Es decir, que la pseudoplasticidad aumenta conforme aumenta la concentración. En el mismo cuadro se muestra el índice de consistencia (m), el cual también aumenta con respecto a la concentración. Esta tendencia es similar para estudios realizados en jugo de naranja concentrado (Amstalden, et al., 2001).

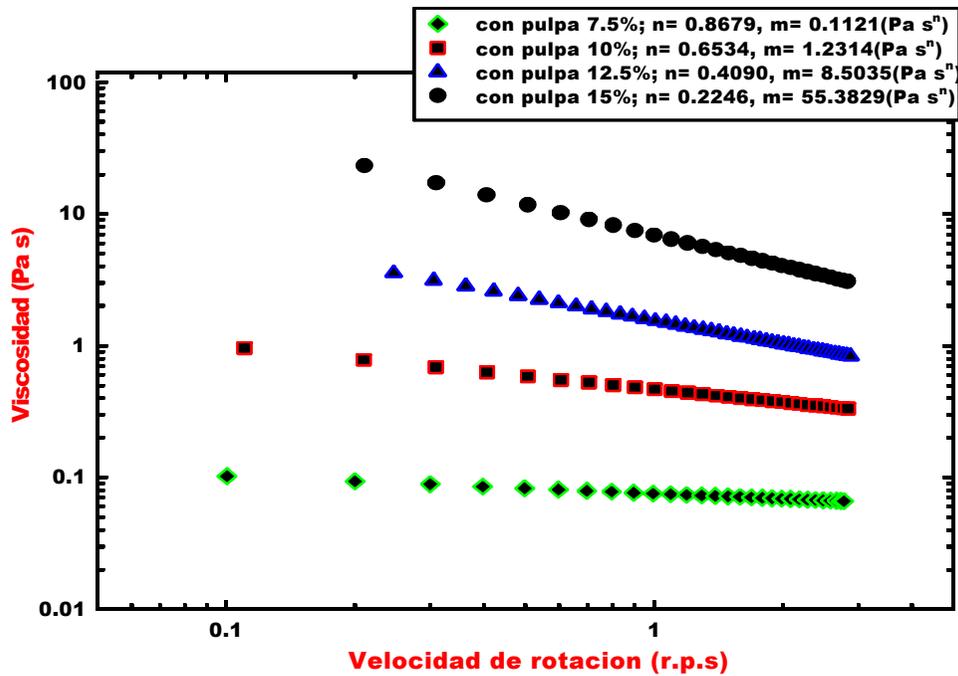


Figura 3.8. Comparación de curvas de viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja con pulpa

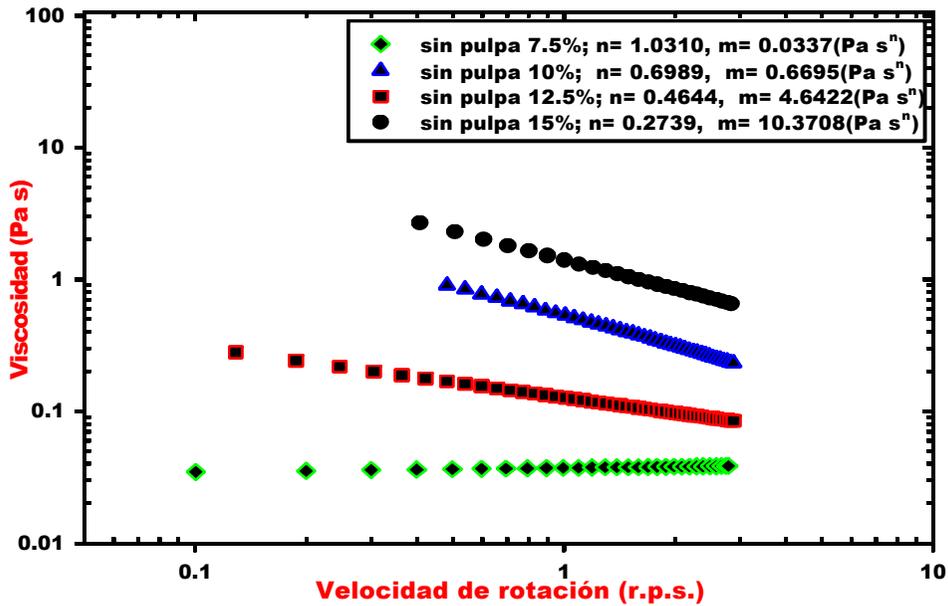


Figura 3.9. Comparación de curvas de viscosidad de proceso para muestras de fibra de cáscara de naranja sin pulpa

3.3.5.3. Efecto del tamaño de partícula sobre la viscosidad

En las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12, se presentan las curvas de viscosidad de la muestra experimental de cáscara de naranja con pulpa, con un tamaño aproximado de 180 μm (malla 80), y se compara con 2 muestras comerciales con diferentes tamaños de partícula, 35 μm y 280 μm , las cuales también contienen la pulpa. Se observa que al 10% y al 12.5% (Figura 3.10 y 3.11), los resultados de la muestra experimental de cáscara de naranja con pulpa, no son precisamente los esperados, ya que si se considera únicamente el tamaño de partícula se esperaría obtener curvas en donde la tendencia sería un aumento de la viscosidad conforme disminuye el tamaño de partícula. Sin embargo cuando la concentración es al 15% (figura 3.12), se observa un acercamiento de las curvas de la muestra experimental con pulpa con la muestra comercial de menor tamaño (35 μm). Por lo tanto, para analizar el efecto del tamaño de partícula sobre la viscosidad, primero se analizará el efecto que tiene el tamaño de partícula en las dos muestras comerciales y posteriormente lo analizaremos con respecto a la muestra experimental.

En las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12 se observa, el efecto del tamaño de partícula sobre la viscosidad en las muestras comerciales, donde la muestra con menor tamaño (35 μm) en las tres concentraciones, aporta una viscosidad mayor que la muestra con tamaño de partícula mayor (280 μm). Es decir que la viscosidad aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas. Esto se puede explicar de la siguiente manera, si tenemos dos muestras con la misma concentración de sólidos, pero con tamaños de partícula diferentes, las partículas más grandes van a ocupar menos espacio, porque al ser mas grandes tienen menos área, por lo tanto habrá menos fricción entre ellas y entonces, la viscosidad va a ser menor. En cambio las partículas pequeñas con la misma concentración, van a estar más compactas en el mismo volumen, es decir que con más partículas ocuparan el mismo espacio, si están mas compactas, la fricción entre partícula y partícula es mayor lo que dará como resultado un aumento en la viscosidad.

Analizando las propiedades de flujo de las muestras comerciales, la muestra de menor tamaño de partícula 35 μ m es más pseudoplástica ($n < 1$) que la de 280 μ m, esto es probablemente por el efecto mismo que da el tamaño tan pequeño de las partículas. Por otro lado, el índice de consistencia (m) es mayor en dicha muestra (35 μ m).

Analizando el comportamiento de la muestra experimental, en comparación con las muestras comerciales (Figura 3.10 y 3.11), posiblemente puede deberse a que la muestra con pulpa, independientemente del tamaño de partícula, al tener una fracción más alta de fibra dietética (76.529% FDT), respecto a las comerciales (60% FDT), da como resultado una mayor viscosidad debido a que se están agregando más partículas y por lo tanto, se observa un aumento también de la fase dispersa aumentando en consecuencia la viscosidad.

