



**Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA
Y NUTRIMENTAL DEL RESIDUO
AGROINDUSTRIAL PROVENIENTE
DE LA INDUSTRIA PRODUCTORA
DE SIDRA DE MANZANA (*Pyrus malus L.*)
DEL ESTADO DE PUEBLA”**

TESIS PROFESIONAL

**Que para obtener el Grado de:
LIC. EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

Presenta:

CECILIA JUÁREZ HERNÁNDEZ

Director de Tesis:

DRA. MARÍA ELENA RAMOS CASSELLIS

Co-Director de Tesis:

DR. JAVIER MARTÍNEZ JUÁREZ

Puebla, Pue. Enero 2016



BUAP

Oficio No. FIQ/AC/1256/2015

Asunto: Modificación de Registro de Tema de Tesis

C. CECILIA JUÁREZ HERNÁNDEZ
PASANTE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS
PRESENTE:

Por medio del presente me permito informarle, de la modificación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y NUTRIMENTAL DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DEL BAGAZO DE SIDRA DE MANZANA (*Pyrusmalus L.*) DE LA INDUSTRIA PRODUCTORA DE SIDRA DE MANZANA DEL ESTADO DE PUEBLA”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis
Co- Director de Tesis: Dr. Javier Martínez Juárez (ICUAP)

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

ATENTAMENTE
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”
H. Puebla de Z., 04 de noviembre del 2015


M.L.C. MA. GPE. TITA VAZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARIA ACADÉMICA



C.c.p Director de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis
Co- Director de Tesis: Dr. Javier Martínez Juárez (ICUAP)
Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00
Ext. 7250 y 7251



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA

C.P. José Juan Morales Rodríguez
Director de la Administración Escolar
De la BUAP.
Presente

ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESIS

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería

Cecilia Juárez Hernández

Quién presenta como tema de tesis:

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y NUTRIMENTAL DEL RESIDUO
AGROINDUSTRIAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA PRODUCTORA DE SIDRA
DE MANZANA (*Pyrus malus L.*) DEL ESTADO DE PUEBLA**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

“Pensar Bien, para Vivir Mejor”

H. Puebla de Z., a 14 de enero de 2016

Director de Tesis
Dra. María Elena Ramos Cassellis

ÍNDICE GENERAL

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
HIPÓTESIS	13
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	14
1.1 Generalidades de la manzana	14
1.1.1 Definición de fruta	14
1.1.2 Origen de la manzana	15
1.1.3 Descripción y ubicación taxonómica	15
1.2 Residuos agroindustriales	17
1.2.1 Conceptos generales de agroindustria, residuo agroindustrial y desecho	17
1.2.2 Residuos orgánicos	18
1.2.3 Residuos agroindustriales en México	18
1.2.4 Residuos agroindustriales de la sidra de manzana	18
1.2.5 Alternativas de usos para los subproductos de industrias procesadoras de alimentos	21
1.3 Fibra	21
1.3.1 Definición	21
1.3.2 Clasificación	23
1.3.3 Composición química	24
1.3.4 Procedimientos analíticos para su determinación	27
1.3.5 Obtención de fibra alimentaria a partir de frutas	29

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	32
2.1 Diagrama general	32
2.2 Obtención de la materia prima	33
2.3 Lavado y desinfección	33
2.4 Escaldado	34
2.5 Secado	34
2.6 Molienda	35
2.7 Tamizado y tamaño de partícula.....	35
2.8 Análisis físico-químico	36
2.8.1 pH.....	36
2.8.2 Acidez titulable	36
2.8.3 ° Brix.....	37
2.9 Análisis químico proximal.....	38
2.9.1 Determinación de humedad.....	38
2.9.2 Cenizas	39
2.9.3 Proteínas	39
2.9.4 Extracto etéreo	40
2.9.5 Carbohidratos totales	40
2.9.6 Compuestos fibrosos.....	41
2.9.6.1 Fibra dietaria total (FDT).....	41
2.9.6.2 Fibra cruda	44
2.9.6.3 Fibra detergente neutra (FDN)	45
2.9.6.4 Fibra detergente ácida (FDA)	46
2.9.6.5 Lignina residual	47
2.9.6.6 Difracción de rayos X.....	48

2.10 Análisis microbiológico.....	48
2.10.1 Determinación de mohos y levaduras	48
2.10.2 Determinación de coliformes totales.....	49
CAPÍTULO III: RESULTADOS	50
3.1 Secado de los residuos.....	50
3.2 Molienda, tamizado y tamaño de partícula	52
3.3 Análisis físico-químico	52
3.4 Análisis químico promixal.....	56
3.5 Análisis de compuestos fibrosos.....	61
3.5.1 Fibra dietaria total (FDT)	61
3.5.2 Fibras detergentes.....	65
3.5.3 Difracción de rayos X	72
3.6 Análisis microbiológico.....	73
3.6.1 Determinación de mohos y levaduras	73
3.6.2 Determinación de coliformes totales.....	74
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Corte longitudinal de una manzana.....	16
2. Partes de la pared celular	26
3. Estructura de la pared celular	27
4. Diagrama de bloques de la metodología de análisis.....	32
5. Recolección de la materia prima	33
6. Lavado y desinfección del residuo de bagazo de manzana	33
7. Escalde de los residuos	34
8. Secado de la materia prima en horno digital	34
9. Molienda de la materia seca	35
10. Tamizado y tamaño de partícula de la materia seca	35
11. Medición de pH de la muestra	36
12. Determinación de acidez titulable en polvo de fibra	37
13. Medición de °Brix de la fibra	37
14. Determinación de azúcares reductores	38
15. Determinación de contenido de humedad en fibra.....	39
16. Determinación de cenizas en fibra	39
17. Sistema micro Kjeldahl	40
18. Sistema Soxhlet	40
19. Determinación de fibra dietaria	41
20. Determinación de fibra dietaria insoluble	42
21. Determinación de fibra dietaria soluble	43
22. Determinación de fibra cruda en muestra	44
23. Determinación de fibra detergente neutra en fibra	45
24. Determinación de fibra detergente ácida en fibra.....	46

25. Determinación de lignina residual	47
26. Determinación de mohos y levaduras	49
27. Determinación de coliformes totales	49
28. Curva de secado del residuo agroindustrial de sidra de manzana	50
29. Curva de velocidad de secado del residuo agroindustrial de sidra de manzana	51
30. Difractograma del residuo agroindustrial de sidra de manzana	73

ÍNDICE DE TABLAS

1. Composición química de residuo de manzana y de una manzana	18
2. Resultados del análisis físico-químico de la fibra de bagazo de manzana ...	53
3. Análisis de azúcares reductores	55
4. Resultados del análisis proximal de la fibra de bagazo de manzana	57
5. Fibra dietaria total	62
6. Contenidos de fracciones de FDN y FDA	66
7. Proporciones de hemicelulosa, celulosa y lignina	68

ABREVIATURAS

AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales

AACC: Asociación Americana de Químicos de Cereales

CNF: Carbohidratos no fibrosos

DRX: Difracción de rayos X

FB: Fibra bruta

FD: Fibra dietaria

FDA: Fibra detergente ácida

FDI: Fibra dietaria insoluble

FDN: Fibra detergente neutra

FDS: Fibra dietaria soluble

FDT: Fibra dietaria total

FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal

GLC: Cromatografía de gas líquido

LAD: Lignina ácido detergente

PB: Proteína bruta

UI: Unidad Internacional

µm: micrómetro

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de alimentos procesados es uno de los sectores donde más residuos se producen, y los efectos negativos que origina la generación de este tipo de contaminantes provocan desequilibrios y daños en el medio ambiente afectando su calidad.

La industria sidrera, como industria productora de alimentos, produce principalmente residuos orgánicos, en el Estado de Puebla existen varias de ellas; en la zona de Zacatlán se encuentran cinco: San Rafael, Bodegas Delicias, Casas Martínez, Productos Poblanos y Nietos de Asturias; se puede ubicar a Sociedad Gondzma en Chignahuapan y a otras ocho en la región de Huejotzingo y sus alrededores, como Copa de Oro, Sidrera Soamy y Gota Real; dando en total un aproximado de catorce empresas, sin contar aquellas que no están registradas y que generalmente son artesanales o de traspatio (Guía México, s. f.; Hernández, 2007). Las sidreras halladas en Zacatlán fabrican alrededor de 400 mil unidades de sidra y emplean cerca de 1,200 a 1,600 t de manzana, sin embargo, se calcula que se obtienen 20 kg de subproducto por cada 100 kg de manzana que entra al proceso.

Comparando las cifras anteriores, esto equivale a un desecho que va de las 240 a las 300 t de residuo, sin contar lo originado por las otras sidreras (Bach, Calsamiglia y Ferret, 2004; Guevara, 2007).

A pesar del interés que existe en la utilización de los residuos orgánicos provenientes de la industria procesadora de alimentos, son pocos los que centran su interés en la gestión de su empleo para nuevos productos alimenticios, y específicamente, de aquellos que resultan durante la elaboración de la sidra de manzana.

Por lo tanto se plantea estudiar las características físicas, químicas y nutrimentales de los residuos agroindustriales provenientes de la industria productora de sidra de manzana establecida en el Estado de Puebla a fin de estudiar sus propiedades y darlas a conocer para ser usadas en nuevos proyectos y otras alternativas de investigación.

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la utilización de los residuos agroindustriales ha sido el centro de atención de diversas investigaciones, por lo que es el punto de partida para diversos propósitos: se busca su aprovechamiento al máximo y al mismo tiempo se intenta disminuir la cantidad de desechos que son arrojados, ya que muchos de éstos tienen una segunda alternativa más de uso.

Contar con información sobre las características físicas, químicas y nutrimentales de los residuos agroindustriales que se obtienen de la elaboración de la sidra de manzana en el Estado de Puebla, sirve como fuente de información para la realización de nuevas investigaciones y/u opciones para proyectos, también a emprendedores que siempre están buscando alternativas sustentables para el actual mercado demandante.

Además cabe aclarar que las industrias que se dedican a la manufactura de la sidra son beneficiadas, pues pueden conseguir un reingreso monetario al vender y al lograr despojarse de aquello que suponen un desperdicio, así como también enriquecer algunos de sus productos con el material analizado.

OBJETIVOS

General

- Realizar un estudio físico-químico y nutrimental del residuo agroindustrial proveniente de la industria productora de sidra de manzana (*Pyrus malus*) del Estado de Puebla para obtener un polvo alimenticio con alto contenido en fibra dietética.

Específicos

- Obtener un polvo alimenticio alto en fibra dietética.
- Analizar las características físicas y químicas del polvo de fibra derivado del residuo agroindustrial de la sidra de manzana: acidez titulable, pH, °Brix.
- Especificar el contenido de nutrimental de la fibra obtenida del residuo agroindustrial a través de un análisis químico proximal.
- Hacer un análisis microbiológico del residuo agroindustrial: coliformes totales, mohos y levaduras.

HIPÓTESIS

Los residuos agroindustriales generados en la elaboración de sidra de manzana secados convectivamente, generarán un polvo alimenticio con un alto contenido en fibra dietética, partiendo de un análisis físico, químico y nutrimental.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Generalidades de la manzana

1.1.1 Definición de fruta

Las frutas son aquellas porciones de la planta que albergan las semillas, es decir, son los ovarios maduros de la planta con sus semillas. La porción comestible de la mayoría de las frutas es la parte carnosa del pericarpio o estructura de la planta que rodea a las semillas. (Hotchkiss y Potter, 1995; Desrosier, 1997).

Usualmente las frutas se agrupan en distintas divisiones, ya sea por su estructura botánica, composición química o por sus requerimientos climáticos. Se distinguen los siguientes grupos (Tscheuschner, 2001):

- *Frutas de pepita*: se encuentran en el interior del cuerpo de la flor convertido en pulpa carnosa (mesocarpio), como el caso de la manzana, membrillo y pera.
- *Frutas de hueso (drupa)*: la semilla se haya contenida en un hueso duro (endocarpio leñoso), que está revestido por una envoltura carnosa formada a expensas de la porción exterior de la pared del fruto. Ejemplos: cereza, ciruela, albaricoque y melocotón.
- *Frutas en baya*: el tejido carnoso del fruto forma una baya verdadera como la uva, arándano y grosella. Aquí también se incluyen los frutos en los que el eje floral carnoso asocia diminutos frutos con hueso o aquenios, como la fresa, frambuesa y zarzamora
- *Frutas con cáscara*: son aquellas de envoltura dura y una sola semilla como lo son las nueces.
- *Frutas tropicales*: concepto que abarca especies de grupos de pepitas, de hueso, bayas y otras regiones tropicales y subtropicales, como los plátanos, piñas, dátiles, higos y cítricos.

1.1.2 Origen de la manzana

Se desconoce el origen exacto del manzano. Unos autores señalan que procede de las montañas del Cáucaso, mientras que otros indican que el *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. Es una especie silvestre que crece en las regiones montañosas de Asia media y podría ser el manzano del que se habrían originado desde hace 15,000 o 20,000 años las primeras especies cultivadas de este árbol.

El manzano ha sido un cultivo de gran importancia a lo largo de la historia, y fue introducido en España por los pueblos del Norte de África y durante el proceso de romanización de la península. En el siglo XVI los conquistadores españoles extendieron el cultivo de la manzana al nuevo mundo, y cien años después desde Iberoamérica, el manzano emigró a América del Norte y posteriormente a África septentrional y a Australia.

La facilidad de adaptación de éste árbol a diferentes climas y suelos, el valor nutritivo de sus frutos y la resistencia a las más bajas temperaturas, permiten cultivarlo en gran escala en casi todos los países (Unifrut, s. f.).

1.1.3 Descripción y ubicación taxonómica

La manzana (*Pyrus malus L.*) es el fruto del manzano, árbol de la familia de las Rosáceas, que puede alcanzar los 10 m de altura y que se encuentra distribuido por las regiones templadas del mundo.

El fruto es un pomo, por lo general de forma ovoide, en cuyo interior se esconden numerosas semillas, su peso suele oscilar entre 120 y 250 g, dependiendo de la variedad y otros factores. La piel puede presentar diferentes colores: verde, rojo, amarillo y bicolor (Unifrut, s. f.; Mataiz, 2002).

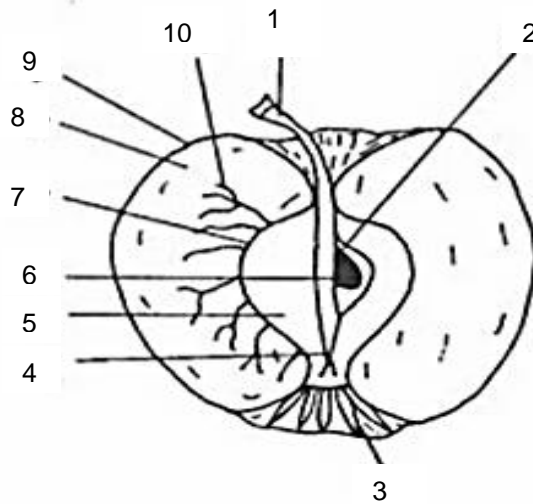


Fig. 1 Corte longitudinal de una manzana (pomo). 1 cabo (pedúnculo); 2 carpelos; 3 sépalos; 4 pistilo; 5 endocarpio; 6 semilla; 7 pared del endocarpio; 8 pulpa; 9 cáscara; 10 haz vascular. Tscheuschner, 2001.

La ubicación taxonómica de la manzana es la siguiente (Sinnot y Wilson, 1965):

Reino: Vegetal

División: Traqueófitas

Clase: Angiospermas

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Pyrus*

Especie: *Malus*

La manzana es una de las frutas dulces de mayor difusión a nivel mundial, aunque existen más de 1,000 variedades, apenas se comercializan doce de ellas, las más conocidas a nivel comercial son: Golden Delicuous, Rome Beauty, Top Red, Red Delicious, Starking, Royal Gala, Granny Smith, Golden Supreme Reineta Gris de Canadá y McIntosh (Unifrut, s. f).