En la figura 3.11, donde la concentración es al 15%, la curva de viscosidad de la muestra comercial con el tamaño de partícula de 35 μ m, prácticamente se iguala a la curva de la muestra experimental con pulpa, esto probablemente se debe a que al aumentar la concentración, aumenta también la fase dispersa y a medida que la concentración de sólidos es mayor, básicamente se van a comportar de la misma manera, debido a que la viscosidad se va a volver una función de la concentración de sólidos, más que de la naturaleza de los mismos. En este caso, mientras la cantidad de sólidos es pequeña (10% y 12.5% p/v), la viscosidad no es tan dependiente de la fracción de sólidos, pero a medida que la fracción de sólidos aumenta (15%) entonces la viscosidad se dispara, es decir, que en dos muestras donde existen diferencias, a menor concentración de sólidos va a haber diferencias mas notorias, pero a medida que la concentración de sólidos aumenta, se van a comportar iguales y como se mencionó anteriormente, la viscosidad se va a volver una función de la cantidad de sólidos, más que de la naturaleza de los mismos. Analizando las propiedades de flujo de la muestra experimental, ésta resulta ser más pseudoplástica respecto a las muestras comerciales. El índice de consistencia (m) es mayor en ésta misma muestra.

Se puede concluir que la muestra de FD de naranja obtenida experimentalmente y en especial la FD de cáscara de naranja con pulpa, aportará una mayor viscosidad respecto a las muestras comerciales, esto resulta de interés cuando sea incorporada en formulaciones alimenticias.

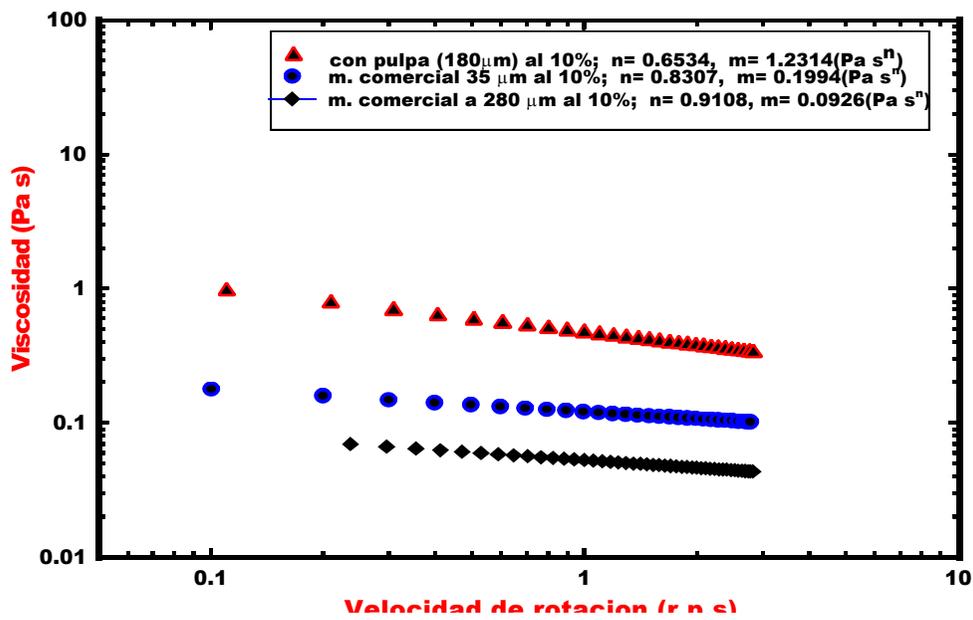


Figura 3.10. Comparación de curvas de viscosidad de proceso en muestras de fibra de cáscara de naranja experimental y comercial al 10% (p/v).

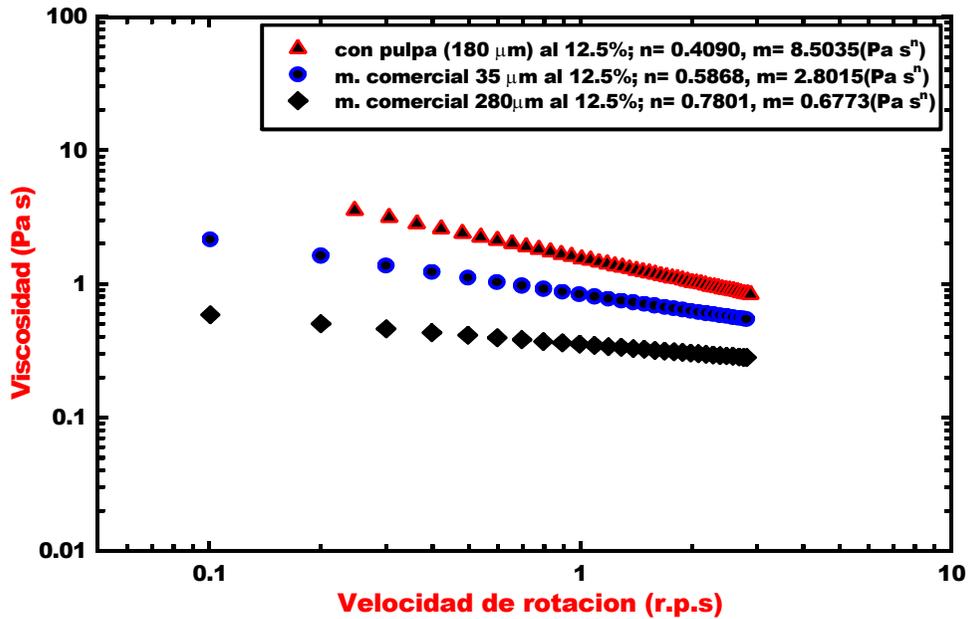


Figura 3.11. Comparación de curvas de viscosidad de proceso en muestras de cáscara de naranja experimental y comercial al 12.5% (p/v).

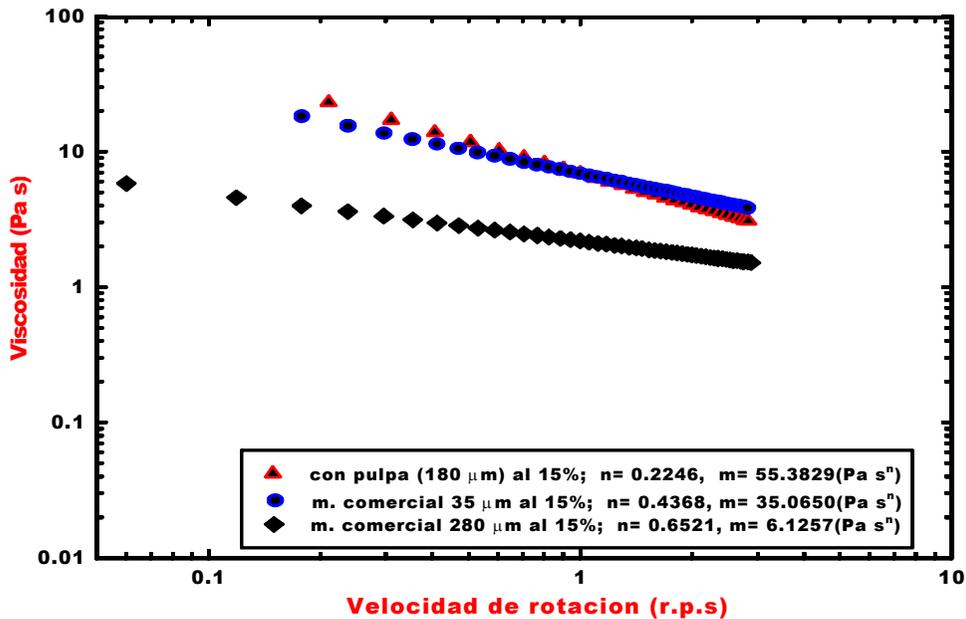


Figura 3.12. Comparación de curvas de viscosidad de proceso en muestras de cáscara de naranja experimental y comercial al 15% (p/v).