Por su contenido en agua, la manzana es una fruta muy refrescante. Los azúcares, entre los que destaca la fructosa, son los nutrientes más abundantes, es fuente de vitamina C, flavonoides, antioxidantes y rica en fibra (2, 3 %), el 70% es insoluble y el 30% es soluble (Mataiz, 2002; Ruíz, 2010).

1.2 Residuos agroindustriales

1.2.1 Conceptos generales de agroindustria, residuo agroindustrial y desecho

El concepto **agroindustrial** implica el manejo, preservación y transformación industrial de las materias primas provenientes de la agricultura, la ganadería, el sector forestal y el pesquero, incluyendo la comercialización del producto sin dejar de lado los aspectos de administración, mercadotecnia y financiamiento. Dicho en otros términos, la agroindustria es una actividad económica que combina el proceso agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semi-elaboradas destinadas al mercado; por lo que se dice que constituye una parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. La tendencia mundial es el notable crecimiento en la generación de residuos, derivado del incremento en la generación de productos comercializables.

Al hablar sobre este tipo de temas se suelen usar indistintamente los términos de “subproductos, residuos y desechos” pero existe una gran diferencia en cuanto a su significado. Un **subproducto**, se refiere a un producto secundario, bien conocido, generalmente útil, comercializable y por lo tanto con valor agregado, que resulta de un proceso industrial (Gutiérrez *et al.* 1983; Saval, 2012).

De acuerdo a la Ley general para la prevención y gestión integral para los residuos, un **residuo** es aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser

valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (DOF, 2003).

Tomando en cuenta los conceptos anteriores los términos de subproducto y residuo podrían utilizarse como sinónimo, pero no de esta forma la palabra **desecho**, dado que éste se refiere a aquellos materiales que no tienen algún valor comercial, ni poseen atributos de interés para ser utilizados en algún proceso, ya que se considera como basura y se le debe dar una disposición final

A partir de esto se puede definir a los **residuos agroindustriales** como materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social (Saval, 2012).

1.2.2 Residuos orgánicos

Los subproductos agroindustriales generalmente tienen características variadas, dependiendo del tipo de producto que originan, pero la mayoría comparten una característica principal que es el contenido de materia orgánica, cuya constitución se basa en compuestos fibrosos (hemicelulosa, celulosa, pectina, lignina, gomas, mucílagos), enzimas, aceites esenciales, pigmentos naturales con capacidad antioxidante (flavonoides y carotenoides), entre otros, la mayoría provenientes de la cáscara de los vegetales.

En general, la diversidad de residuos y subproductos orgánicos generados pueden ser subdivididos en sólidos y líquidos, los primeros pueden ser utilizados en agricultura directamente como enmienda orgánica y mineral, como sustrato o bien ser sometidos a un proceso de compostaje, pueden usarse en la alimentación animal o como fuente de energía; los segundos comúnmente son efluentes de las industrias procesadoras de alimentos y suelen contener

cantidades importantes de elementos minerales y compuestos orgánicos disueltos. (Milena *et al.* 2008).

1.2.3 Residuos agroindustriales en México

La generación y composición de los residuos sólidos está directamente relacionado con las actividades económicas de cada ciudad, por esta razón se identificaron las principales y se dividieron en tres grandes grupos: el primero se refiere a los desechos producidos por la actividad agrícola e industrial, el segundo por la comercial y de servicios, mientras que el tercero lo conforma el turismo.

Se han publicado datos oficiales de 2006 que establecen que en México se produjeron 75.73 millones de t de materia seca proveniente de 20 cultivos, de los cuales 60.13 millones de toneladas corresponden a residuos primarios, es decir obtenidos al momento de la cosecha; el resto, 15.60 millones de t pertenecen a residuos secundarios obtenidos del procesamiento postcosecha.

En nuestro país de acuerdo a un estudio publicado por el Instituto Nacional de Ecología los residuos alimenticios representan aproximadamente el 32% de la generación total de desechos producidos de 1995-2010, dicho valor está ligado principalmente a la participación del comercio y de la agroindustria, puesto que gran parte de los materiales orgánicos sólidos provienen de los tratamientos previos y durante el procesado de las materias primas vegetales. En el Estado de Puebla se derivan cerca de 1,246,000 t anuales de residuos sólidos, de los cuales el 50.7% son de carácter orgánico (Labrador, 1996; SEMARNART, 2007; GIRE SOL, 2012).

1.2.4 Residuos agroindustriales de la sidra de manzana

En Puebla existen varias regiones que se dedican a la transformación de vegetales para la obtención de nuevos productos, entre ellos se encuentra la sidra de manzana, que como cualquier otro proceso productivo, conlleva a la producción de residuos, generalmente los productos que conforman dichos

residuos son: la manzana defectuosa que no pasa por la prensa, la cáscara, la pulpa de la manzana que queda de la extracción de manzana de mosto, la de las lías de decantación de mosto y la de las lías de decantación de sidra, agregando los posos que se extraen luego de las kupelas. (Berriak, R. J.)

La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) estudió la composición química del subproducto fresco de la industria de la sidra de manzana, encontrando un bajo contenido proteico (5-6% sobre materia seca) y extracto etéreo del 3-4%. El contenido en fibra detergente neutra (FND) es del 55-60%, mientras que en fibra detergente acida (FAD) es del 40%, siendo baja la efectividad de esta fibra (33%). El contenido en lignina acido detergente (LAD) es de un 10% y el de cenizas de un 2-4%. La pulpa de manzana tiene un elevado contenido en pectinas. La fracción soluble de la proteína de la pulpa de manzana es elevada (33%) (Bach *et al.* 2004).

Tabla 1. Composición química

Residuo de manzana		Manzana (<i>Pyrus malus</i>)	
Componente	%	Componente	%
Humedad	76.5	Agua	85 - 93
Cenizas	2.32	Cenizas	0.2 - 0.4
PB*	6.05	Azúcares totales	9 - 14
P-FND	2.68	Pectina	0.4
PB-FAD	2.23	Celulosa bruta	0.8 - 1.7
Extracto etéreo	3.85	Ácidos orgánicos	1.5
FB**	23.0	Vitamina C	0.5 - 20 mg/100 g
FND	56.5	Vitamina A	50 - 100 UI
FAD	38.8	Grasas	0.3 - 0.4
LAD	9.62	Proteínas	0.02 - 0.1
CNF***	34.8	Taninos	0.07 - 0.16

*Proteína bruta. **Fibra bruta. ***Carbohidratos no fibrosos. Composición de la fruta de manzana. 1 UI de vitamina C equivale 50 µg de vitamina C. Bach *et al.* 2004; Mataiz, 2002.

1.2.5 Alternativas de usos para los subproductos de industrias procesadoras de alimentos

Debido al gran impacto ambiental que ocasionan las industrias, se necesita una serie de medidas y acciones para mitigar este problema, una forma es a través del aprovechamiento de los residuos que consiste en un conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

Los residuos generados se pueden aprovechar de diversas formas, aquellos provenientes de las frutas, pueden ser utilizados en alimentación animal y humana, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros. Para la elección adecuada de alguna de estas tecnologías se deben realizar evaluaciones tecnológicas, comerciales y de riesgos.

Existen básicamente tres grupos de tecnologías para la recuperación de recursos: la valorización biológica y química, la obtención de combustibles (derivados de desechos) y la valorización térmica. La tecnología de valorización biológica y química permite efectuar la disposición final de los residuos orgánicos para obtener gases, líquidos o sólidos que pueden ser comercializables, entre los procesos biológicos más comunes y más usados por las industrias se encuentran el compostaje y la lombricultura. Por otro lado la valorización térmica, implica tecnologías que procesan térmicamente los residuos con el objetivo de disminuir el volumen y recuperar la energía a partir de los gases, líquidos y sólidos generados (Milena, 2008; Saval, 2012).

1.3 Fibra

1.3.1 Definición

La fibra dietética es un componente de la dieta normal ampliamente aceptado como una parte importante de la nutrición sana (Fernández y Gassul, 1999).

El concepto actual de “fibra dietética” no corresponde a un grupo químico definido, sino que, en realidad, hace referencia a una mezcla de sustancias químicamente heterogéneas, sin embargo no hay una clara definición química sobre este concepto; se han propuesto varias definiciones con el paso del tiempo, atendiendo a distintos criterios como sus propiedades biológicas, fisiológicas o por su composición química (Salmerón y Lasa, 2008).

De acuerdo a Zarzuelo y Galvéz (2010), fue Hispley en 1953, el primer científico que reflejó por escrito el término fibra dietética, definiendo a ésta como: “los constituyentes no digeribles que se encuentran en la pared de la célula vegetal” (p. 9)

Burkit, Trowell y Painter en 1976, citado por los autores anteriores, tras diversas investigaciones, redefinió este concepto como: “remanente de los componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas intestinales humanas” (p.9); este concepto engloba a los componentes de la pared celular, como celulosas, hemicelulosas, lignina, y otros polisacáridos presentes en la planta como gomas, mucílagos, celulosas modificadas, oligosacáridos y pectinas, que son comestibles y resistentes a la digestión. El motivo para incluir estos nuevos componentes de las plantas se basaba en las propiedades fisiológicas atribuidas a la fibra dietética, pero no necesariamente a su similitud química o su situación en la pared celular.

La American Association of Cereal Chemist (AACC) en el 2001, define:

La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre.

A pesar de las diversas definiciones existentes, todas coinciden en la fibra dietaria es una mezcla de polímeros de carbohidratos tanto oligosacáridos

como polisacáridos indigestibles en el intestino delgado humano, entre los cuales se encuentran componentes como la celulosa, hemicelulosas, pectinas y gomas, entre otros, que pueden estar asociados a otros componentes diferentes a los carbohidratos como la lignina, otros polifenoles, saponinas, fitatos y proteína resistente, entre otros (Elleuch et al., 2011).

1.3.2 Clasificación

Las diversas fibras se diferencian por las distintas características que las definen. Las fibras se podrían clasificar en función de su composición química, su situación en la planta o sus propiedades fisicoquímicas. Las fibras se han clasificado por su solubilidad en agua y por su capacidad de fermentación bacteriana en el intestino (Amaya y Rodríguez, 2006).

Por su solubilidad en agua se dividen en:

- **Fibras solubles:** son la pectina, los mucílagos, las gomas de guar y arábica, la inulina y los fructooligosacáridos; en contacto con el agua forman un retículo, donde ésta queda atrapada, originando soluciones de gran viscosidad. Son fibras con elevada capacidad para formar geles y retener agua en el tracto digestivo, por lo que suceden muchos de sus efectos fisiológicos: producen un efecto benéfico en alteraciones de la función del colon, en la consistencia de las heces y en la disminución en la absorción de lípidos y carbohidratos.
- **Fibras insolubles:** son la celulosa, la hemicelulosa, la lignina y el almidón resistente. Se caracterizan por su escasa capacidad para formar soluciones viscosas. Pueden retener agua, aunque siempre en menor proporción que las fibras solubles, este tipo de fibra es la más adecuada en la prevención del estreñimiento. (Rodríguez y Amaya, 2006; Salmerón y Lasa, 2008).

La fibra soluble es excretada en gran parte de forma prácticamente intacta, pero no así la fibra soluble que es degradada parcialmente por la flora colónica, liberando ácidos de cadena corta absorbibles y metabolizables, especialmente butírico al que especialmente se le han atribuido ciertas propiedades antiinflamatorias y antibacterianas, que explican las ventajas de su ingesta en enfermedades como la colitis ulcerosa o en la protección contra infecciones intestinales

En función de la fermentación bacteriana, la fibra puede dividirse en:

- **Fibras no fermentables (< 10%):** entre éstas destacan fibras insolubles, como la lignina y algunas fibras solubles como la carragenina, la metilcelulosa y la carboximetilcelulosa.
- **Fibras parcialmente fermentables (10-70%):** destacan las fibras insolubles ricas en celulosa. También se incluyen en este grupo, algunas fibras solubles, como el agar, y otras fibras parcialmente solubles, como las semillas de Plantago.
- **Fibras fermentables (> 70%):** están constituidas siempre por fibras solubles ricas en hemicelulosas (goma guar, glucomanano) o ricas en ácidos glucurónicos (pectinas o algunas gomas).

Todos los tipos de fibra a excepción de la lignina, pueden ser fermentados por las bacterias intestinales, aunque en general las fibras solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. Así, las pectinas, las gomas o los mucílagos tienen un grado de fermentabilidad del 80-95 %, mientras que en el caso de la celulosa es del 15-50% (Izquierdo, Veciana y Vidal, 1999).

1.3.3 Composición química

La fibra dietaria (FD) consiste principalmente de polímeros de carbohidratos que son componentes de las paredes de las células vegetales, incluidas la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas, así como otros polisacáridos de origen vegetal o de algas, como las gomas, los mucílagos y los oligosacáridos como la inulina (ILSE Europe, 2006).

La estructura de la fibra dietética se divide en tres tipos de polímeros:

- **Polisacáridos estructurales:** son los que forman la pared celular y se encuentran entre ellos las sustancias pécticas, hemicelulosa y la celulosa.
- **Polisacáridos no estructurales:** son más fáciles de extraer y aislar; se encuentran entre ellos: los mucílagos, inulina, las gomas (goma arábica, agar, tragacanto, karaya, alginatos, etcétera) y el almidón resistente (Hughes, 1991; Monro, 1996).
- **Componentes estructurales no polisacáridos:** entre los que se encuentran la lignina, cutina, suberina, ácido fítico, taninos (Schneeman, 1989).

En la pared celular se pueden distinguir tres partes (Fig.2). La lámina media que es la capa más externa y está formada principalmente por sustancias pécticas. La pared primaria que está formada fundamentalmente por hemicelulosas y algo de celulosa. Se trata de una matriz desordenada donde está embebida la celulosa. Y por último, la pared secundaria que aparece cuando la célula termina su crecimiento. Está formada por celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas y lignina. Consta de tres capas: S1, S2 y S3 (Mateos-Aparicio, 2008).

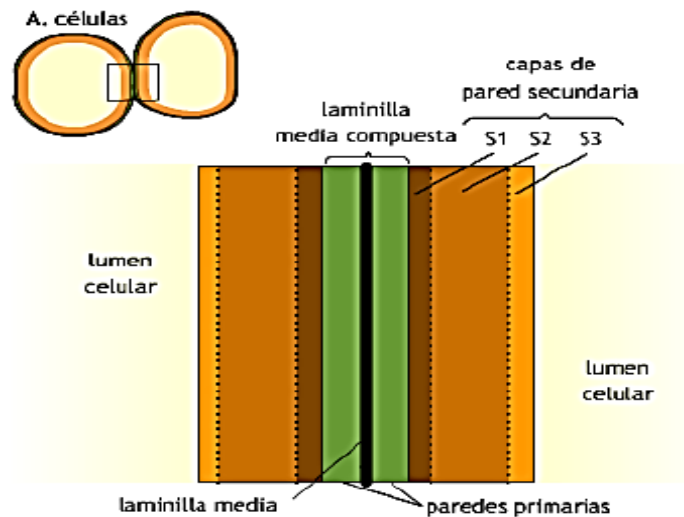


Fig. 2 Partes de la pared celular. Córdoba, 2005.

Es necesario alcanzar un conocimiento profundo de la estructura de la pared celular, y aunque la estructura química de los componentes individuales está muy definida, sus proporciones relativas se conocen menos. En general, se considera que la pared está constituida por dos fases la fase fibrilar o esqueleto, y la fase amorfa o matriz (Córdoba, 2005).