3.3.6. Capacidad de Emulsificación

Los resultados que muestran las propiedades emulsificantes de la FD de cáscara de naranja, en términos de capacidad de emulsificación, son presentados en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Capacidad de emulsificación de la FD de cáscara de naranja

Muestra	Capacidad de emulsificación (%)
Con pulpa	63.11
Sin pulpa	61.42

La capacidad de emulsificación de la muestra con pulpa (63.11%) es muy similar a la de la cáscara sin pulpa (61.42%). Estos valores son mayores a los reportados en la literatura para fibra de manzana (39.6% a 49.6%) (Grover et al., 2003) y mucho mayores para los reportados en arroz integral (14.43%) (Abdul et al., 2000). Los resultados sugieren que la FD de cáscara de naranja puede ser usada para ayudar a la estabilización de emulsiones en sistemas alimenticios.

3.3.6.1. Estabilidad de la emulsión mediante la determinación del tamaño de gota por difracción de rayo láser

Las emulsiones son mezclas líquido-líquido, con un líquido contenido en forma de gotas dentro de otro líquido, las propiedades de las emulsiones dependen en gran medida de la estructura de la gota, la cual está estabilizada por las moléculas emulsificantes. La distribución de tamaño de partícula (tamaño de gota), es un importante atributo para las emulsiones, la cual influye considerablemente en sus propiedades de estabilidad. Para medir la estabilidad de la emulsión de la fibra de cáscara de naranja, se utilizó un analizador que mide el tamaño de las partícula (Malvern Mastersizer 2000s), mediante la difracción de rayo láser, con el fin de determinar la distribución del tamaño de los glóbulo (gotas) de grasa, el área de superficie, así como su distribución de superficie y volumen, los resultados se muestran en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Distribución de tamaño de gota mediante el medidor de partícula para la FD de cáscara de naranja experimental con y sin pulpa.

	Con pulpa			Sin pulpa		
	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr
d(0,5) μm	75.632	76.763	78.376	78.157	76.564	84.142
d(0,9) μm	147.786	145.646	150.759	162.728	156.314	220.380
d(3,2) μm	19.008	19.047	19.856	17.453	18.666	20.620
d(4,3) μm	92.236	92.938	94.442	94.292	94.109	113.142
ASE m^2/g	0.316	0.315	0.302	0.304	0.297	0.274

Donde:

d(0,5) es el tamaño promedio de las partículas;

d(0,9) es el tamaño del 90% de las partículas en la muestra;

d(3,2) es el diámetro promedio de la distribución de superficie;

d(4,3) es el diámetro promedio de la distribución de volumen y;

ASE es el área superficial específica

En la Tabla 3.12, se presentan los resultados de la distribución de tamaño de partícula (DTP) a fin de determinar la estabilidad de la emulsión, ésta se analizó con respecto a 3 tiempos (0 hrs., 4 hrs. y 24 hrs.). No se observó variación en los valores de la emulsión formada con la muestra de FD de cáscara de naranja con pulpa, tanto en el área superficial y tamaño de la gota, como en la distribución de superficie y volumen, lo cual quiere decir que el diámetro de los glóbulos de grasa no presentaron cambios notables a lo largo del reposo, es decir que no se presentó agregación o coalescencia en la emulsión y por lo tanto, se puede concluir que la emulsión permaneció estable. Lo anterior, se puede confirmar con la curva de distribución de tamaño de partícula, mostrada en la Figura 3.13, en la cual no se observa variación alguna en relación al tiempo de reposo. La emulsión que contiene la FD de cáscara de naranja sin pulpa, aunque presenta ligeras variaciones en los valores de distribución de tamaño de gota a las 24 horas (tabla 3.12) no se consideran variaciones importantes, de acuerdo a la curva DTP (Figura 3.14), por lo que se puede decir que esta muestra también se mantuvo estable.

Los resultados de la distribución de tamaño de gota, sugieren que en términos de estabilidad de la emulsión no existen diferencias considerables en ambas muestras (con y sin pulpa), puesto que los valores son muy similares, es decir, que no se ve afectada la estabilidad de la emulsión por el contenido de fibra dietética. Esto también se puede corroborar con las curvas obtenidas de distribución de tamaño de partícula para las muestras con y sin pulpa (Figura 3.15 y 3.16), las cuales no presentan diferencias considerables.

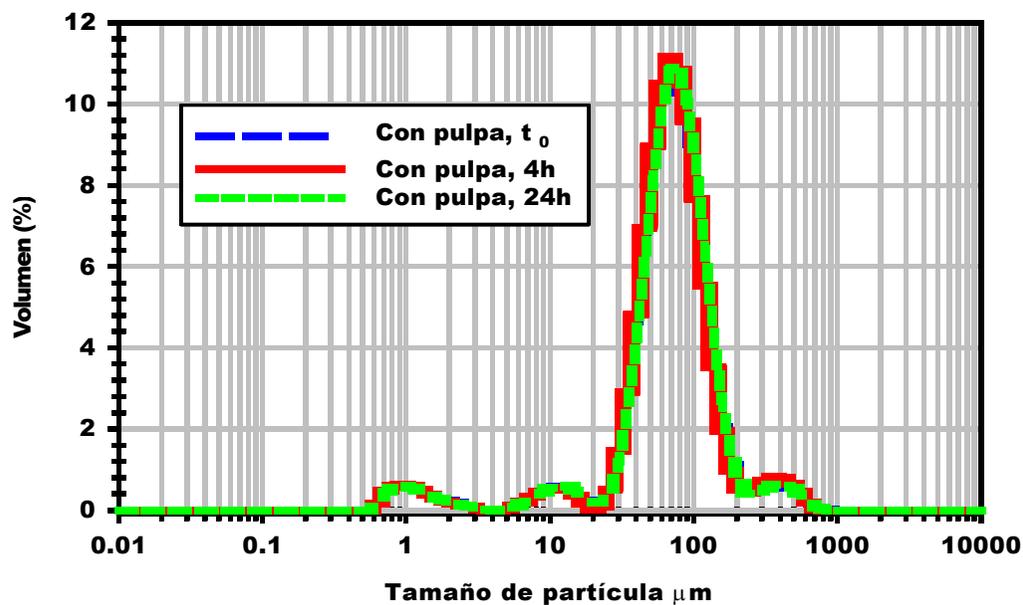


Figura 3.13. Distribución de tamaño de partícula de FD de cáscara de naranja con pulpa respecto al tiempo de reposo