La fase fibrilar está formada por celulosa, cuyas cadenas lineales de glucosa pueden alcanzar 4 μm de longitud. Éstas se combinan en una disposición muy ordenada (mediante puentes de hidrógeno) que le otorga propiedades cristalinas, formando fibrillas elementales que se reúnen en microfibrillas visibles con microscopio electrónico. Los diseños formados por las microfibrillas son muy variables. En la pared primaria las fibrillas están entrelazadas, dispuestas aparentemente al azar, mientras que en la pared secundaria se disponen paralelamente. La separación de la pared secundaria en capas resulta principalmente de la orientación de las fibrillas: en una casi horizontal, en la siguiente casi vertical, y en la tercera nuevamente casi horizontal (Fig.3)

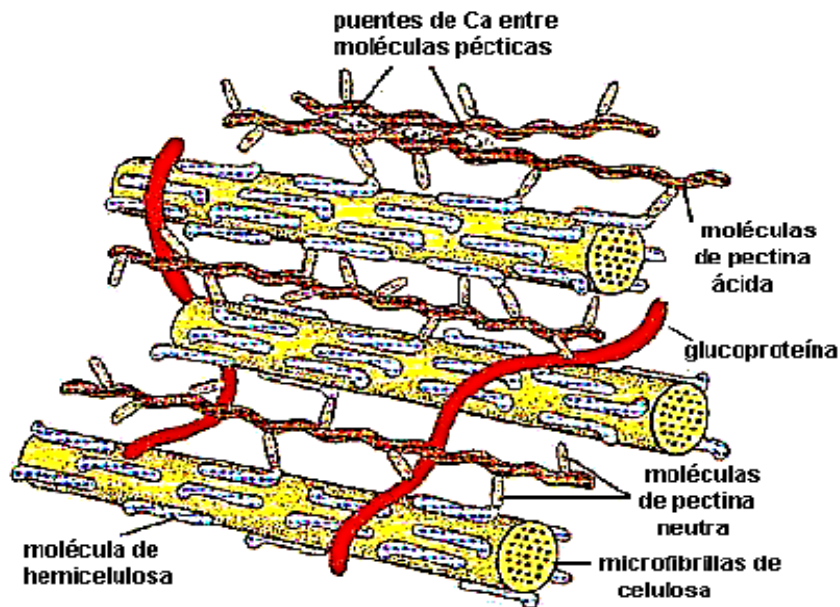


Fig. 3 Estructura de pared celular. Córdoba, 2005.

La fase amorfa está formada por hemicelulosas, sustancias pécticas y glicoproteínas; esta fase puede lignificarse. Las hemicelulosas revisten las fibrillas de celulosa y cristalizan con ella, uniéndolas, mientras que las sustancias pécticas están unidas entre sí mediante puentes de Ca^{++} . Las proteínas de la pared son ricas en serina e hidroxiprolina, y están unidas a arabinosa, glucosa y galactosa. Se cree que dichas glicoproteínas actúan como elementos estructurales, porque forman cadenas que pueden asociarse a otros componentes.

En la pared primaria es dominante la matriz amorfa, mientras que la fase fibrilar está reducida al 8-25%. En la pared secundaria domina la fase fibrilar, y la matriz amorfa está formada por hemicelulosas y lignina, mientras que las sustancias pécticas y las proteínas prácticamente desaparecen. (Córdoba, 2005).

1.3.4 Procedimientos analíticos para su determinación

Se han desarrollado diferentes metodologías para la determinación y cuantificación de la fibra dietaria como resultado de diversos trabajos de investigación, por lo que no existe un método analítico único que sea capaz de

medir todos sus componentes (ILSE Europe, 2006; García, Infante y Rivera. 2008).

Los métodos utilizados para medir el contenido de fibra en los alimentos se pueden dividir en cuatro categorías:

- **Métodos gravimétricos:** miden un residuo indigerible después de una solubilización química o enzimática de los constituyentes no fibrosos de los alimentos. Van Soest et. al. desarrollaron un método conocido como FDA, que determina principalmente celulosa y lignina y el otro método de FDN. En ambos métodos, se utilizan sustancias químicas (detergentes) que solubilizan todo material diferente a la fibra, quedando un residuo vegetal insoluble.
- **Métodos enzimáticos:** en éstos, se trata de simular los cambios químicos, que le ocurren a los componentes de la fibra en el tracto gastrointestinal humano, a través del uso de enzimas con una alta actividad para hidrolizar almidones, proteínas y lípidos que se encuentran formando la estructura de la fibra, conjuntamente con los polisacáridos indigeribles. Con estos métodos, se determina el material insoluble remanente al final del proceso de digestión enzimática.
- **Métodos colorimétricos:** emplean reacciones químicas que producen complejos coloreados con los carbohidratos, que pueden ser determinados por espectrofotometría a una determinada longitud de onda.
- **Métodos cromatográficos,** basados en el empleo de la cromatografía de gas líquido (GLC), donde los componentes monoméricos de los polisacáridos de la fibra, son liberados por hidrólisis ácida, separados y contados por GLC.

La metodología desarrollada por Prosky et. al. que determina por separado la fibra soluble y la fibra insoluble a través de enzimas, dicha técnica fue modificada posteriormente por Lee et. al. que emplearon las mismas enzimas y lograron reducir el tiempo de análisis y mejorara la precisión del ensayo. Hoy es el método oficial de la Association of Oficial Analytical Chemists (A.O.A.C.) (FAO, 1993)

1.3.5 Obtención de fibras alimentarias a partir de frutas

En la última década, las frutas y hortalizas han recibido mucha atención como fuentes de sustancias biológicamente. Los concentrados de FD procedentes de frutas y hortalizas tienen buenas cualidades nutricionales pudiendo ser usados en la industria de alimentos como ingredientes funcionales con excelentes resultados (Figuerola et al., 2005; Cañas, Restrepo y Cortés, 2011).

Últimamente se están usando las frutas y hortalizas como fuentes de fibra dietaria para fortificar alimentos. La característica más relevante de estas fuentes es su gran disponibilidad y bajo costo, pues muchas de ellas son subproductos agroindustriales que representan un problema de contaminación; sin embargo, existe un considerable interés por la industria de alimentos en el aprovechamiento de estos residuos, recuperando una valiosa biomasa y diversos nutrientes (Serena y Bach, 2007). Con la búsqueda de estas nuevas fuentes de fibra, se han desarrollado procedimientos para su obtención y conservación, que incluyen lavado, trituración o despulpado, secado, molienda y envasado (Fernández y Rodríguez, 2001).

Se han desarrollado diferentes investigaciones sobre concentrados de fibra a partir de diferentes componentes de vegetales y frutas:

Manzana: Chen et al. (1988) evaluaron la influencia de la FD de manzana, el salvado de trigo y la avena sobre pan, galletas y muffins. Los resultados obtenidos presentan la manzana con más FD total que el salvado de trigo y avena; además niveles de FD < 4% en galletas y muffins, no afecta la calidad de

éstas. El análisis sensorial de los muffins adicionados con FD presenta buena textura y sabor, siendo más dulces, suaves y húmedos que los muffins con salvado de trigo y avena, mientras que el pan adicionado con FD incrementó su peso pero no disminuyó su volumen. Sudha et al. (2007) evaluaron la influencia de la FD de manzana en las propiedades de la masa de un pastel, causando efecto sobre las propiedades elásticas de la masa, encontrando que a medida que se incrementa la cantidad de pulpa de manzana adicionada (de 0 a 30%) a la mezcla de harina de trigo, el volumen de la torta disminuye y la densidad aumenta. Stafollo et al. (2004) evaluaron la influencia de la adición de fibra dietaria de manzanas comerciales sobre las propiedades sensoriales y reológicas de yogurt, observando que la presencia de fibra controla la sinéresis hasta después de 21 días de almacenamiento a 4 °C, además mantiene estable la aw, el pH y los parámetros reológicos y de color durante el almacenamiento.

Coco: Las características físico químicas y nutricionales de la FD de coco han sido estudiadas por Gunathilake et al. (2009), reportando contenidos de FD de 38%. La gran cantidad de FD presente en el coco se asocia directamente a su conformación. En un coco maduro, la carne blanca corresponde al 28% del peso, rodeado por una cáscara dura de protección, equivalente al 12% del peso, y la cascara exterior equivalente al 35% del peso. La cáscara está constituida por un 30% de FD y 70% de médula. Esta situación ha sido confirmada por Raghavendra et al. (2004; 2006), en residuo de coco desgrasado, como fuente de FD. Trinidad et al. (2006) evaluaron la adición de harina de coco como fuente de FD a diferentes tipos de alimentos: barras de granola (5%), pan de canela (5%), pan multicereales (10%), galletas con chispas de chocolate (15%), hotcake (15%), ponqués de chocolate (20%), torta de zanahoria (20%), macarrones (25%) y bizcochos de chocolate (25%). Los resultados identificaron que la harina de coco es una fuente rica de FD y que una adición del 15- 25% en los alimentos, genera una fermentabilidad con liberación de ácidos grasos de cadena corta con poco o ningún efecto sobre la disponibilidad de los minerales; además de una disminución del índice

glucémico y una reducción de colesterol total, colesterol LDL y los triglicéridos en personas con moderados niveles de colesterol.

Piña: Larrauri et al. (1995) obtuvo un concentrado de cáscara de piña para producir bebidas en polvo conteniendo 25% de FD. La FD de la piña tiene actividad antioxidante, además presenta propiedades de y color neutro, lo que la hace apropiada para mejorar la aceptabilidad de un producto cuando es usada como suplemento de FD. Suleiman (2004) identificó que los subproductos de la piña son buena fuente de FD (>20% FD total), al tener un alto grado de FD insoluble. La FD de piña ha sido empleada en forma efectiva en la producción de compuestos fenólicos a partir de la fermentación de la pulpa con el hongo *Rhizopus oligosporus* (Correia et al., 2004).

CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1 Diagrama general

A continuación se muestra el diagrama general de trabajo que se siguió para la caracterización de fibra obtenida a través de residuos agroindustriales de la sidra de manzana

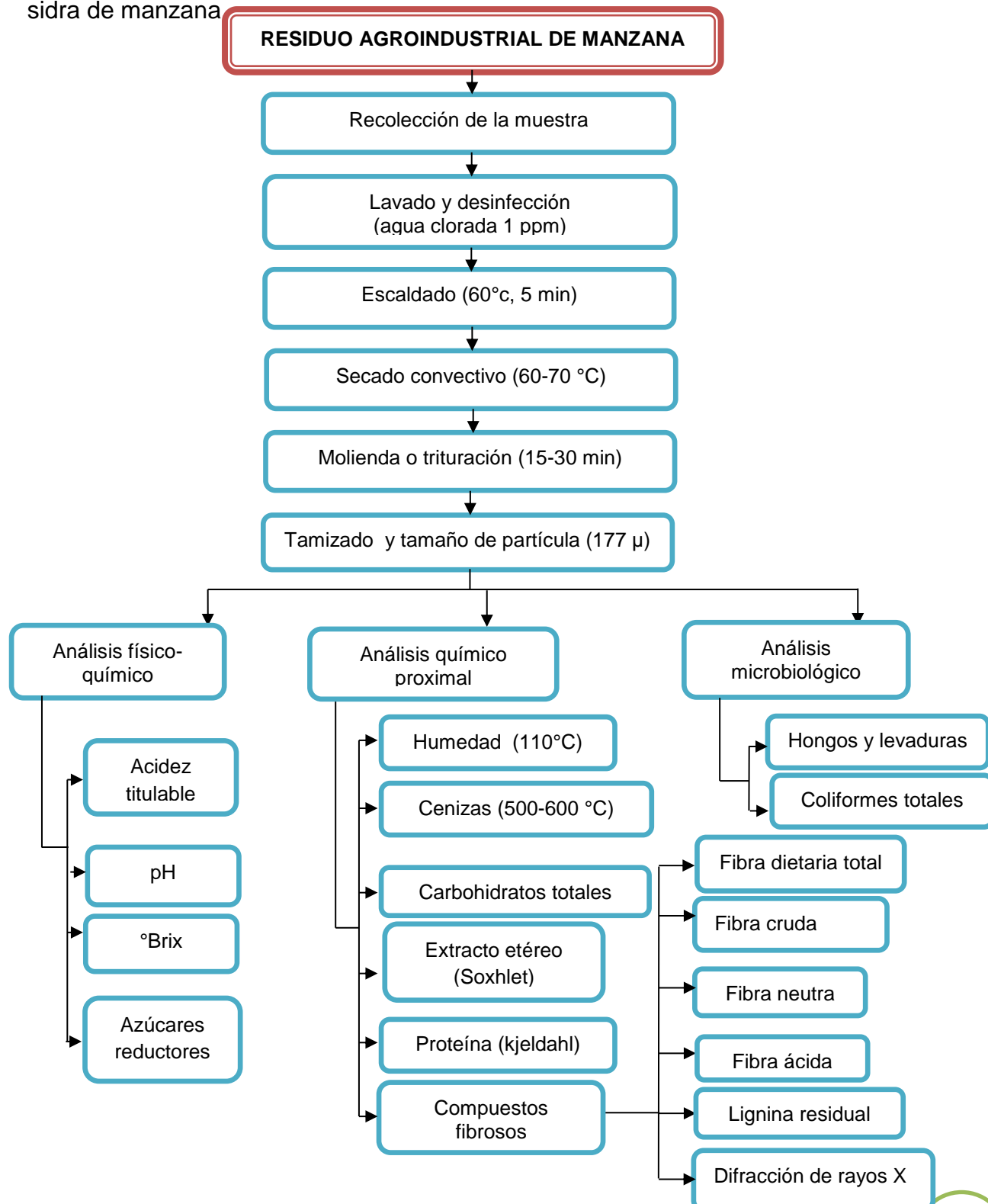


Fig. 4 Diagrama de bloques de la metodología de análisis del residuo agroindustrial

2.2 Obtención de la materia prima

Los residuos agroindustriales fueron obtenidos de la de la industria sidrera Soamy ubicada en Calle Carlos B. Zetina Núm. 410 en la región de Huejotzingo del Estado de Puebla, donde se utiliza manzana *Pyrus malus* L. para la elaboración de los productos.

La muestra fue almacenada al momento de la recepción en un recipiente de acero inoxidable esterilizado, el cual se colocó en una hielera a una temperatura menor de 5 °C para detener el crecimiento microbiano y aislar el residuo del calor.



Fig. 5. Recolección de la materia prima

2.3 Lavado y desinfección

Los residuos se colocaron en un recipiente de acero inoxidable para ser lavados mediante una inmersión en agua potable y después fueron desinfectados con una solución de agua clorada a una concentración de 1 ppm.

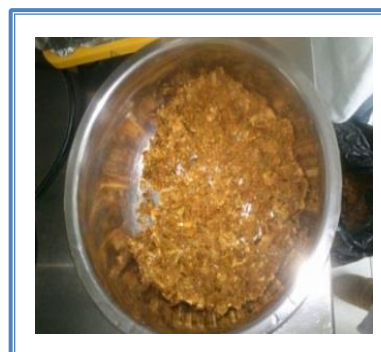


Fig. 6. Lavado y desinfección del residuo de bagazo de manzana

2.4 Escaldado

El escalde de los residuos se llevó a cabo a una temperatura de 60 °C por un tiempo de inmersión de 5 minutos.



Fig. 7 Escalde de los residuos

2.5 Secado

La materia prima se sometió a un proceso de secado en un horno digital marca LUMISTELL modelo HTP-72, con bandejas de aire caliente a una temperatura de 60°C-70°C.

Para obtener la curva de secado, se pesaron 3.0 g de residuo en una balanza marca ADAM modelo HCB 123 y se registró el peso cada 30 minutos hasta obtener una pérdida de peso del 90%.



Fig. 8 Secado de la materia prima en horno digital

2.6 Molienda

Se pesaron 100 g de materia seca y se le realizó un proceso de molienda por un periodo de 15-30 minutos en un molino marca *KRUPS GX4100* para reducir el tamaño del residuo y facilitar el tamizado.