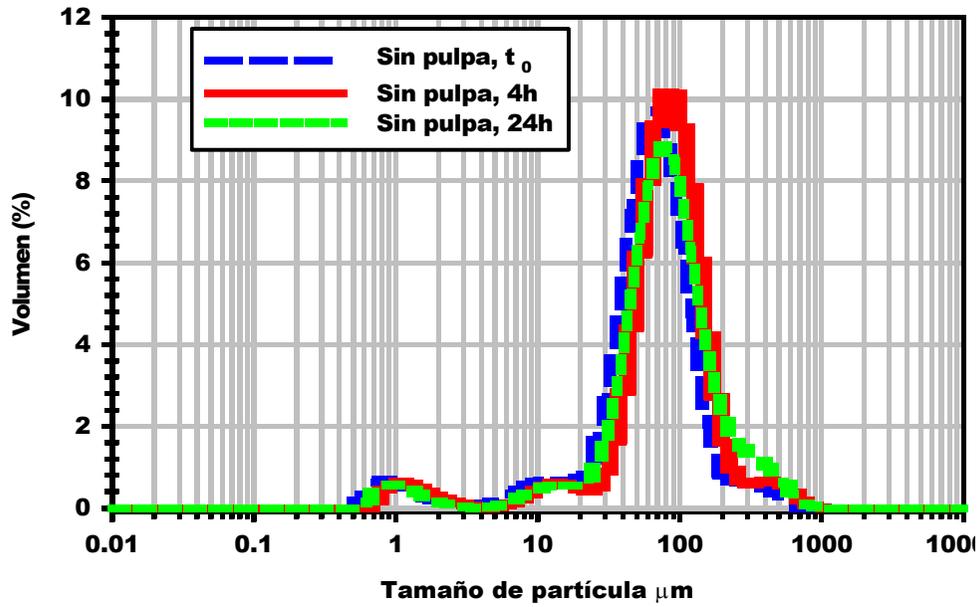


Figura 3.14. Distribución de tamaño de partícula de FD de cáscara de naranja sin pulpa respecto al tiempo de reposo

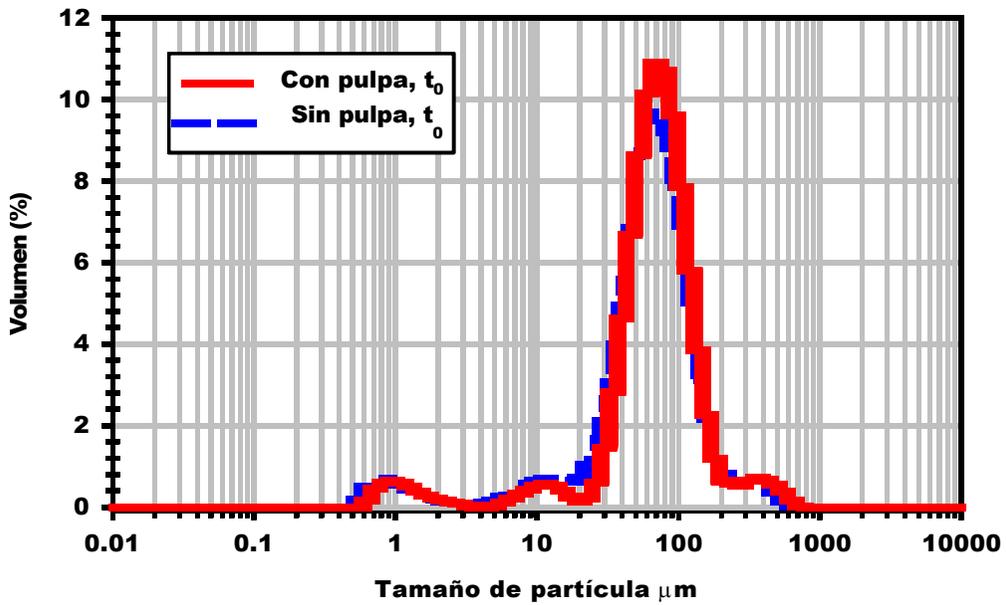


Figura 3.15. Distribución de tamaño de partícula FD de cáscara de naranja con pulpa y sin pulpa al t₀ de reposo

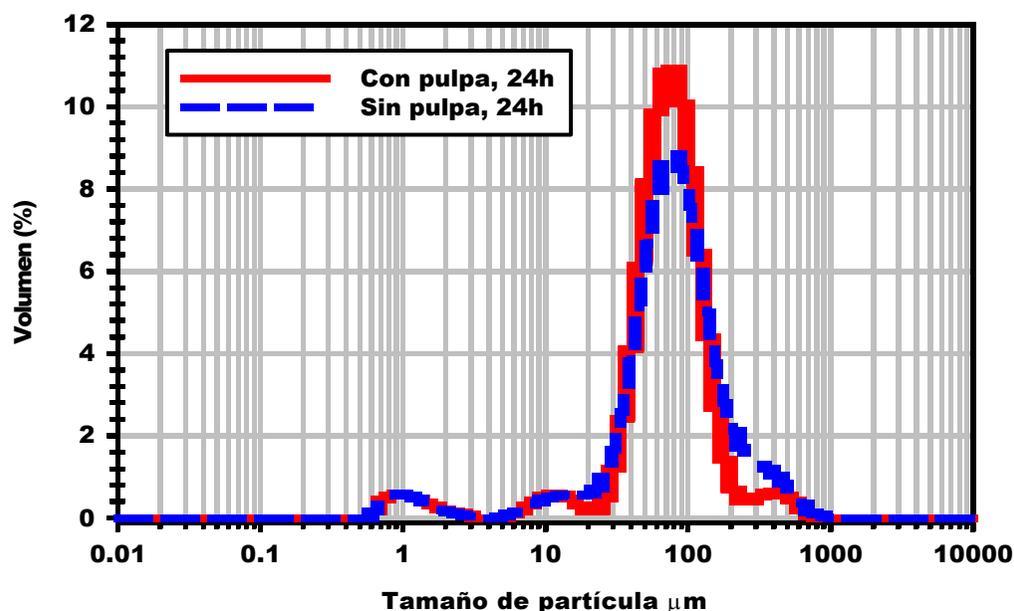


Figura 3.16. Distribución de tamaño de partícula FD de cáscara de naranja con pulpa y sin pulpa a 24 h de reposo

3.3.6.2. Efecto del tamaño de partícula en la estabilidad de la emulsión.

En la Tabla 3.13 se presenta los resultados de capacidad de emulsificación para la muestra con pulpa (180 μm) obtenida experimentalmente y dos muestras comerciales con diferente tamaño de partícula (280 μm y 35 μm). Los resultados indican que la FD de cáscara de naranja con pulpa presenta mayor capacidad de emulsificación que ambas muestras comerciales. Analizando simplemente las muestras comerciales vemos el efecto que tiene el tamaño de partícula en las propiedades de emulsificación, los resultados indican que a medida que disminuye el tamaño de partícula, aumenta la CE, lo cual probablemente se debe a que durante la reducción del tamaño de las partículas la exposición de algunas moléculas hidrofóbicas aumentan, mientras que disminuyen algunas hidrofílicas, esto se puede confirmar con los resultados de CRA (ver Figura 3.3), en los cuales ocurre el efecto contrario, pues conforme disminuye el tamaño de partícula, los valores de CRA también disminuyen. El valor de CE aumenta de 50.22% para la muestra de 280 μm , a 58.51% para la muestra de 35 μm . Se han reportado

valores de capacidad de emulsión para fibra de manzana con distintos tamaños de partícula donde los valores siguen la misma tendencia (43.8% para malla 30 aprox. 600 μm y 49.8% para malla 50, aprox. 350 μm), (Abdul et al., 2000)

Tabla 3.13. Capacidad de emulsificación de la FD de cáscara de naranja comparada con la FD de naranja comercial

Muestra	Capacidad de emulsificación (%)
Comercial 280 μm	50.22
Con pulpa 180 μm	63.11
Comercial 35 μm	58.51

Los resultados de la distribución de tamaño de partícula analizados para determinar la estabilidad de la emulsión (Tabla 3.14), presentan una notable diferencia especialmente en las muestras comerciales, por el efecto del tamaño de partícula. La muestra con el tamaño de partícula más grande (280 μm) presenta variaciones mayores en los valores con respecto al tiempo de reposo, tanto para el diámetro promedio, como para la distribución de superficie y volumen, pero sobre todo para el área superficial específica (ASE), lo cual resulta lógico si se están interaccionando y agregando las gotas en la fase dispersa. La disminución en el valor de ASE (de 0.183 a 0.130), y el aumento de diámetro promedio, después de las 24 horas de reposo, nos indica que probablemente la emulsión se desestabilizó ligeramente por agregación, la cual es provocada por la agrupación de gotas de aceite hasta la formación de otra de mayor tamaño, donde los glóbulos de grasa se unieron disminuyendo su área de superficie y aumentando su volumen y el diámetro de las gotas. Esto también se puede observar en la distribución de la Figura 3.17, donde después de las 24 horas de reposo la curva de DTP, se desplaza ligeramente hacia la derecha, es decir, que los glóbulos de grasa al agregarse, aumentaron de tamaño. Por otro lado, no se observó variación considerable en los valores de la muestra de 35 μm respecto al tiempo de reposo, esto quiere decir que los glóbulos de grasa formados en la emulsión, no sufrieron cambio del área interfacial y al ser más pequeños, aportaron mayor estabilidad a la emulsión, lo cual se ve reflejado tanto por el alto valor de ASE, que presento esta muestra como por la

mínima variación que existe en los valores respecto al tiempo de reposo, además de que no existen diferencias en las curvas de DTP, observadas en la Figura 3.18. Por lo tanto, se puede decir que la emulsión formada con la muestra de menor tamaño de partícula (35 μ m) resultó ser más estable.

Tabla 3.14. Distribución de tamaño de gota mediante el medidor de partícula en la FD de cáscara de naranja experimental comparada con las comerciales

FD de naranja experimental (con y sin pulpa)						
	Con pulpa			Sin pulpa		
	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr
d(0,5) μm	75.632	76.763	78.376	78.157	76.564	84.142
d(0,9) μm	147.786	145.646	150.759	162.728	156.314	220.380
d(3,2) μm	19.008	19.047	19.856	17.453	18.666	20.620
d(4,3) μm	92.236	92.938	94.442	94.292	94.109	113.142
ASE m²/g	0.316	0.315	0.302	0.304	0.297	0.274

FD de naranja comercial						
	280 μm			35 μm		
	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr	t=0 hrs	t=4 hrs	t=24 hr
d(0,5) μm	103.564	116.380	154.761	50.123	51.937	52.833
d(0,9) μm	321.569	351.123	451.368	128.894	130.550	131.739
d(3,2) μm	31.584	37.786	46.061	21.021	21.705	22.015
d(4,3) μm	114.258	156.231	204.615	63.321	64.253	66.457
ASE m²/g	0.183	0.159	0.130	0.280	0.276	0.273

Lo anterior se puede corroborar con las curvas obtenidas en la distribución de tamaño de partícula, mostradas en la Figura 3.19, en las cuales la fibra de 35 μ m tiene un pico más angosto, es decir que la distribución del tamaño de las partículas es más uniforme y en consecuencia la emulsión es más estable. De acuerdo a los resultados obtenidos con las muestras comerciales, se sugiere que la FD de naranja de menor tamaño de partícula (35 μ m), aporta mayor estabilidad a la emulsión.

Comparando los resultados de la muestra experimental con los de las muestras comerciales, se observa que no hay una relación respecto al efecto del tamaño de partícula, puesto que en las curvas de distribución de tamaño de gota (Figura 3.19), las

muestras experimentales presentan un pico más alto, además de que el área superficial de estas muestras, es mayor que el de las dos muestras comerciales, y por lo tanto, las muestras experimentales obtuvieron mejores resultados en cuanto a la estabilidad de emulsión.

Se sugieren algunos aspectos que pudieron haber influido en estos resultados, el primero puede ser debido a que posiblemente las muestras comerciales fueron procesadas de manera diferente, o quizá a que se le adicionaron otros ingredientes (p. ejem. enzimas, sales, etc.) que modificaron los valores de área superficial y propiedades de emulsificación, pero eso tiene que ver exclusivamente con la naturaleza química de los ingredientes incorporados a este tipo de fibras comerciales.

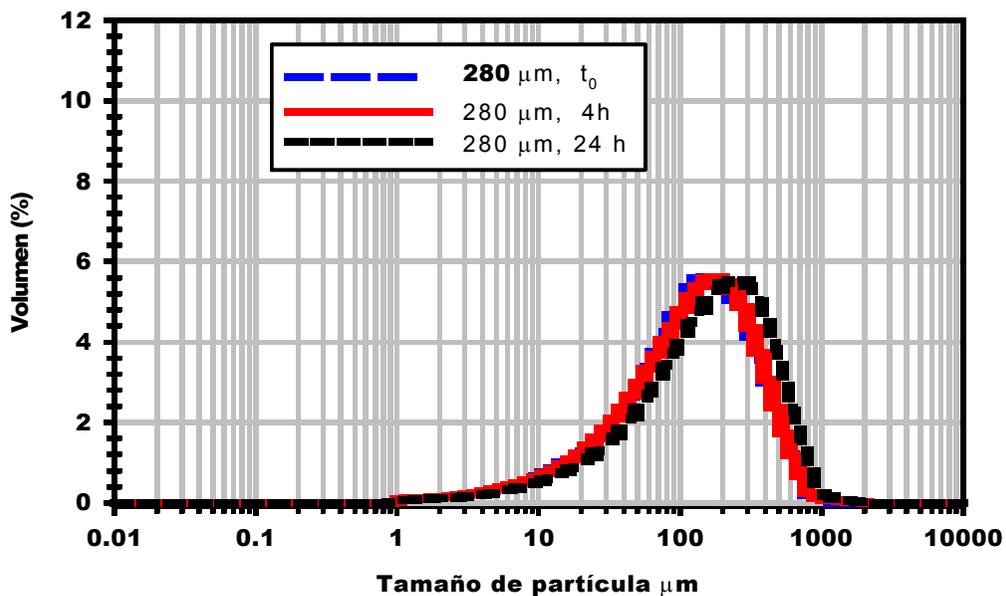


Figura 3.17. Distribución de tamaño de partícula de muestra comercial 280 μm respecto al tiempo de reposo

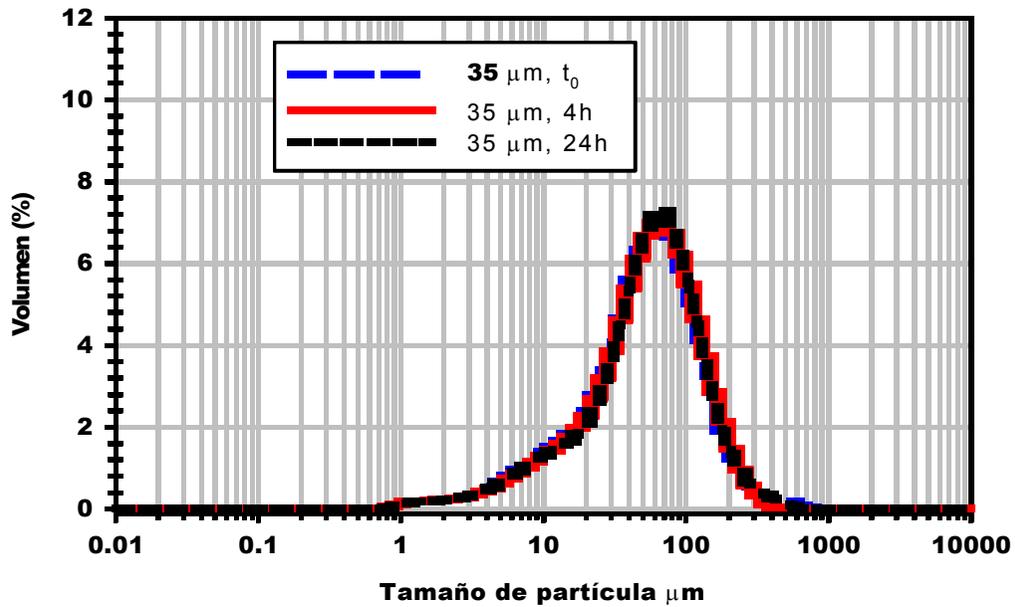


Figura 3.18. Distribución de tamaño de partícula de muestra comercial 35 μm respecto al tiempo de reposo