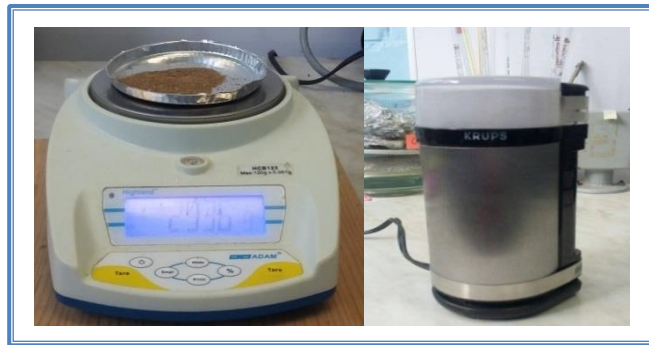


Fig. 9. Molienda de la materia seca

2.7 Tamizado y tamaño de partícula

Se pesaron 100 g de materia seca molida en una balanza *Explorer-Pro* marca *OHAUS* y se pasaron por un tamiz Tyler de malla 80, con un tamaño de partícula de 177μ para obtener el tamaño de partícula de una harina como lo indica la Norma del Codex 152-1985. Se pesaron las fracciones retenidas y tamizadas.



Fig. 10. Tamizado y tamaño de partícula de la materia seca

2.8 Análisis físico-químico

2.8.1 pH

Para esta medición se empleó el procedimiento propuesto por AOAC (1967) mediante la técnica 42, que es mediante el uso de un potenciómetro digital marca DENVER modelo 710, previamente calibrado con buffers de pH 4 y 7, luego se preparó una solución de 1.0 g de muestra pesada en una balanza *Explorer-Pro* marca *OHAUS* y se colocaron en 4 mL de agua destilada y se sumergió el electrodo para obtener el valor de pH.



Fig. 11. Medición de pH de la muestra

2.8.2 Acidez titulable

Se determinó la acidez titulable como lo indica la AOAC (1984) mediante la técnica 16. Se pesó 1.0 g de fibra en una balanza *Explorer-Pro* marca *OHAUS* y se adicionaron 40 mL de agua destilada, posteriormente se realizó una filtración, y el filtrado se colocó en un matraz Erlenmeyer y se le adicionaron dos gotas de fenolftaleína como indicador. La muestra se tituló con NaOH al 0.01 N como álcali hasta lograr un vire ligeramente rosado que se mantuvo por 30 segundos aproximadamente, el resultado obtenido se expresó en términos de ácido málico.

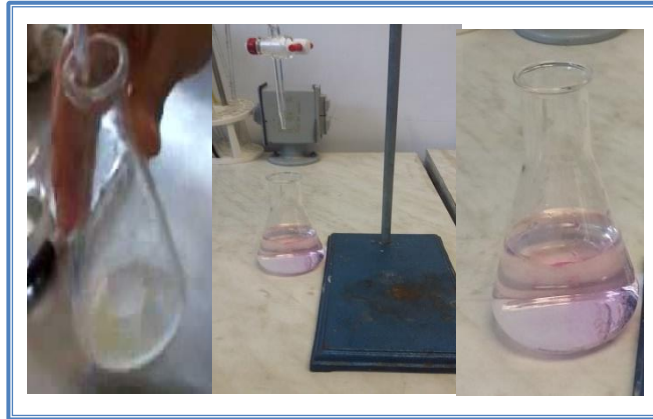


Fig. 12. Determinación de acidez tiutlable en polvo de fibra

2.8.3 °Brix

Se empleó el procedimiento propuesto por la AOAC (2005) por la técnica 932. Se pesó 1.0 g de fibra en una balanza marca ADAM modelo HCB 123 y se le adicionaron 10 mL de agua destilada. Se empleó un refractómetro marca ATAGO modelo *PAL-1*, donde se colocaron unas gotas de la solución sobre la lente evitando la incidencia de la luz sobre la muestra en el momento de la lectura para evitar errores y se esperó el resultado.



Fig. 13. Medición de °Brix de la fibra

2.8.4 Azúcares reductores

Se determinó el contenido de azúcares reductores Basados en el método de Quezada *et al.* (2005), que consiste en la oxidación de éstos en la presencia de cobre. Se pesaron 2.0 g de muestras y se emplearon los reactivos de Fehling A y B, empleando azul de metileno como indicador, llevando la muestra a un vire de color azul a rojo ladrillo.



Fig. 14. Determinación de azúcares reductores

2.9 Análisis químico proximal

A la fibra obtenida de los residuos con el tamaño de partícula caracterizado, se le realizó el análisis químico proximal con el fin de cuantificar su aprovechamiento. Cada análisis se hizo por triplicado.

2.9.1 Determinación de humedad

Se determinó el contenido de humedad como lo indica la AOAC (1990) empleando la técnica 964. El procedimiento fue el siguiente: se pesaron 1.5 g de muestra en una balanza ADAM modelo HCB 123 y se colocaron en una estufa marca *RIOSSA* modelo *E51* hasta peso constante.



Fig. 15. Determinación de contenido de humedad en fibra

2.9.2 Cenizas

Se empleó la técnica 923 de la sección 03 de la AOAC (1990). Para ello se pesaron 3.0 g de muestra en una balanza marca ADAM modelo HCB 123 y se calcinaron en una mufla marca TERLAB modelo F48055 a una temperatura de 550 °C. Posteriormente se registró el peso remanente.



Fig. 16. Determinación de cenizas en fibra

2.9.3 Proteínas

Para la determinación de proteína bruta se siguió el procedimiento de micro Kjeldahl descrito por la AOAC (1990) en el método 955. Se empleó el sistema de micro Kjeldahl marca LABCONCO modelo 2308000, utilizando una unidad de digestión y una de destilación Kjeldahl. Su análisis evalúa el contenido de

nitrógeno total en la muestra, después de ser digerido con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador.



Fig. 17. Sistema micro Kjeldahl

2.9.4 Extracto etéreo

Se siguió la metodología propuesta por la AOAC (1990) 920, el cual utiliza un sistema de extracción cíclica de los componentes solubles en éter que se encuentran en el alimento, la grasa extraída es evaluada como porcentaje de peso después de evaporar el alimento.



Fig. 18. Sistema Soxhlet

2.9.5 Carbohidratos totales

Se determinó carbohidratos totales por diferencia del resto de los compuestos.

2.9.6 Compuestos fibrosos

2.9.6.1 Fibra dietaría total (FDT)

Se determinó por separado la fibra insoluble y fibra soluble conforme a la AOAC (1995), realizando la primera determinación a través de la técnica oficial 991, mientras que la segunda determinación se realizó por medio de la técnica 993. Siendo la suma del resultado de ambas el valor final de Fibra Dietaria Total.

Se pesó 1 g de muestra por triplicado y se empleó otro frasco sin muestra (blanco), a los cuales se les agregó 50 mL de regulador fosfato pH 6.0 y 0.1 mL de alfa amilasa termoestable (SIGMA A 3306) y se taparon. Los vasos se introducen en un baño de agua a ebullición, después de que la temperatura interna de los vasos alcanzó los 95 °C se contabilizaron 30 minutos de incubación, agitándose a periodos de 5 minutos.

Los frascos se dejan enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se ajustó el pH a 7.5 ± 0.1 , agregando NaOH 0.275 M. Después se mezclaron 5 mg de enzima proteasa (SIGMA A3306). Se tapan y se agitan los frascos, y se incuban a 60 °C por 30 minutos con agitación constante. Se dejan enfriar a temperatura ambiente y se ajusta el pH a 4.5 ± 0.2 agregando HCl 0.325 M.

Se adicionan 0.1 mL de amilogucosidasa, se agitan, se vuelven a tapar los frascos y se incuban a 60 °C durante 30 minutos con agitación constante.



Fig. 19. Determinación de fibra dietaria

---Fibra dietaria insoluble (FDI)

El líquido anterior se filtra a través de un papel filtro de fibra de vidrio (peso constante) sobre un embudo Gouch y con ayuda de una bomba de vacío, inmediatamente, sin desmontar el sistema, se lava el residuo con dos porciones de 10 mL de agua destilada aplicando vacío; el líquido filtrado y los lavados se reservan para la determinación de fibra soluble.

El residuo obtenido se lava con dos porciones de 10 mL de etanol al 95-96% y con otras dos de 10 mL de acetona. Los filtros se secan en una estufa marca *RIOSSA* modelo *E51* a 105 °C durante toda la noche. Se enfrían en desecador y se pesan.



Fig. 20. Determinación de fibra dietaria insoluble

---Fibra dietaria soluble (FDS)

Los líquidos del filtrado anterior se colocan en frascos y se les adicionan una cantidad de etanol al 95-96%, previamente calentado, igual a 4 veces el volumen del filtrado, es decir, 280 mL. Se dejan reposar durante toda la noche.

A continuación los líquidos obtenidos se filtran a través de un papel filtro de fibra de vidrio sobre un embudo Gouch y con ayuda de una bomba de vacío, sin desmontar el sistema, el residuo se lava con tres porciones de 20 mL de etanol al 78%, dos porciones de 10 mL de etanol al 95-96% y dos de 10 mL de

acetona. Los filtros se secan en una estufa marca *RIOSSA* modelo *E51* a 105 °C durante toda la noche. Se enfrían en desecador y se pesan.



Fig. 21. Determinación de fibra dietaria soluble

En los residuos insoluble y soluble se determinan proteínas por el método de micro Kjeldahl descrito por la AOAC (1990) en el método 955, y cenizas por medio de una mufla descrito en la técnica 923 de la sección 03 de la AOAC (1990).

$$\% FDI = \frac{\text{residuo insoluble (g)} - \text{proteínas (g)} - \text{cenizas (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\% FDS = \frac{\text{residuo soluble (g)} - \text{proteínas (g)} - \text{cenizas (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} * 100 \quad \text{Ec. 2}$$

2.9.6.2 Fibra cruda

Se empleó el método propuesto por la AOAC (1985) en la técnica oficial 962. Se pesaron en un vaso de precipitado 3.0 g de muestra con 100 mL de H₂SO₄ al 1.25% en una balanza ADAM modelo HCB 123 y se le adicionaron perlas de ebullición, se adaptó como cubierta otro vaso de precipitado con hielo, y se acomodaron en una parrilla Thermo modelo SP131325 hasta lograr una ebullición durante 30 minutos. Se retiraron del calor y se filtró y enjuago la muestra con 150 mL de agua caliente. Se colocó la muestra en un vaso de precipitado con 100 mL de NaOH al 1.25% y se adaptó la cubierta, posteriormente se llevó a ebullición por 30 minutos más, de igual manera se realizó un filtrado y enjuague con 150 mL de agua caliente. En seguida se realizó un lavado con 50 mL de etanol. A continuación se llevó la muestra a una estufa marca *RIOSSA* modelo *E51* a una temperatura de 80 °C durante un día. A la muestra final obtenida se realizó una determinación de cenizas.

Ec. 3

$$\% FC = \frac{\text{peso de residuo seco} - \text{cenizas}}{\text{peso muestra}} * 100$$

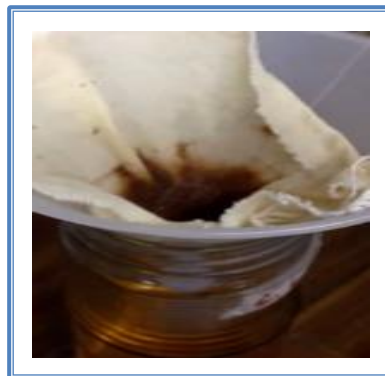


Fig. 22. Determinación de fibra cruda en muestra

2.9.6.3 Fibra detergente neutra (FDN)

Se empleó el método propuesto por la AOAC (2002) en la técnica oficial 920. Se pesaron 0.5 g de muestra por triplicado y se depositaron dentro de bolsas filtro (peso constante) y después se sellaron con calor. Se colocaron dentro de un vaso de precipitado y se adicionaron 200 mL de solución detergente neutra y 2.0 g de metabisulfito, se se adaptó como cubierta otro vaso de precipitado con hielo. Se colocaron sobre una parrilla y se llevó a ebullición durante 60 minutos. Se retiró la solución caliente y se adicionaron 200 mL de agua purificada y se dejó en ebullición por 15 minutos, se retiró el líquido caliente, y se repitió nuevamente éste último paso. El líquido drenado se añadió a la solución detergente para neutralizarla y desecharla.

A continuación se colocaron las bolsas en tubos falcon y se les quitó el exceso de agua por medio de una centrifugadora marca Electroquim modelo HERMLE Z200A. Finalmente se llevaron a una estufa marca RIOSSA modelo E51 a una temperatura de 90 °C durante 12 horas.

Ec. 4

$$\%FDN = \frac{\text{peso muestra} - \text{peso de residuo}}{\text{peso muestra}} * 100$$



Fig. 23. Determinación de fibra detergente neutra en fibra

2.9.6.4 Fibra detergente ácida (FDA)

Se determinó mediante la técnica propuesta por AOAC (2002) con la técnica oficial 973. Las bolsas secas con las muestras obtenidas de la determinación de FDN, se colocaron dentro de un vaso de precipitado y se adicionaron 200 mL de solución detergente ácida, se adaptó como cubierta otro vaso de precipitado con hielo. Se colocaron sobre una parrilla y se llevó a ebullición durante 60 minutos. Se retiró la solución caliente y se adicionaron 200 mL de agua purificada y se dejó en ebullición por 15 minutos, se retiró el líquido caliente, y se repitió nuevamente éste último paso. El líquido drenado se añadió a la solución detergente ácida para neutralizarla y desecharla.

A continuación se colocaron las bolsas en tubos falcon y se les quitó el exceso de agua por medio de una centrifugadora marca Electroquim modelo HERMLE Z200A. Finalmente se llevaron a una estufa marca *RIOSSA* modelo *E51* a una temperatura de 90 °C durante 12 horas.

Ec. 5

$$\%FDN = \frac{\text{peso muestra} - \text{peso de residuo}}{\text{peso muestra}} * 100$$



Fig. 24. Determinación de fibra detergente ácida en fibra

2.9.6.5 Lignina residual

La determinación de lignina residual se realizó de acuerdo al método de lignina de Klason utilizado por Schwanninger y Hiterstoisser, (2002). Se pesaron 250 mg de muestra y se adicionó 1 mL de H₂SO₄ al 72% por cada 100 mg de ésta. En seguida se colocó a baño maría a 40 °C durante 1 hora con agitación, a la muestra hidrolizada se le agregaron 28 mL de agua destilada por cada 1 mL de H₂SO₄ utilizado. Se efectuó una segunda hidrólisis en autoclave a 15 lb_f por 1 hora. Posteriormente la muestra se filtró utilizando crisol y papel filtro con ayuda de una bomba de vacío, al mismo tiempo que se le realizó un lavado con 100 mL de agua destilada aplicando vacío, para lograr obtener un pH de 7. En seguida se colocó la muestra en una estufa de vacío durante 4 horas.

$$\% \text{ LIGNINA} = \frac{\text{peso final de la muestra}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100$$

Ec. 6

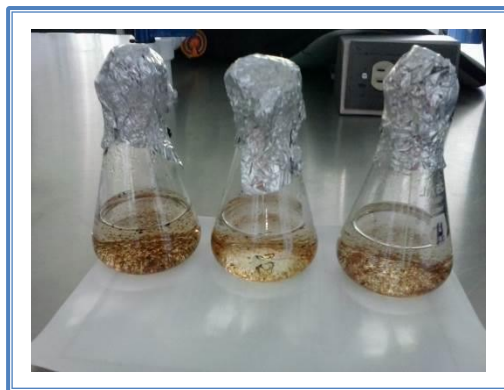


Fig. 25 Determinación de lignina residual

2.9.6.6 Difracción de rayos X

Se colocó en el porta muestras 25 mg de cada muestra en un difractómetro, (Bruker D8 Discover Berlín, Alemania), el cual utiliza una fuente de rayos-X de cobre, operando a 40KV y 40 mA que produce una radiación Cu K α con una longitud de onda de 1.54 Angstroms. Cada muestra se analizó durante un tiempo de 30 minutos, con una incidencia en cada fracción de 0.6 s, desde un ángulo de 5° a 90° ϕ con un tamaño de paso de 0.028° ϕ . El difractograma se obtuvo mediante el software “DIFFRAC plus XRD Commander”, Bruker Berlín, Alemania). El porcentaje de cristalinidad se calculó por la ecuación 3 (Evans et al., 1995).