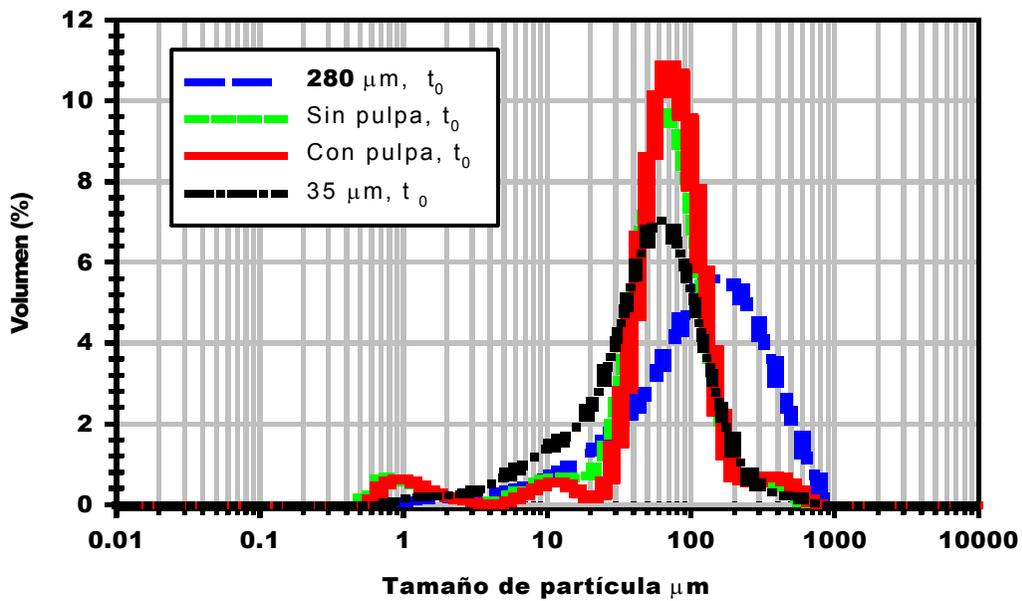


Figura 3.19. Distribución de tamaño de partícula de muestras experimentales con y sin pulpa y muestras comerciales, 35 μm y 280 μm.

CAPÍTULO 4.

CONCLUSIONES

- La cáscara de naranja es una excelente fuente de FD (53.7-76.6% FDT), con un balance adecuado de las fracciones soluble e insoluble (relación FDI/FDS 1.87-2.47) y por lo tanto, desde el punto de vista nutricional, resultaría interesante su incorporación en formulaciones alimenticias.
- La FD de cáscara de naranja presenta un elevado contenido de fibra dietética soluble (15.5-26.9%) en comparación con otras fuentes de fibra como cereales (0.4-3.6%).
- La FD de cáscara de naranja con pulpa posee un mayor contenido de fibra dietética soluble con respecto a la FD de cáscara de naranja sin pulpa, lo cual favorece en las propiedades funcionales.
- La FD de cáscara de naranja presenta altos valores en las propiedades de hidratación, lo cual sugiere que puede utilizarse como ingrediente funcional para reducir calorías y modificar la textura de los alimentos.
- El tamaño de partícula influye en las propiedades de hidratación y capacidad de absorción de aceite, disminuyendo éstas propiedades a medida que disminuye el tamaño de la partícula.
- La presencia de pulpa en la cáscara de naranja ayuda a incrementar las propiedades reológicas (viscosidad) debido al mayor contenido de fibra dietética, sobre todo de la fracción soluble.
- En términos de estabilidad de emulsión, no hay diferencia considerable entre la fibra de cáscara de naranja con pulpa y sin pulpa, por lo tanto la estabilidad de la emulsión es independiente del contenido de fibra dietética.

- El tamaño de partícula influye tanto en la viscosidad como en la estabilidad de emulsión, obteniéndose mejores resultados con la fibra de naranja comercial de menor tamaño (35 μ m).
- La fibra de cáscara de naranja obtenida en este trabajo, presenta mejores resultados en cuanto a viscosidad y estabilidad de emulsión que la FD de las muestras comerciales.
- Los resultados sugieren como una alternativa interesante y prometedora, la incorporación de FD de naranja como fuente de fibra dietética en formulaciones alimenticias, principalmente por las propiedades funcionales que imparte.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. Abdul-Hamid, A. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. Food Chemistry, 68: 15-19.**
- 2. Alvarado JD, Aguilera JM, (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos; Editorial Acribia, Zaragoza España.**
- 3. Amstalden I. C., Gasparetto C. A. (2001), Rheological models for orange juice: combined effects of temperature and concentration on the rheological constants; Alimentaria, enero-febrero: 123-126.**
- 4. AOAC, (1989). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14ª edition, U.S.A.**
- 5. AOAC, (1995). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15ª edition, U.S.A.**
- 6. Aravantinos-Zafirios G, Oreopoulou V., (1994), Fibre Fraction from Orange Peel Residues after Pectin Extraction; Lebensm Wiss. U- Technol, 27: 468-471.**
- 7. ASERCA, (1995). La naranja en la citricultura nacional. Revista Claridades Agropecuarias, No. 19, marzo: 4-13.**
- 8. ASERCA, (2003). Eslabonamientos productivos entre la industria y el sector primario, una propuesta de medición: el caso de la cadena naranja-jugo concentrado en México. Revista Claridades Agropecuarias, No. 119, julio: 42-49.**
- 9. Auffret A., Ralet M-C, Guillon F., (1994), Effect of Grinding and Experimental Conditions on the Measurement of Hydration Properties of Dietary Fibers ; Lebensm Wiss. a- Technol, 27: 166-172,.**

- 10. Barbosa-Cánovas, G., Ibarz A., Peleg M., (1993). Propiedades Reológicas de alimentos fluidos. Revisión; Alimentaria, abril: 39-56.**
- 11. Barroto, B.; Rodríguez, J. L.; Larrauri, J.A. (1995). Composición química de la fibra dietética obtenida a partir de hollejos cítricos durante su cosecha; Alimentaria, septiembre: 63-65.**
- 12. Braddock R.J., (1983). Utilization of citrus juice vesicle and peel fiber; Food Technology, diciembre: 85-87.**
- 13. Braddock RJ, Crandall PG, (1981), Carbohydrate Fiber from Orange Alvedo; Journal of Food Scienc, 46: 650-654.**
- 14. Brito de la Fuente, E.; Nava, J. A.; Lopez, L.M.; Medina, L; Ascaino, G.; Tanguy, P. A. (1998). Process viscometry of complex fluids and suspensions with helical ribbon agitators. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 76: 689-695.**
- 15. Brito de la Fuente, E.; Leuliet, J. C.; Choplin, L.; Tanguy, P. A. (1992). On the effect of shear thinning behavior on mixing with a helical ribbon impeller. Aiche Symp. Series: 28-31.**
- 16. Coronas Alonso, (1991). Manual práctico de dietética y nutrición. 1ª edición. Barcelona. Editorial JIMS S.A. pág. 9-20.**
- 17. Cortez, Q. V. (1998). Emulsificantes y su aplicación en la industria de Alimentos. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM.**
- 18. Coultate T.P.(1998). Manual de química y bioquímica de los alimentos; 2a. edición, Editorial Acribia, Zaragoza España; pág. 44-49**
- 19. Chen JY, Piva M, Labuza TP. (1984). Evaluation of Water Binding Capacity (WBC) of Food Fiber Sources. Journal of Food Science, 49: 59-63.**