Ec. 7

$$Crl= [I_{002}-I_{am}]/[I_{002}]*100 = [1- I_{am}/ I_{002}]*100$$

Crl= Índice de cristalinidad

I₀₀₂ = Es la intensidad del pico cristalino en el máximo a 2 θ entre 22° y 23 ° para celulosa I (entre 18° y 22° para celulosa II).

I_{am} = Es la intensidad en el mínimo a 2 θ entre 18° y 19 ° para celulosa I (entre 13° y 15° para celulosa II).

2.10 Análisis microbiológico

2.10.1 Determinación de mohos y levaduras

Se determinó un análisis según la NOM-111-SSA1-1994 y la muestra se preparó conforme la NOM-110-SSA1-1994.

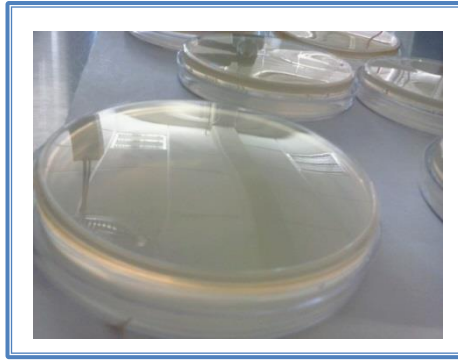


Fig. 26. Determinación de mohos y levaduras

2.10.2 Determinación de coliformes totales

Se realizó según la NOM-113-SSA1-1994 y la muestra se preparó conforme la NOM-110-SSA1-1994

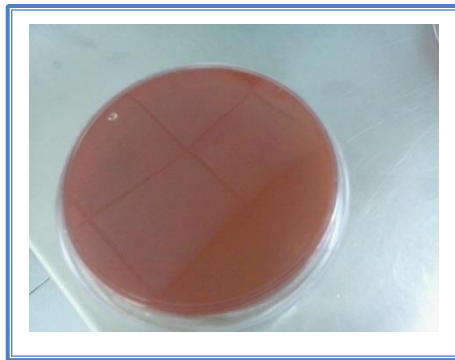


Fig. 27. Determinación de coliformes totales

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1 Secado de los residuos

La reducción de peso del residuo a los 30 minutos fue de 80.26% y a las 1.5 horas ya era del 51.95%. En la Figura 28 se muestra que a partir de las 4 horas la eliminación de agua en el bagazo de sidra de manzana va siendo más lenta, esto se debe a que la materia se va compactando al perder humedad ocasionando una disminución en el tamaño de que permiten la pérdida de agua, dificultando de ésta manera su eliminación (Casp y Abril, 1999; Fito P., et al., 2001).

La humedad final del bagazo fue de 11.316% y para esto se necesitó de un tiempo de 9 horas en el secador, ésta nos brinda las características necesarias para que el producto pueda triturarse y almacenarse a temperatura ambiente.

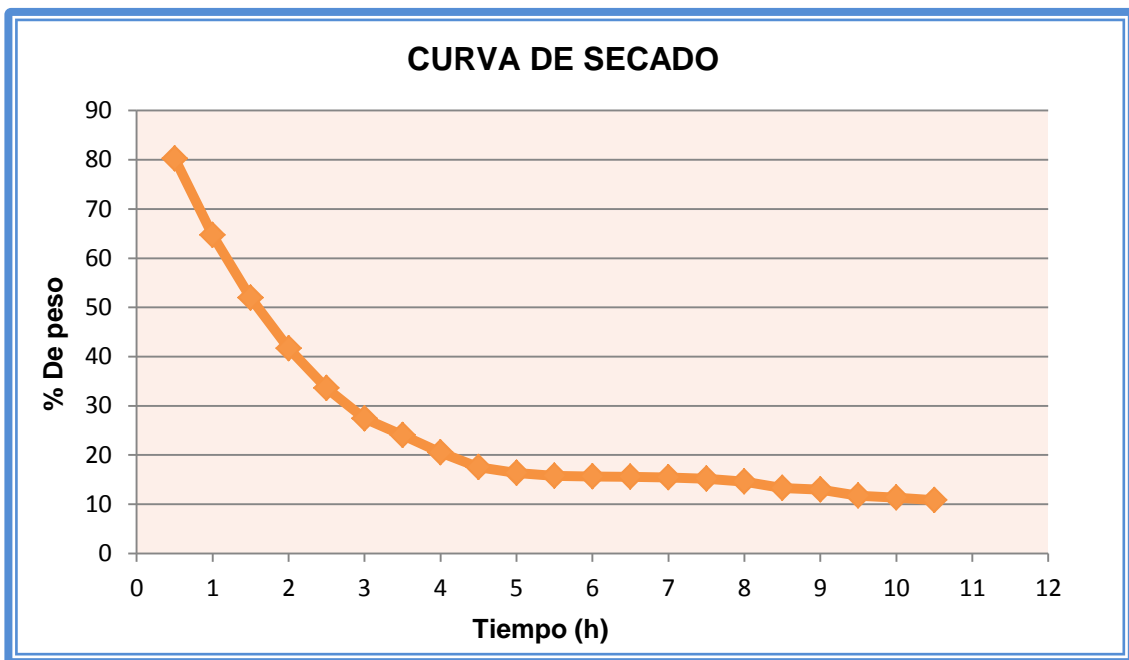


Fig. 28. Curva de secado del residuo agroindustrial de sidra de manzana

En la Figura 29 se muestra la curva de velocidad de secado del bagazo de sidra de manzana, se muestra que la velocidad de secado a las 0 horas es de $16.002 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$ y conforme transcurre el tiempo la tasa de secado comienza a ser más lenta, esto se debe a que una vez que se evapora el agua superficial, el agua del interior de la materia debe migrar a la superficie gastando un tiempo con lo cual se disminuye la velocidad de secado (UNAD; s. f.).

La velocidad final alcanzada es de $0 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$ debido a que es el momento en el que se llega a una humedad constante.

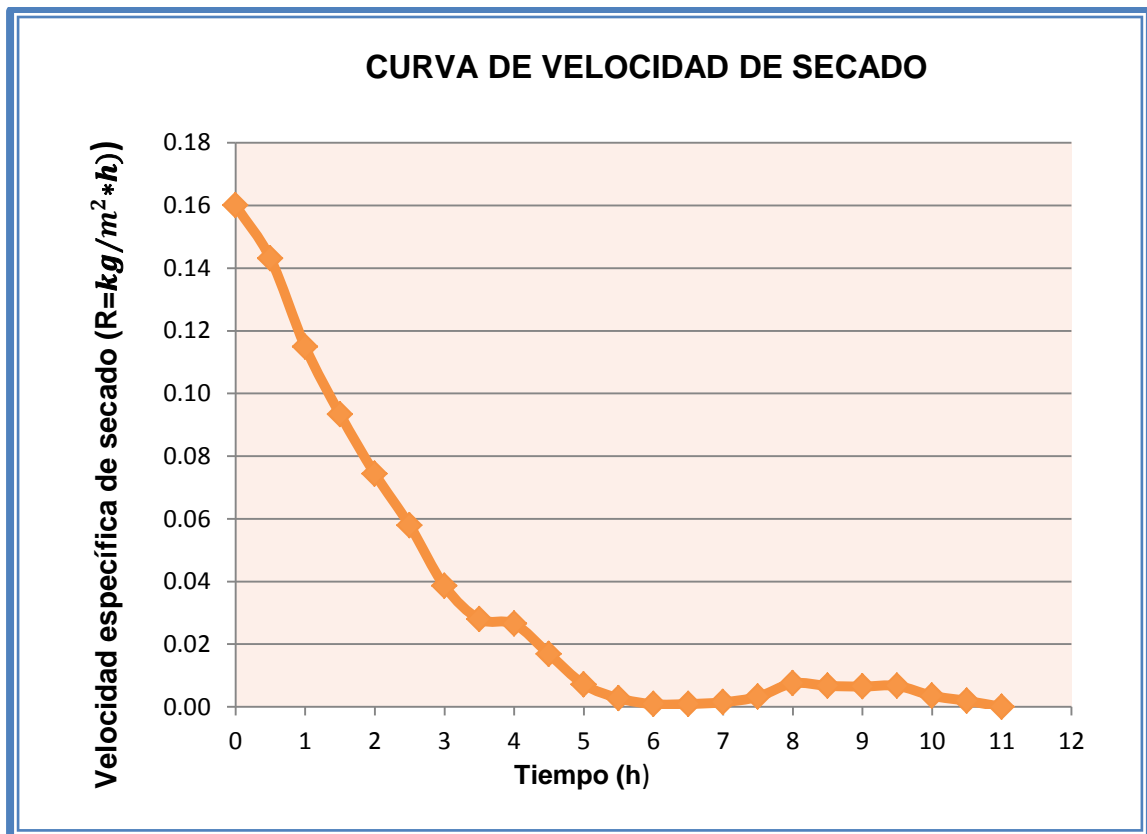


Fig. 29. Curva de velocidad de secado del residuo agroindustrial de sidra de manzana

3.2 Molienda, tamizado y tamaño de partícula

La molienda tiene como fin reducir el tamaño de partículas del material a un polvo para que pueda ser analizado y aprovechado como materia prima en la obtención de nuevos productos con alto contenido en fibra (Fernández y Rodríguez, 2001).

Se obtuvo un 21.7% de retención sobre el tamiz Tyler de malla 80, y un 78.3% de tamizado, con un tamaño de partícula menor a 177 μm , el cual es el necesario para una partícula de una harina (Codex 152,1985); consiguiendo de ésta manera un concentrado de fibra en forma de polvo.

De acuerdo a Fuertes (1998) el tamaño de partícula ideal de fibra para el consumo humano debe ser de entre 50-500 μm , rango dentro del cual se encuentra la fibra de bagazo de manzana; un tamaño mayor puede afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa, un tamaño menor puede ocasionar la formación de grumos e inclusive la compresión del producto.

El tamaño de partícula de la fibra, la hace apta para su consumo como ingrediente adicionado en formulaciones de otros alimentos como el caso de los snacks y las harinas. La fibra en el alimento incide en la absorción de nutrientes del organismo y especialmente en parámetros relacionados con la digestibilidad de los alimentos asociados a su consumo (Anderson y Eatswood, 1987), como lo es tránsito intestinal, fermentación y excreción fecal.

3.3 Análisis físico-químico

La importancia de la caracterización físico-química de un alimento ya sea como materia prima o producto terminado, radica en la medición de pH, acidez y grados brix, puesto que son utilizados como parámetros para el control de calidad de los mismos en la industria alimentaria (FAO y Ministerio de Sanidad y Consumo, 2002).

Después de los tratamientos de secado y molienda, se realizó una evaluación fisicoquímica del concentrado de fibra.

Tabla 2. Resultados del análisis físico-químico de la fibra de bagazo de manzana

Parámetro	Polvo de bagazo de manzana	Bibliografía	
pH	3.19±0.04	3.4±2 *	• <i>Malus doméstica</i> *
Acidez titulable (% de ác. málico)	0.34±0.01		
°Brix	1.17±0.23	12*	1.99** • <i>Malus doméstica de Borkh</i> • <i>Prosopis pallida L.</i> **

*Dapena et. al (s.f.), **Bravo, Grados y Saura, 1998

El pH es un parámetro que condiciona muchos procesos bioquímicos y metabólicos en el alimento, por lo que influye en el tipo de proceso requerido para la conservación de éste (Barreiro, J. y Sandoval, A., 2006; Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos, 2004).

El potencial de hidrógeno o pH, es la medida de iones de hidrógeno (H⁺) de una solución en una escala de 0 a 14, en la cual 7 es neutro, ni ácido ni alcalino, y equivale al agua absolutamente pura. Mientras más cercano al 0, más ácido, y al 14, más alcalino (Badui, S. et. al, 2012)

El residuo de bagazo de manzana arroja un pH de 3.19±0.04, por lo que puede clasificarse como alimento de alta acidez de acuerdo a Cameron y Esty (1940), dicho valor es menor en comparación al pH de la manzana *Malus Doméstica* reportada por Dapena et. al (s. f.) mostrando un valor de 3.4±2. Las diferencias en esta propiedad dependen de la composición química, grado de maduración y especie de la fruta (Viñas et. al. 2013).

Un pH bajo como éste, muestra un factor determinante para la seguridad alimentaria y conservación de la fibra, puesto que incide en el crecimiento microbiano, ya que son pocos los microorganismos que crecen por debajo de 4.0, la mayoría de las bacterias patógenas crecen a un valor óptimo de pH cercano al 7, teniendo en cuenta que un pH desfavorable afecta por lo menos el funcionamiento de las enzimas y el transporte de nutrientes al interior de la célula microbiana. Algunas levaduras pueden crecer en un rango de 2-8, mientras que los mohos en un rango de 1-11. (Jay, 2000). El pH que arrojo la fibra es un aspecto importante para su calidad y seguridad como fuente alimentaria y poder ser empleado como aditivo en otros productos; el residuo fue desinfectado con cloro que ofrece una mejor actividad frente a un pH bajo.

El valor de acidez, se mide por titulación con un álcali hasta un punto final que depende del indicador seleccionado, y se refiere a la determinación cuantitativa de la acidez del producto expresada en porcentaje del ácido predominante (Egan, Kirk, y Sawyer, 1996). El resultado obtenido para el concentrado de fibra es de $0.34 \pm 0.01\%$ de ácido málico.

La acidez de la fibra proviene de la acidez natural desarrollada por el fruto durante su crecimiento como una forma de proteger los tejidos frente a la destrucción microbiana, en este caso, es el ácido málico que funciona como sustancia inhibidora de tal crecimiento (Jay, 2000).

Respecto al contenido de sólidos solubles, proporcionan una medida objetiva de la concentración de azúcar disuelta en un producto, por lo que se miden en porcentaje o grados Brix, considerando que 1 °Brix equivale a 1g de azúcar en 100mL (Meyer, M. 2010, Badui, S. et. al 2012).

El valor que arroja el concentrado de fibra de bagazo de manzana es de 1.17 ± 0.23 °Brix, presentando un valor mucho menor al que posee un fruto fresco, de acuerdo al reportado por *Malus Doméstica Borkh* de 12 °Brix, y parecido al polvo de fibra proveniente de vainas de mezquite (*Prosopis pallida* L.) dado como 19.9 ± 0.7 (g/kg de materia seca) de azúcares solubles, es decir 1.99 ± 0.07 °Brix. La cifra de grados brix del concentrado de fibra de bagazo de

manzana en comparación con la fruta fresca y el concentrado de fibra de vainas de mezquite, difiere en primer lugar por la naturaleza de los mismos, puesto que el concentrado de fibra de bagazo de manzana comprende al residuo que queda después de extraer el jugo de dicha fruta: piel, el mesocarpio del fruto exprimido, semillas y rabos del fruto, al que después se le da un proceso de acondicionamiento, en otras palabras, ya no se trata de un fruto fresco, cuya naturaleza física es similar el de la fibra de vainas de mezquite (Moreno et. al. 2014). En segundo lugar la composición química y el tratamiento realizado para la extracción de la fibra de bagazo de manzana, puesto que ha pasado por un proceso de acondicionamiento, durante el escaldado del residuo agroindustrial existe la pérdida de algunos componentes hidrosolubles como los azúcares y sales minerales, que son arrastrados por lixiviación al agua del escaldado (Barreiro, J. y Sandoval, A., 2006; Poulsen, 1986; Guillon y Champ, 2000)

El valor de grados brix hallado, no es meramente sacarosa, puesto que con la técnica empleada también se determinan indirectamente algunas sales, es un aspecto que repercute en el sabor de la misma para poder ser empleada como aditivo.

Tabla 3. Análisis de azúcares reductores

Parámetro	Polvo de bagazo de manzana	Manzana Golden Delicious*
Azúcares reductores	12.83±0.47%	14.30%

*Asif-Ali et al., 2004

Los azúcares reductores son aquellos monosacáridos o disacáridos que pueden ceder electrones a otra molécula y pueden, por lo tanto, actuar como agentes reductores. La presencia de un grupo cetona (-CO-) o aldehído (-CHO)

libre permite a la mayoría de los monosacáridos y disacáridos actuar como agentes reductores (Sáez y Martínez, 1999), como la maltosa, que tiene un grupo carbonilo que interviene en el enlace glicosídico, y el otro grupo carbonilo está libre. Los azúcares reductores son carbohidratos que están caracterizados por reaccionar como agente reductor frente a reactivos oxidantes metálicos como el reactivo de Tollens, Fehling y Benedict (McMurry, 2008)

El concentrado de fibra de bagazo de manzana tiene $12.83 \pm 0.47\%$ de azúcares reductores mientras que la manzana Golden Delicious reportada por Asif-Ali et al. (2004) posee un contenido de 14.30% después de haber sido cortada y almacenada durante 6 semanas. Las diferencias se deben a la naturaleza de las muestras, puesto que la primera se trata de fibra proveniente de un residuo agroindustrial, mientras que la segunda se trata de un fruto fresco, durante el escaldado también se pierden algunos azúcares solubles, además de las variaciones de genotipo, climáticas y/o la región de procedencia (Poulsen, 1986; Rizzon, Bernardi y Miele, 2005). En la manzana los azúcares reductores que están presentes son la glucosa y la fructosa (Raigonet *al.* 2006)

Los azúcares reductores dan colores marrones a los productos horneados, lo que hace que el concentrado en polvo de fibra de bagazo de manzana sea un buen ingrediente en productos de bollería y panadería.

3.4 Análisis químico proximal

Después de los tratamientos de secado y molienda del bagazo, se llevó a cabo una caracterización proximal, los resultados se expresan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del análisis proximal de la fibra de bagazo de manzana

Componente	Fibra de bagazo de manzana	Fibra de manzana Granny Smith A.*	Pulpa de cítricos**
Datos expresados en porcentaje (%)			
Humedad	7.55±0.10	2.00 ±0.09	10.8
Fibra cruda	27.45±2	---	12.2
Extracto etéreo	7.76±0.83	---	1.6
Cenizas	1.52±0.04	1.24 ±0.03	7.1
Proteínas	5.18±0.43	3.68 ±0.08	6.1
Hidratos de carbono	50.53	28.9	---

Los resultados son el promedio de tres determinaciones.

*Figuerola et. al. (2004) Pulpa de manzana Granny Smith A

** García et. al (2014). Pulpa de cítricos.

Dicha caracterización tiene el objetivo de evaluar las características de los alimentos y sus componentes a través de técnicas analíticas, bien establecidas, para obtener un análisis global de la muestra, determinando así sus componentes mayoritarios: humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra y carbohidratos. La información conseguida es crítica para el entendimiento de los factores que determinan las propiedades de los alimentos (UNAM, 2013; Ángel, Interián y Esparza, 2013).

El contenido de humedad es de gran importancia por muchas razones científicas, técnicas y económicas (Comité de Normas Alimentarias, 1979), en su determinación se obtiene el contenido de agua libre (Muñoz, et. al, 2002), por lo que es la pérdida en peso por evaporación que sufre el producto al

someterlo a determinadas condiciones de calentamiento, expresada en por ciento (NOM-116-SSA1-1994).

El contenido de humedad del concentrado de fibra de bagazo de manzana es del 7.55%, mayor al reportado por Figuerola *et. al.* (2005) del concentrado de fibra de pulpa de manzana Granny Smith A. del 2.00 ± 0.09 %, y menor al del subproducto de pulpa de cítricos de 10.8% determinado por García *et. al* (2014).

Un contenido de humedad bajo indica que hay poca agua libre o no ligada que pueda ser empleada por la flora microbiana, y el agua remanente, en su mayoría, es la que se encuentra en forma ligada sustancias como proteínas y es también la presión osmótica la responsable de ésta retención de agua debido a la naturaleza física de la fibra de bagazo de manzana pues se trata de un agregado de polvo fino (Barbosa y Vega, 2000). El valor obtenido indica una noción sobre la cantidad de sólidos totales en la muestra, que en este caso sería de 92.45% aproximadamente, puesto que al eliminar el agua libre el contenido de carbohidratos se incrementa (Labuza, 1984). De esta manera, el contenido de humedad muestra cómo se ve favorecida la conservación de la fibra, puesto que prolonga significativamente su estabilidad y vida media.

La fibra cruda es el residuo orgánico insoluble que resiste a la hidrólisis ácida y alcalina, libre de cenizas (Ángel, Interián y Esparza, 2013). Las condiciones más comunes incluyen tratamientos consecutivos con petróleo ligero, ebullición con ácido sulfúrico diluido, ebullición con hidróxido de sodio diluido, con ácido clorhídrico diluido, con alcohol y éter. Este tratamiento empírico proporciona una fibra cruda que consiste principalmente en celulosa y cierta porción de lignina y hemicelulosa contenidas en la muestra original (Egan, Kirk, y Sawyer, 1996).

La cantidad de fibra cruda en el bagazo de manzana es de 27.45%, mayor en 15.25% a la fibra cruda de la pulpa de cítricos con un valor de 12.2%; al determinar la fibra cruda la mayor parte de los constituyentes de la fibra dietética no son cuantificados. Un alto nivel de fibra cruda es bueno para dietas

de algunas especies monogástricas, como el caso de algunos herbívoros, por ejemplo en el conejo, este componente es utilizado a través del proceso de fermentación. La determinación de fibra cruda proporciona una idea de lo que le sucede al alimento en el estómago (ambiente ácido) y en el intestino (ambiente alcalino). Al poder ser empleada la fibra de manzana como aditivo no hay gran repercusión en cuanto a su valor calórico, puesto que a mayor concentración de fibra cruda, menor será la densidad energética de un alimento (Vílchez, 2011).

El término extracto etéreo se refiere al conjunto de las sustancias extraídas, que incluyen, además de los ésteres de los ácidos grasos con el glicerol, determinados alcoholes, los fosfolípidos, las lecitinas, los esteroides, las ceras, los ácidos grasos libres, los carotenos, las clorofilas y otros pigmentos, (RESITEIA, 2001; Caravaca, 2003).

El concentrado de fibra de bagazo de manzana contiene un valor de extracto etéreo de 7.7% mayor que el reportado por García *et. al* (2014) para la pulpa de cítricos con 1.6%, por lo que posee un mayor aporte energético que la segunda fibra, y proporciona un contenido aproximado sobre el contenido de lípidos, de esta forma, puede ser empleado como aditivo en productos de panadería con altos contenidos en grasa, sin que el valor calórico se vea afectado gradualmente.

El concepto de residuo de incineración o de cenizas se refiere al residuo que queda tras la combustión (incineración) completa de los componentes orgánicos de un alimento en unas condiciones determinadas, indicando el material mineral que contiene el alimento (Matissek, Schnepel y Steiner, 1992; Ángel, Interián y Esparza, 2013).

El concentrado de fibra de bagazo de manzana muestra un contenido de 1.52% de cenizas, parecido, pero menor, al valor comparado de 1.24 ± 0.03 reportado por Figuerola *et. al*. (2005) para fibra de manzana Granny Smith A., y menor a 7.1% de pulpa de cítricos reportado por García *et. al* (2014).

El contenido de minerales que aporta la fibra de bagazo de manzana se encuentra cercano al valor recomendado para su consumo que va de unos microgramos a 1 g/día, teniendo en cuenta que el valor recomendado es mayor que el que se necesita debido a que no necesariamente los minerales son absorbidos en su totalidad al ingresar al organismo, por lo que la composición de minerales en la fibra de bagazo de manzana es una buena alternativa como fuente de dichos nutrientes para el consumo humano pues su consumo ayuda a regular el metabolismo (Fennema y Tannebaun, 2010).

Las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas de aminoácidos unidos entre sí, unidos por enlaces peptídicos, y se encuentran como mezclas complejas en los tejidos orgánicos (Bolaños, Herrera y Lutz, 2003). Se encuentran entre los componentes más importantes por su naturaleza nitrogenada (Matissek, Schnepel y Steiner, 1992).

Como se muestra en la Tabla 2, el contenido de proteína de la fibra de bagazo de manzana obtenida (5.18%) fue mayor en 1.5% en comparación con el reportado por Figuerola *et. al.* (2005) mostrando un valor de $3.68 \pm 0.08\%$ para el concentrado de la pulpa de manzana Granny Smith A., y menor en 0.92% con respecto a la pulpa de cítricos mostrando un contenido proteico de 6.1% determinado por García *et. al* (2014).

Los valores bajos que se presentan se debe a que las frutas contienen poca cantidad de proteínas, en frutas frescas se halla un contenido aproximado de 0.2 a 3 g/100 g de proteína; la fibra de bagazo de manzana presenta 5.18% de tal nutriente, cifra que sale del rango estimado para una fruta fresca, como el bagazo de manzana fue sometido a un proceso de deshidratación para obtener la fibra, se produce un incremento en la concentración de los “sólidos”, entre ellos la proteína (Calvo y Mendoza, 2010)

La fibra de bagazo de manzana contiene un alto contenido proteico, posee la capacidad de aportar aminoácidos, necesarios para el crecimiento y mantenimiento de las estructuras corporales, como la reparación y formación

de tejidos, síntesis de enzimas y hormonas, entre otras funciones (Fuller *et. al.*, 2005; Calvo y Mendoza, 2010).

Los hidratos de carbono constituyen un grupo de compuestos naturales con enlace carbonilo (aldehído o cetona) que además tiene varios grupos hidroxilo. Entre ellos se encuentran los azúcares simples (monosacáridos), y sus polímeros, los oligosacáridos y los polisacáridos (Koolman y Röm, 2004).

En la Tabla 2 se observan los datos obtenidos con respecto al contenido de carbohidratos totales de la fibra de bagazo de manzana (50.53%) y se muestra que tiene un valor mucho más alto (21.63%) al obtenido por Figuerola *et al.* (2004) en pulpa de manzana reportando un valor de 28.9%.

La fibra de bagazo de manzana como fuente de carbohidratos, favorecen las reacciones metabólicas y estructurales, siendo la función más importante la de satisfacer las necesidades energéticas del organismo mediante la liberación de energía almacenada en los enlaces de carbono y su transformación en trabajo biológico; además también son el vehículo de algunos micronutrientes y fitoquímicos (Calvo y Mendoza, 2010; Cummings *et al.*, 1997).

3.5 Análisis de compuestos fibrosos

3.5.1 Fibra dietaria total

Los hidratos de carbono fibrosos constituyen la fibra vegetal. Desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia, y que se compone de un entramado tridimensional de celulosa, hemicelulosa y lignina, pero frecuentemente se le asocian minerales y otros componentes (Calsamiglia, 1997).

La FDT incluye todos los componentes de los alimentos que no son degradados por las enzimas del aparato digestivo humano a fragmentos asimilables, por lo que puede considerarse esencialmente como polisacáridos y lignina resistentes a la hidrólisis de enzimas digestivas del hombre (Trowel *et al.*, 1976) y se llaman polisacáridos no amiláceos (Egan, Kirk, y Sawyer, 1996). La fibra dietética está compuesta principalmente por los remanentes de células

vegetales comestibles, los tejidos parenquimatosos son la fuente más importante de fibra vegetal (De Vries y Faubion, 1999; Eastwood, 1992).

La FDT es el término analítico para cuantificar fibra dietética, la cual incluye fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI), la primera ejerce una actividad metabólica y la segunda una actividad mecánica sobre el tracto digestivo (Gorinstein et al., 2001; Dreher, 1987).

La tabla 5. Fibra dietaria total para la fibra de bagazo de manzana.

Componente	Fibra de bagazo de manzana	Fibra de pulpa de manzana Granny Smith A.*
	Datos expresados en porcentaje %	
FDT	41.63±1.3	60.7±0.23
FDI	41.47±1.3	56.5±0.20
FDS	0.16±0.004	4.14±0.21

* Figuerola et. al (2005). Fibra de pulpa de manzana Granny Smith A.

La FDI está compuesta fundamentalmente de fragmentos de las paredes celulares que contienen celulosa, lignina y algunas hemicelulosas; cerca del 75% de la fibra dietética en los alimentos está presente en forma de fibra insoluble (Dreher, 1987; Gotteland y Peña, 2011).

De acuerdo a la tabla 5, la fibra de bagazo de manzana presentó un contenido de 41.47% en cuanto a FDI, mientras que Figuerola *et al.* (2005) reporta un valor de 56.5±0.20% para la pulpa de manzana Granny Smith A., por lo que puede decirse que la fibra de bagazo de manzana posee un mayor contenido de celulosa con respecto a la hemicelulosa. Las diferencias en esta propiedad pueden deberse a la composición químicas, como el contenido de celulosas y otros compuestos insolubles de la fibra, así como también el grado de maduración de las frutas y la naturaleza de las mismas puesto que la primera

se trata de fibra derivada de un residuo agroindustrial, mientras que la segunda se trata de fibra proveniente de una fruta fresca (Viñas et al., 2013).

Este tipo de fibra puede absorber y retener agua dentro de su matriz fibrosa y absorber componentes como una FDS pero sin formar soluciones viscosas, actuando como una especie de esponja. Tecnológicamente las FDI estabilizan los sistemas alimentarios, mejoran la densidad del producto, y minimizan la contracción, y mejoran la textura de los alimentos, cuando se emplea en productos de bollería y confitería que le confieren características sensoriales y volumen determinadas que mejoran su calidad, en pastas se mejora la característica denominada al dente (Al-Sheraji, 2011; Gotteland y Peña, 2011). La FDI presenta propiedades funcionales que son características fisicoquímicas que influyen de un modo específico sobre su apariencia y comportamiento (Badui, 2012).

La FDI tiene muy poco o ningún efecto sobre el perfil lipídico sérico, y ejerce una actividad mecánica sobre el tracto digestivo, promueve la función intestinal normal mediante la absorción de agua, aumentando el volumen de la masa fecal debido a su capacidad de retención de agua, aumentando la velocidad del tránsito de las heces a través del colon; también se relaciona con la protección y alivio de algunos trastornos digestivos como estreñimiento y constipación. (Barcía, 1995; Khaw y Berret-Connor, 1987; Zambrano et. al., 1998).

En cuanto a la FDS está compuesta mayoritariamente por polisacáridos no-celulósicos tales como la pectina, gomas, algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y mucilagos (Córdoba 2005).

La fibra de bagazo de manzana posee un contenido de 0.16%, de FDS mucho menor al resultado arrojado por Figuerola *et al.* (2005) para la pulpa de manzana Granny Smith A. con $4.14 \pm 0.21\%$; por lo que puede decirse que la fibra de bagazo de manzana posee un menor contenido de hemicelulosa soluble.

La FDS tiene una alta capacidad de hidratación y se hincha para formar soluciones viscosas en presencia de agua; también absorbe y retiene otras sustancias como minerales, moléculas no polares y glucosa, entre otras. Debido a éstas propiedades, algunas fibras solubles (pectinas, gomas, carragenanos y alginatos) se han empleado como agentes espesantes y gelificantes, como estabilizadores de espumas y emulsiones, formador de películas y mimético de agentes grasos, además de que tienen un uso potencial en procesos de encapsulación (Al-Sheraji, 2011).