- 20. Diaz M.M, (1996), Diferentes fuentes de fibra dietética en México, su composición, propiedades fisicoquímicas y posibles aplicaciones; Tesis Licenciatura, UNAM, México, D.F.**
- 21. Dreher, M.L.(1987), Handbook of Dietary Fiber: An Applied Approach, Marcel Dekker, INC. Nueva York: 137-175.**
- 22. Fernández-López, J.; Fernández-Ginés, J.M.; Aleson-Carbonell, L.; Sayas-Barberá, E.; Pérez-Álvarez, J.A. (2003). Application of functional citrus by-products to meat products. Food Science and Technology.**
- 23. García, A. M., De la Cruz, M. J. (1993). Modelación de las propiedades termodinámicas y de transporte involucradas en la deshidratación comercial de mango Manila.**
- 24. Geankoplis, C. J., (1995). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Editorial Continental, México.**
- 25. Grigelmo-Miguel, N; Martin-Belloso, O. (1999a). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. Food Research International, 31(5): 355-361.**
- 26. Grigelmo-Miguel, N; Martin-Belloso, O. (1999b). Comparison of Dietary Fiber from by-products of processing fruits and greens and from cereals. Lebensm-Wiss.U.-Technol, 32; 503-508.**
- 27. Grover, S.S.; Chauhan, G.S.; Masoodi, F.A. (2003). Effect of particle size on surface properties of apple pomace. International Journal of Food Properties, 6(1): 1-7.**

- 28. Guillon F., Champ M., (2000), Structural and physical properties of dietary fibers, and consequences of processing on human physiology; Food Research International, 33; 233-245.**
- 29. Kefford J. F., Chandler B. V. (1970). The chemical constituents of citrus fruit. Editorial Academic Press, London.**
- 30. Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products. Food Science and Technology, 10; 3-8.**
- 31. Lewis, M. J. (1993). Propiedades Físicas de los Alimentos y de los sistemas de procesado. Editorial Acribia.**
- 32. Macrae R, Robinson, Sadler. (1993). Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition, Volume Two; Academic Press, San Diego California, USA.**
- 33. Melton, L (1992). A review of recent developments in dietary fiber with emphasis on the plant cell walls of fruit and vegetables. The Food Technologist.**
- 34. Mollá, E.; Esteban, M.; Valiente, C.; Lopez-Andréu, F.J. (1994). Contenido de fibra alimentaria en los subproductos procedentes de la industria cervecera y de la industria de cítricos. Alimentaria; abril; 61-64.**
- 35. Moreno, A. M., Machado, A., Padrón, A. (2004). Evaluación microbiológica y fisicoquímica de bebidas pasteurizadas fortificadas con extractos de desechos desodorizados de naranja. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN), Caracas, 54 (3).**

- 36. Ortega, C. A. (2004). Estudio de secado convectivo y osmótico aplicados a nopal (*Opuntia* spp.) y efectos en las propiedades mecánicas; Tesis Licenciatura, Fac. Química, UNAM.**
- 37. Periago, M.J.; Ros, G.; López, G.; Martínez, C.; Rincón, F. (1993). Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 33: 229-245.**
- 38. Prosky, L., Asp, N. -G., Scheweizer, T. F., DeVries, J. W. and Frida, (1988) Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods products: interlaboratory study. J. Association of Official Analytical Chemists. 71(5): 1017-1023.**
- 39. Redondo Márquez. (1999), La fibra terapéutica. Barcelona. Glosa Ediciones, pág. 11-131.**
- 40. Robertson, J.A., Mondredon F.D. Dysseler P; Guillon Thibault (2000). Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: a European Collaborative Study. IWT, 33: 73-79.**
- 41. Schieber A., Stintzing FC., Carle R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds, recent developments; Trens in Food Science & Technology; 12: 401-413.**
- 42. Thebaudin, J.Y.; Lefebvre, A.C.; Harrington, M.; and Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibers: Nutritional and technological interest. Food Science and Technology; 8: 41-48.**
- 43. Yasumatsu, K.; Sawada; Moritaka, S.; Misaki, M.; Toda, J. (1972). Wipping and emulsifying properties of soybean products. Agricultural Biological Chemistry. 36: 719-727.**

Apéndice A.

Programa MATHCAT para estimar las curvas de secado de los datos experimentales [tiempo vs. Peso total].

Por. Dr. Edmundo Brito-de la Fuente, 2002

1. Read data from an experimental data file & enter other data.

The data file is written in Excel format

ENTER HERE THE EXCEL FILE & PATH

dat:=



C:\..\Secado.naranja1.xls

n := 16

ENTER HERE THE NUMBER OF DATA POINTS

i := 0..n - 1

j := 0.. 1

time_i := dat_{i,0}

weight_i := dat_{i,1}

time_{n-1,0} = 5

weight_{n-1,0} = 0.06

L_s := 0.0616

ENTER HERE THE DRY WEIGHT L_s

ENTER HERE THE TOTAL DRYING AREA

A := 0.057

2. Transform raw total weight into dry basis weight [X] & free water weight [X*].

NOTE: THE EQUILIBRIUM VALUE IS TAKEN AS THE LAST EXPERIMENTAL VALUE

$$X_1 := \frac{\text{weight}_1 - L_s}{L_s}$$

time_{n-1} = 5

X_{n-1} = -0.0266061

XX₁ := X₁ - X_{n-1}

3. Process free water weight [X*] to estimate Drying rates.

t_{fin} := time_{n-1}

t := 0.1, 0.2.. t_{fin}

vx_i := time_i

vy_i := XX_i

vs := lspline(vx, vy)

f(t) := interp(vs, vx, vy, t)

NOMENCLATURE

time = experimental time values - hr

XX = experimental free water content [considering equilibrium value] - kg water/kg DS