La FDS ejerce principalmente una actividad metabólica en el tracto digestivo y esto se debe a las propiedades antes mencionadas. Las fibras viscosas, incrementan la viscosidad del jugo gástrico, absorbiendo moléculas orgánicas como colesterol y ácidos biliares en las partículas coloidales que se forman por su absorción, disminuyendo de esta manera la concentración de colesterol y glucosa en la sangre; dicha formación de soluciones reduce el contacto de los nutrientes con la mucosa intestinal. Se reduce el vaciado gástrico y aumenta su distensión, prolongando la sensación de saciedad. Además la FDS es un sustrato altamente fermentable por las bacterias del colon, estimulando su proliferación, lo que ayuda a mantener su estructura y adecuado funcionamiento), esta propiedad se asocia con el metabolismo de carbohidratos y lípidos. Este tipo de fibra también confiere volumen a las heces (Flores et. al. 2006; Gallear y Schneeman 2001; Rosado, 1989; Sastre, 2003; Tungland y Meyer, 2002; Valencia y Román 2004).

El resultado de FDT es la suma de FDS y FDI, arrojando un valor de 41.63%, mucho menor en 19.07% al valor reportado por Figuerola *et al.* (2005) para la pulpa de manzana Granny Smith A. con $60.7 \pm 0.23\%$. Siendo el contenido de mayor proporción el de la fracción insoluble respecto a la fracción insoluble en la fibra de bagazo de manzana. Las diferencias en cuanto a FDT entre ambas fibras se deben al proceso de extracción de las mismas y a que la primera se produjo de un residuo agroindustrial que ha pasado por un proceso de acondicionamiento, mientras que el segundo se trata directamente de un fruto fresco.

La fibra dietética es importante para la salud humana, dietas altas en fibra están asociadas con la prevención, reducción y tratamiento de algunas enfermedades; sus efectos fisiológicos están relacionados con las propiedades fisicoquímicas y funcionales (Figuerola et al., 2004). De acuerdo a Flores et al. 2006, las fibras de frutas y vegetales, presentan más bajos niveles de colesterol total y lipoproteínas de baja densidad, lo que disminuye el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.

Las fibras dietéticas no sólo son deseables por sus propiedades en nutrición, sino también por sus propiedades funcionales y tecnológicas, pues se pueden utilizar en productos agrícolas y subproductos para su uso como ingredientes alimentarios (Schieber, Stintzing y Carle, 2001; Thebaudin et al., 1997)

3.5.2 Fibras detergentes

La fracción de fibra bruta, es una medida grosera de los componentes como celulosa, hemicelulosa y lignina, por ello se ha tratado de establecer otros sistemas de fraccionamiento de los carbohidratos estructurales que aporten información más precisa sobre éstos compuestos. El sistema desarrollado por Van Soest distingue tres tipos de fibra: Fibra Detergente Neutra (FDN) Fibra Detergente Ácida, que cuantifican las fracciones de la pared celular de importancia nutricional (Caravaca, *et. al.*, 2003)

Los resultados obtenidos en los análisis de compuestos fibrosos de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Contenidos de fracciones de FDN y FDA en fibra de bagazo de manzana.

Componente	%
FDN	44.43±1.29
FDA	35.77±0.45

Los resultados son el promedio de tres determinaciones.

La fracción de paredes celulares o FDN trata de determinar el contenido en paredes celulares de una muestra de alimento. La FDN ofrece una estimación más precisa del total de fibra o pared celular en el alimento. El residuo que se recoge teóricamente es la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina que contienen las paredes celulares de dicho alimento (Caravaca, *et. al.*, 2003; Wattiaux, 1996). La diferencia entre el método neutro y ácido detergente nos da la hemicelulosa (Robbins, 1975). Este método permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento y el residuo es considerado como la fibra no digerible (FAO, 1993).

La FDN del bagazo de manzana arrojó un valor de 44.43%, este cifra nos da una aproximación de la fracción insoluble de la fibra dietaria total (García, Infante y Rivera, 2009), que es un valor semejante al obtenido por la metodología de la AOAC (1995) a través de la técnica oficial 991, con un valor de 41.47% de FDI, existiendo una diferencia del 2.96%. Los distintos valores hallados se deben a las condiciones en que fue sometida la muestra en cada análisis, puesto que en el análisis de FDN la fibra fue tratada solamente con químicos con el objetivo de fraccionar el alimento en entidades químicas, de acuerdo con su disponibilidad nutritiva, pero en el método puede haber interferencia de moléculas de almidón y nitrógeno (Ramírez, 2003); mientras que en la segunda, la muestra es tratada con alfa-amilasa y posteriormente se digiere con proteasa y amiloglucosidasa con el objeto de remover la proteína y el almidón presentes (AOAC, 2002).

Cuando se aplican los métodos enzimáticos-gravimétricos para la cuantificación de la fibra, se obtienen mejores resultados que usando los métodos químicos (García, Infante y Rivera, 2009)

La fracción de FDA, determina el contenido de celulosa y lignina insolubles de la muestra analizada, aunque suelen existir otros componentes minoritarios como minerales y nitrógeno. Para obtenerla se realiza una hidrólisis ácida con un detergente y un ácido durante una hora sobre una muestra, o bien sobre el residuo de FND (Calsamiglia, 1997; Caravaca, *et. al.*, 2003). En el residuo se puede analizar la celulosa o lignina (Goering y Van Soest, 1970).

El valor obtenido para la FDA del concentrado de fibra de bagazo de manzana es de 35.77%, porcentaje compuesto por celulosa y lignina, que son compuestos indigeribles por las enzimas del tracto digestivo.

Con las cifras conocidas para FDN, FDA y obteniendo lignina por el método de Schwanninger y Hiterstoisser, (2002), se estimaron los valores de hemicelulosa, celulosa. En la tabla 7 se muestra el valor de cada uno de dichos componentes que se encuentran en el residuo de bagazo de sidra de manzana. Para la determinación del porcentaje de hemicelulosa y celulosa, se ocuparon las siguientes ecuaciones sustituyendo los valores de las tablas 5 y 6:

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \% \text{ FDN} - \% \text{ FDA}$$

Ec. 7

$$\% \text{ Celulosa} = \% \text{ FDA} - \% \text{ Lignina}$$

Ec. 8

Tabla 7. Proporciones de hemicelulosa, celulosa y lignina en fibra de bagazo de manzana.

Componente	Fibra de bagazo de manzana	Fibra de pulpa de pera*
	Datos expresados en porcentaje %	
Hemicelulosa	8.66±1.58	18.6
Celulosa	21.90±0.45	34.5
Lignina	13.87±1.2	33.5

Los resultados son el promedio de tres determinaciones.

*Nawirska y Kwasniewska (2005). Fibra de pulpa de pera

La lignina no es un polisacárido, sino un polímero conformado por macromoléculas de alto peso molecular que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos, su estructura es muy compleja y amorfa; debido a que se encuentra químicamente unida a las hemicelulosas de la pared de las células vegetales y colabora en algunas propiedades fisiológicas gastrointestinales de la fibra, se incluye dentro del concepto de fibra dietaria.(Escudero y Gonzáles, 2006; Rodríguez y Magro, 2008).

El valor obtenido para lignina del concentrado de fibra de bagazo de manzana es de 13.87%, mucho menor en 19.63% por el valor encontrado por Nawirska y Kwasniewska (2005) en el concentrado de fibra de pulpa de pera con 33.5%. El contenido de ésta depende del estado de maduración de la fruta, y su determinación sirve para predecir la digestibilidad en materia seca y energía de un alimento se encuentra envolviendo a la celulosa y hemicelulosa y restringe al acceso a estos carbohidratos, que sí pueden ser digeribles (Bierre, Olesen y Fernqvist, 1996; Cho S, DeVries y Prosky, 1997)

La lignina no se digiere ni se absorbe, y tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Posee propiedades antioxidantes en presencia de aceites vegetales, ayuda a la absorción de moléculas orgánicas por lo que tiene la

capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado (Catignani y Carter, 1982; Kolida, 2002; Olagnero et al., 2007); dichas cualidades hacen que se trate de un componente importante dentro de la fibra alimentaria, por lo que la fibra de bagazo de manzana ayuda a tales propiedades fisiológicas, pues acelera el paso de los alimentos a través del estómago y de los intestinos (Betancur et al., 2003; Zamora y Pérez-Llamas, 2002).

La hemicelulosa junto con la celulosa constituyen los polisacáridos mayoritarios de la pared celular, se distinguen de las celulosas por la ausencia CH_2OH de los grupos laterales. Está constituida por pentosas, sobre todo D-xilanos, los cuales son derivados de la D- xilosa con enlace (1 – 4), y de hexosas distribuidas de forma ramificada y lineal conformando polímeros tipo polisacáridos (como los xiloglucanos, formados por glucosas) denominados no-celulósicos a través de enlaces β (1-4), haciendo que su estructura sea menos rígida que la de la celulosa. Las hemicelulosas se pueden clasificar en *hemicelulosas neutras* que incluyen pentosanas de arabinosa y xilosa (generalmente llamados xilanos), y hexosanas de galactosa, manosa y glucosa, y *hemicelulosas ácidas*, donde aparecen los ácidos galacturónico y glucurónico. Las diferencias en la composición química hacen que presenten distintas propiedades físicas y químicas, de manera que en este grupo existen componentes solubles e insolubles (Aspinall, 1982; Lineback, 1999; Mataix y Gassull, 2002; Gray, 2006; Moreno 2000; Taiz y Zeiger, 2006).

El porcentaje de hemicelulosa para la fibra de bagazo de manzana (8.66%) es menor en 9.94% al valor reportado por Nawirska y Kwasniewska (2005) para la fibra de pulpa de pera (18.6%), las diferencias se deben a la naturaleza misma de los fibras, como lo es su composición química y estado de maduración, así como también el proceso de extracción de las fibras y las diferentes metodologías para calcular el porcentaje de hemicelulosa, puesto que para la fibra de bagazo de manzana se calculó mediante los valores arrojados por la FDN y FDA, que fueron el resultado después de tratar la muestra con soluciones detergentes, mientras que los valores hallados para la fibra de

bagazo de manzana, son resultado de haber sometido el alimento a un tratamiento químico-enzimático.

Las hemicelulosas no se digieren en el intestino delgado, pero sí se degradan parcialmente en el colon por acción de la microbiota intestinal. Por ser altamente ramificada y poseer tantos grupos polares en los diversos azúcares, las hemicelulosas son fácilmente solubles en agua (Córdoba, 2005; Machado, 1997; Hut 2004).

La fracción insoluble de los pentanos aporta otras características más adecuadas para la calidad final en productos de panadería. Los arabixilanos (pentanos) son solubles en agua e incrementan la viscosidad esta propiedad se aprovecha en la elaboración de masas en bollería. (Kim y D'Appolinia, 1977; Lineback, 1999); debido a su estructura química posee propiedades antioxidantes (Baublis, Clydesdale y Decker, 2000; Andreassen et al., 2001), lo que hace adecuado su uso con ingrediente alimentario. Por su parte los xilanos son insolubles en agua y solubles en soluciones alcalinas (Eyzaguirre, 1974), por lo que pueden ser solubilizadas durante la determinación de FDN y FDA por los tratamientos con soluciones detergentes.

Por otra parte la celulosa está formada por unidades de D-glucosa unidas por enlaces β (1-4) (Taiz y Zeiger, 2006). Es el componente más abundante de las paredes celulares de las plantas superiores (Lineback, 1999; Mataix y Gassull, 2002), representa aproximadamente 1/4 de la fibra alimentaria de los granos de cereales y frutas, y 1/3 en hortalizas y frutos secos (Gray, 2006) aunque este valor dependerá de la especie y estado de maduración de cada uno.

En la Tabla 4 se observan los datos obtenidos con respecto al contenido de celulosa de la fibra de bagazo de manzana con 21.90% y se muestra que tiene un valor mucho menor en 12.6% al obtenido por Nawirska y Kwasniewska (2005) en fibra de pulpa de pera reportando un valor de 34.5%; las diferencias se deben a que la pera contiene un menor porcentaje de humedad (6%) lo que hace que la fibra de pulpa de pera se encuentre más concentrada en aproximadamente un 2%, además de la composición química y la naturaleza

de las fibras, la primera es un residuo mientras que la segunda se deriva de un fruto fresco. Se puede observar que el valor hallado para fibra de bagazo de manzana representa la mitad de la FDT (41.63%), es más que la tercera parte de lo que contiene una fruta seca como lo reporta Gray (2006), esto se debe a que se trata de un cocentrado en polvo con un porcentaje de humedad del 7.55%, mientras que una fruta seca posee un porcentaje hasta del 25% (Hardenburg, Watada y Wang, 1988).

Entre las principales propiedades de la celulosa es que es resistente a la digestión de la enzimas humanas, debido a su alta capacidad hidrofílica (0.4 ml/1 g de celulosa) por la forma de su estructura, ayuda a fijar agua en el intestino. Las bacterias del colon son capaces de convertir hasta en un 30% de ácidos grasos volátiles a partir de la celulosa ingerida. Además, puede aumentar la excreción de zinc, calcio, fósforo, hierro (Gray, 2006; Sastre, 2003

La fibra de bagazo de manzana es una buena fuente de celulosa, y puede ser empleada en panadería otorgando una textura suave a los productos, que a pesar de no poseer la capacidad de formar soluciones viscosas, puede ser aislada y modificada tecnológicamente. Dependiendo del tamaño molecular de los polímeros y de su forma de aislamiento, este componente puede ser capaz de atrapar diferentes cantidades de agua. Se utiliza en la industria de alimentos en forma microcristalina y en forma de derivados químicos como estabilizantes y material de relleno. La celulosa microcristalina se obtiene por hidrólisis parcial con ácido clorhídrico, si se presenta en forma de polvo se emplea como ingrediente alimentario de relleno en algunos productos para disminuir las calorías, y si se encuentra en forma coloidal se utiliza como estabilizador de espumas y emulsiones y como modificadores de textura para controlar la formación de cristales de hielo en postres congelados (Chávez et al., 2004; Ziegler y Filer, 1996; UNAD, s.f.).

3.5.3 Difracción de rayos X

La fibra del bagazo de manzana, fue analizada por DRX para determinar el porcentaje de cristalinidad de las muestras. En la Fig. 30 se presentan el difractograma y fue analizado con base a las reflexiones conocidas para la celulosa. Los picos de difracción están asociados a la celulosa tipo I o celulosa nativa, mostrando las reflexiones principales en los ángulos de Bragg 14° , 17° y 23° 2θ , la celulosa nativa se encuentra de manera natural en plantas y está constituida por dos formas cristalinas, $I\alpha$ y $I\beta$, con una estructura triclinica y monoclinica, respectivamente. Esto concuerda con lo previamente descrito para fases predominantes en plantas superiores.

El difractograma presento picos intensos y débiles, comparados con la celulosa, el de mayor intensidad fue a $2\theta = 23^\circ$. Dicho comportamiento se ha asociado con una la disminución de la cristalinidad e incremento en la porción de compuestos de los compuestos amorfos (no celulósicos) y a las diferentes conformaciones de enlace presentes en estas partes desorganizadas de las fibras. Las reflexiones en $2\theta = 14$ y 17° se visualizaron superpuestas formando lo que se puede ver como $2\theta = 15.8^\circ$. Esto se relaciona con la existencia de regiones menos ordenadas en la celulosa, además de regiones amorfas vinculadas con la presencia de hemicelulosas. Rondeau et al., (2003), acerca de la reflexión $2\theta = 34$ la intensidad se baja, esto es enlazado con la disminución de la cristalinidad y la presencia de componentes amorfos, debido a que no presenta zonas recalcitrantes.

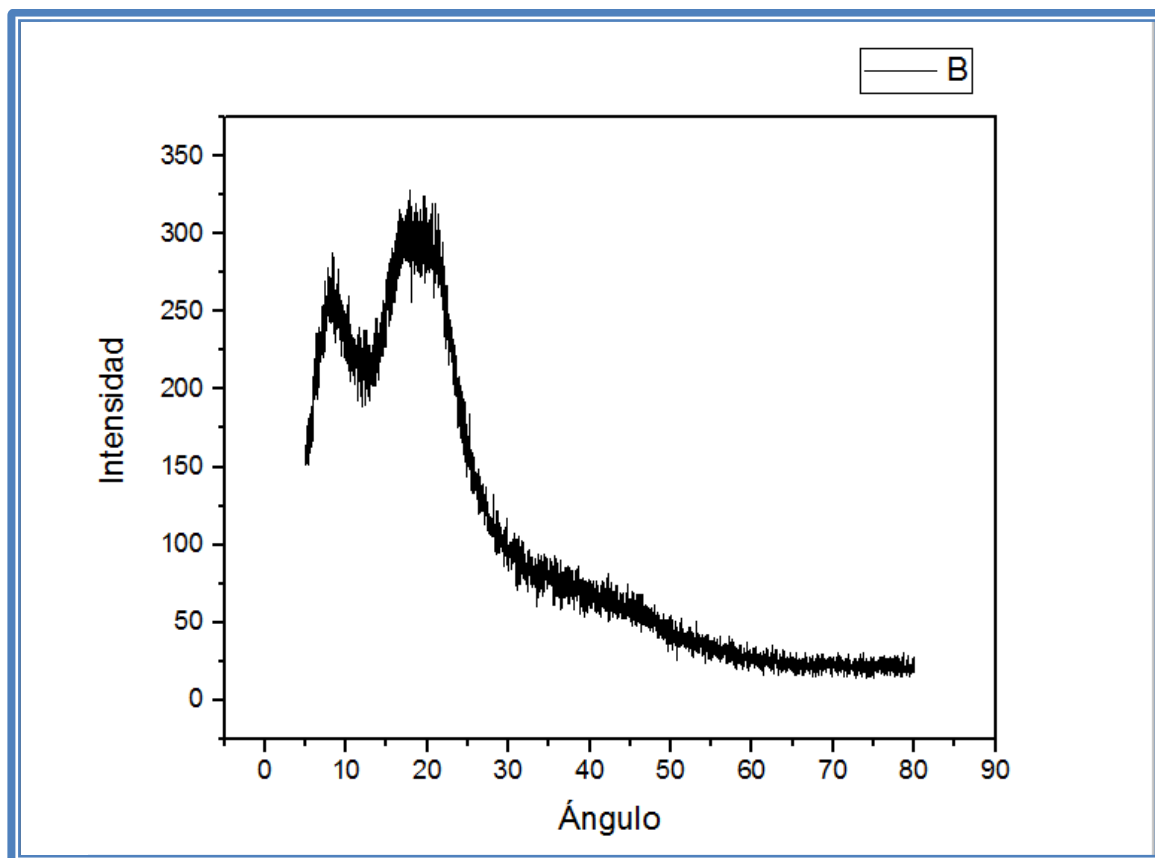


Fig. 30. Difractograma del residuo agroindustrial de sidra de manzana

3.6 Análisis microbiológico

3.6.1 Determinación de mohos y levaduras

La fibra obtenida del bagazo de sidra de manzana, en el caso de las levaduras se encontró mayor de 150 UFC/g en levaduras en agar papa-dextrosa acidificado, incubadas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 5 días. Esto se debe a que la fibra posee un pH muy bajo (3.19) y por ser considerada como alimento de alta acidez (Cameron y Esty, 1940), por lo tanto está sujeta al ataque de levaduras a pesar de poseer un contenido de humedad bajo, puesto que pueden crecer en un rango de pH de 2-8, (Armada y Ros, 2007; Jay, 2000). Además de que la fibra de bagazo de manzana posee azúcares asimilables por este tipo de microorganismo como la fructuosa y la glucosa (Bourgeois y Lapen, 1995).

En el caso de moho, también se presentó crecimiento en las placas y fue de menos de 21 UFC/g de mohos en agar papa-dextrosa acidificado, incubadas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 5 días. Esto se debe a que a que los mohos crecen en menor contenido de humedad disponible, y son capaces de crecer dentro de un gran intervalo de pH, que va de 1-11, y pueden utilizar sustratos como las pectinas, polisacáridos, proteínas y lípidos para su desarrollo (Doyle, 1997; Jay, 2000).

La determinación y cuantificación de mohos y levaduras es importante para conocer y mantener la calidad de los alimentos, puesto que se emplean como indicadores de prácticas sanitarias inadecuadas.

3.6.2 Determinación de coliformes totales.

La fibra obtenida del bagazo de manzana no presentó crecimiento de coliformes totales/mL en placas de agar rojo violeta bilis, incubados a $35 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 ± 2 horas.

Esto se debe a que para obtener la fibra de bagazo de manzana, el residuo se sometió a un proceso de secado y calentamiento entre 60 y 70°C , y los coliformes totales son fácilmente destruibles por calor a temperaturas elevadas, puesto que no se trata de microorganismos termorresistentes (Doyle, 1997).

El grupo de los microorganismos coliformes es el más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de prácticas higiénicas inadecuadas, ya que su uso como indicador sanitario hace referencia a deficientes prácticas de sanitización de superficies y un mal proceso de desinfección en materia prima, como frutas y verduras. (Bravo, 2004).

CONCLUSIONES

Se obtuvo un polvo alimenticio alto en fibra dietética extraído del residuo agroindustrial de sidra de manzana proveniente de la industria productora de sidra del Estado de Puebla, ubicada en la región de Huejotzingo.

Se analizaron las características físicas y químicas del polvo de fibra, siendo acidez titulable, pH y grados brix, parámetros que demuestran la calidad de dicha fibra para ser utilizado como materia prima.

A través de un análisis químico proximal se logró especificar la composición química de éste, encontrando que los valores de humedad, cenizas y proteína se encuentran en medio de los datos encontrados en las dos bibliografías comparadas; y que los resultados de fibra cruda, extracto etéreo e hidratos de carbono son mayores a los de bibliografía. En cuanto a los compuestos fibrosos se analizó el contenido de paredes celulares como hemicelulosa, celulosa y lignina por medio de los valores arrojados por la determinación de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida, en el caso de fibra dietaria total se encontró que posee un alto contenido.

El análisis microbiológico mostró que la cantidad de microorganismos presentes en el polvo se debe a la naturaleza de la misma fibra, presentando un alto contenido en levaduras, poco en mohos y cero en coliformes totales, por lo que la fibra de bagazo de manzana se encuentra libre de patógenos.

Todo esto permite notar que los residuos de bagazo de manzana pueden ser una fuente alternativa para el consumo de fibra en el ser humano.

Bibliografía

1. Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (2004). Introducción a la Tecnología de Alimentos. México, DF: Limusa.
2. Al-Sheraji, S. H., Isamil, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., y Abdulrahman, F. (2011). Functional Properties and Characterization of Dietary Fiber from *Mangifera pajang* Kort. *Fruit Pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Número 59.
3. Anderson y Eatswod (1987). Propiedades fisicoquímicas de la fibra. En Heredia *et. al.* (Ed). Fibra alimentaria. España: CSIC.
4. Andreasen, M., Kroon, P., Williamson, G. y García-Conesa, M.(2001). Esterase activity able to hydrolyze dietary antioxidant hydroxycinnamates is distributed along the intestine of mammals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(11): En Rostro, M. J. (Ed.). Obtención y caracterización química de arabinosiloligosacáridos a partir de pericarpio de maíz nixtamalizado y determinación de la actividad prebiótica y actividad antioxidante. Universidad Autónoma de Nuevo León.
5. Ángel, A. R., Interián L. y Esparza R. M. (2013). Principios básicos de bromatología para estudiantes de nutrición. Estados Unidos de América: Palibrio LLC.
6. Amaya, Y. y Rodríguez, A. (2006). Fórmulas enterales. En Patiño, J. F. (Ed.). *Metabolismo, Nutrición y Shock*. Bogotá, Argentina: Editorial Médica Panamericana.
7. Armada, L. y Ros, C. (2007). Manipulador de alimentos. La importancia de la higiene en la elaboración y servicio de comida. España: Ideaspropias
8. Aspinall, G.O. (1982). Analysis of polysaccharides. En: *Food Carbohydrates*. (Ed). Lineback, D.R., y Inglett, G.E., AVI Publishing Co., Westport.
9. AOAC (2002). Official Methods of Analysis. E. U. U.: International Gaitherstourg. (16).

10. Bach, A., Calsamiglia, S. y Ferret, A. (2004). *Pulpa de manzana, silo*. Recuperado el 4 de marzo de 2014, del sitio Web de Fundación Española para el Desarrollo Nutricional Animla (FEDNA): http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-manzana-silo
11. Badui, S. et. al. (2012). *La ciencia los alimentos en la práctica*. México: PEARSON EDUCACION.
12. Barbosa, G. V. y Vega, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Madrid, España: ACRBIA.
13. Barcia, E. Cadorniga, (1995). R. An. Real Acad. Farm. 61. En Flores, A., Román, M., Martínez, L., Gutiérrez, E., Medina, B. (Ed). *Optimización de un preparado de fibra a partir de diferentes residuos de frutas*. Vol. 13. Núm. 1
14. Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Caracas, Venezuela: Equinoccio.
15. Baublis, A., Clydesdale, F. y Decker, E. (2000) Antioxidants in wheat-based breakfast cereals. *Cereal Foods World*. 45.
16. Bjerre, A., Olesen, A. y Fernqvist, T. (1996). Pretreatment of wheat wtraw using combine wet oxidation and alkaline hydrolysis resulting in convertible cellulose and hemicellulloses. *Biotechnol Bioeng*. Vol. 49. En (Ed) Segura, S., Echeverri, R., Patiño, A. y Mejia, A. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Vitae*. Vol. 14. Núm. 1
17. Berriak, R. J. Azti investiga la forma de dar valor a los residuos procedentes de la elaboración de la sidra. Berriak noticias. Recuperado el 7 de abril de 2014 de: http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-7393/es/contenidos/boletin_revista/sustrai_76/es_agripes/adjuntos/76_28_29_c.pdf
18. Betancourt, D., Pérez, V., y Chel, L. A. (2003). Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación . *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatan*, 227,3-13.

19. Blasco, C. (2006). Nutrición básica humana. Ed. Universidad de Valencia. Vol 91. pág 421
20. Bolaños, N., Herrera, C. H. y Lutz, G. (2003). Química de los Alimentos: Manual de Laboratorio. Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
21. Bravo (2004). Manejo higiénico de los alimentos. Guía para la obtención del distintivo H. México: LIMUSA.
22. Bourgeois, C. M., Harrington, M., y Thebaudin, J. Y. (1997). Dietary fibers: Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. En Figuerola *et. al.* (Ed). Fibre concentrates from appel pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*.
23. Bourgeois, C. M. y Lapen, J. P. (1995). Microbiología alimentaria. España: Acribia
24. Calvo, C. y Mendoza, E. (2010). Bromatología: composición y propiedades de los alimentos. México, D.F.: Mc Graw Hill.
25. Calsamigía, S. (1997). Nuevas Bases para la utilización de la fibra en dietas rumiantes. Departamento de patología y producción animal. Universidad Autónoma de Barcelona.
26. Cameron y Esty (1940). Construcción de curvas de penetración de calor. En Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (Ed). Introducción a la Tecnología de Alimentos. México, DF: Limusa.
27. Cañas, Z., Restrepo, D. A. y Cortés, M. (2011). Revisión: Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 64, núm. 1, Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia Pág. 6024
28. Caravaca, F. P. et. al (2003). Composición analítica de los alimento. *Bases de la producción animal*. 1 (16).
29. Carle, R., Schieber, A. y Stintzing, F. C. (2001). Byproducts of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. En Figuerola *et. al.* (2004). Fibre concentrates from appel pomace and

- citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91.
30. Casp, V. y Abril. A. J. (1999). Procesos de conservación en alimentos. España: Mundi-Prensa.
 31. Catignani, G. L. y Carter, M. E. (1982). Antioxidant properties of lignin. *Journal of Food Science*. 47. En Córdoba (Ed). Caracterización de propiedades relacionadas con la textura de suspensiones de fibras alimentarias. Universidad Politécnica de Valencia
 32. Chávez, J. L., Martínez Yee, Suri; Contreras, M. y Escamilla, E. (2004). Celulosa bacteriana en *gluconacetobacter xylinum*: biosíntesis y aplicaciones. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 7, núm. 1.
 33. Chen, H., G.L. Rubenthaler, H. Leung and J.D. Baranowski. 1988. Chemical, physical and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. *Cereal Chemistry* 65(3): 244–247. En Cañas, Z., Restrepo, D. A. y Cortés, M. (2011). Revisión: Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 64, núm. 1, Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia Pág. 6024
 34. Cho S, DeVries JW, Prosky L. (1997) Dietary Fiber Analysis and Applications. Gaithersburg, MD: AOAC; 1997
 35. Comité de Normas Alimentarias (1979). Reporte sobre agua en alimentos, FSC/REP/70. Londres: HMSO. En Egan, H., Kirk, R. S. y Sawyer, R. (Ed). Composición y análisis de alimentos de PEARSON. México: Patria. En (Ed) Segura, S., Echeverri, R., Patiño, A. y Mejía, A. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Vitae*. Vol. 14. Núm. 1
 36. Córdoba (2005). Córdoba A. 2005. Caracterización de Propiedades Relacionadas con la Textura de Suspensiones de Fibras Alimentarias. [Tesis de Doctorado]. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.

37. Correia, R., P. McCue, M. Magalhães, G. Macêdo and K. Shetty. 2004. Production of phenolic antioxidants by the solid-state bioconversion of pineapple waste mixed with soy flour using *Rhizopus oligosporus*. *Process Biochemistry* 39(12): 2167-2172.
38. Cummings et. al. (1997). Consulta de FAO/OMS de expertos sobre los carbohidratos en la nutrición humana. 66. Roma.
39. Dapena et. al. (s. f.) Descripción de las variedades de manzana de la D. O. P. Sidra de Austrias. España: SERIDA.
40. Desrosier, N. W. (1997). Elementos de tecnología de alimentos. México: CECOSA. 267
41. De Vries, J. W. y Faubion, J. M. (1999). Defining dietary fiber. A report on the AACC/ILSI NA cosensus workshop. *Cereals Foods World*, 44 (7). En Figuerola et. al. (2004). Fibre concentrates from appel pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91.
42. Diario Oficial de la Federación. (2003, noviembre). *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*. Recuperado el 12 de abril de 2014 de: http://www.normateca.gob.mx/Archivos/66_D_3156_31-05-2012.pdf
43. Doyle, M. P. (1997). Microbiología de los alimentos. Fundamentos y Fronteras. España: Acribia.
44. Dreher, M. (1987). Dietary fiber content of food sources. *Handbook of Dietary Fiber: An Applied Approach*. Marcel Dekker, Inc., New York.
45. Egan, H., Kirk, R. S. y Sawyer, R. (1996). Composición y análisis de alimentos de PEARSON. México: Patria.
46. Elleuch, M., D. Bedigian, O. Roiseux, S. Besbes, C. Blecker and H. Attia. (2011). Dietary fibre and fiber-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry* 124(2): 411-421.
47. Escudero Álvarez, E.; González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, vol. 21, núm. 2.
48. Eyzaguirre, J. (1974). Química de los hidratos de carbono. Santiago de Chile: Andrés Bello.

49. FAO (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Programa cooperativo gubernamental FAO – ITALIA. Proyecto AQUILA II. Documento de campo no. 7. México. D.F. Recuperado el 23 de Agosto de 2015 de: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S00.htm>
50. FAO y Ministerio de Sanidad y Consumo de España (2002). *Sistemas de Calidad e Inocuidad de los Alimentos. Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de APPCC*. Roma