DS = dry solids

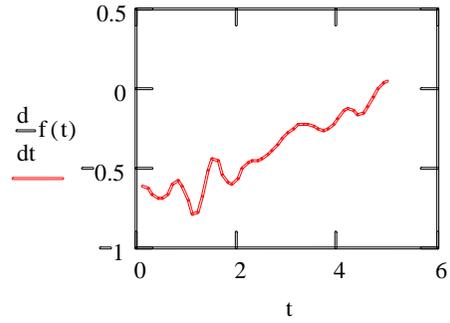
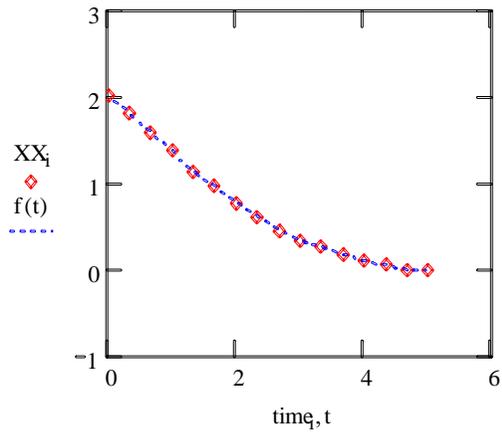
t = estimated time function - hr

f(t) = estimated XX values - kg water/kg DS

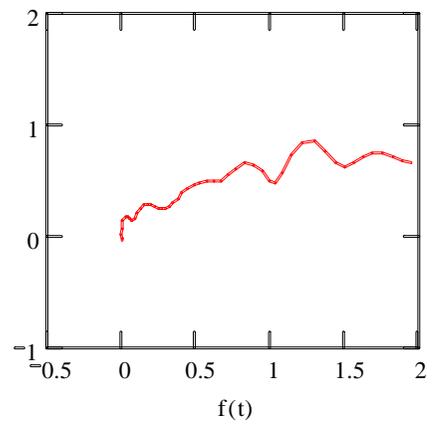
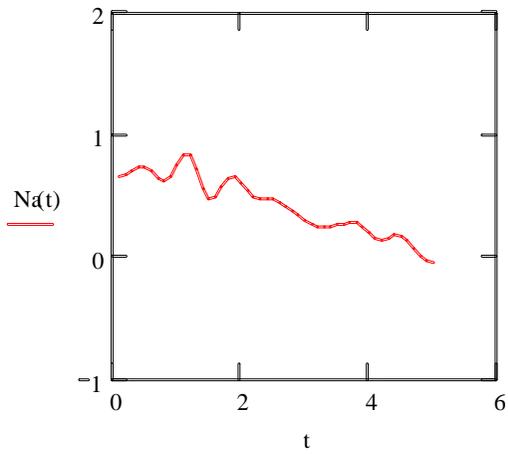
Na(t) = estimated drying rate - kg water/hr m²

time _i =	weight _i =	X _i =	XX _i =	f(t) =	Na(t) =
0	0.184	1.9850746	2.0116807	1.9504191	0.6575536
0.3333333	0.171	1.7741726	1.8007787	1.8879654	0.676624
0.6666667	0.157	1.5470474	1.5736535	1.8231273	0.708408
1	0.1444	1.3426347	1.3692408	1.7549362	0.7421826
1.3333333	0.129	1.0927969	1.119403	1.6850209	0.7430975
1.6666667	0.119	0.9305646	0.9571707	1.6166862	0.708472
2	0.107	0.7358858	0.7624919	1.553208	0.6437352
2.3333333	0.097	0.5736535	0.6002596	1.4944686	0.6194638
2.6666667	0.088	0.4276444	0.4542505	1.4350898	0.657374
3	0.081	0.3140818	0.3406879	1.3692408	0.7574657
3.3333333	0.076	0.2329656	0.2595717	1.2935545	0.8409135
3.6666667	0.071	0.1518494	0.1784555	1.2145194	0.8288918
4	0.066	0.0707333	0.0973394	1.1410877	0.7214008
4.3333333	0.063	0.0220636	0.0486697	1.0813534	0.5596267
4.6666667	0.06	-0.0266061	0	1.0334333	0.4774251
5	0.06	-0.0266061	0	0.9890078	0.4850926
				0.9397345	0.5744919
				0.8823582	0.6398382
				0.8215081	0.6485824
				0.7624919	0.6007244
				0.7093507	0.5367798
				0.6610603	0.4972639
				0.61533	0.4821767
				0.5700428	0.4831819
				0.5251011	0.473186
				0.4817102	0.4501049
				0.4410897	0.414659
				0.4040085	0.3762155
				0.3705376	0.3376564
				0.3406879	0.2989818
				0.3142565	0.2670231
				0.2901868	0.2486118
				0.2672083	0.2437479

$$Na(t) := -\left(\frac{L_s}{A}\right) \cdot \frac{d}{dt}f(t)$$



THE EXPERIMENTAL READED & ESTIMATED VALUES:



Apéndice B.

Hoja de resultados del análisis de la distribución de tamaño de partícula por difracción de rayo láser, mediante el analizador de partículas, Malvern Mastersizer 2000.



MASTERSIZER

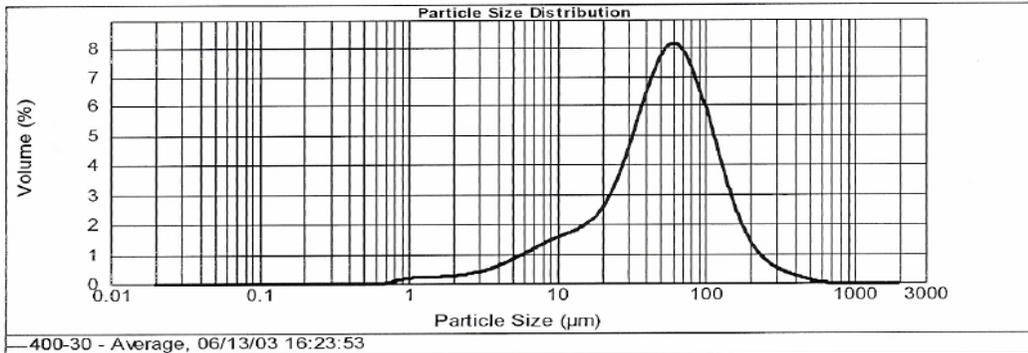


Result Analysis Report

Sample Name: 400-30 - Average SOP Name: Vero Measured: 06/13/03 16:23:53
 Sample Source & type: Factory = Paris Measured by: lab113 Analysed: 06/13/03 16:23:55
 Sample bulk lot ref: dia2r2 Result Source: Averaged

Particle Name: Default Accessory Name: Hydro 2000S (A) Obscuration: 12.78 %
 Particle Rt: 1.520 Absorption: 0.1 Analysis model: General purpose (spherical)
 Dispersant Name: Water Size range: 0.020 to 2000.000 um Weighted Residual: 0.197 %
 Dispersant Rt: 1.330 Result Emulation: Off

Concentration: 0.0408 %Vol Vol. Weighted Mean D[4,3]: 66.457 um Specific Surface Area: 0.273 m²/g
 Span : 2.287 Uniformity: 0.74 Surface Weighted Mean D[3,2]: 22.015 um
 Result units: Volume
 d(0.1): 10.894 um d(0.5): 52.833 um d(0.9): 131.739 um



Size (µm)	Volume n%										
0.010	0.00	0.105	0.00	1.066	0.17	11.482	1.54	120.226	3.55	1256.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.19	13.183	1.66	138.038	2.66	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.19	15.136	1.83	158.480	1.92	1659.597	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.21	17.378	2.08	181.970	1.35	1900.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.23	19.953	2.46	208.930	0.85	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.26	22.909	2.99	238.883	0.66	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.30	26.303	3.65	275.423	0.48	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.36	30.200	4.49	316.228	0.35	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.44	34.674	5.36	363.078	0.26	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.54	39.811	6.18	416.969	0.16	4305.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.65	45.709	6.85	478.630	0.09	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.78	52.481	7.24	545.541	0.02	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.92	60.266	7.29	630.967	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.06	69.183	6.98	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.04	7.586	1.20	79.433	6.36	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.10	8.710	1.32	91.201	5.80	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.956	0.15	10.000	1.43	104.713	4.52	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.15	11.482	1.43	120.226	4.52	1259.925	0.00		

Operator notes:

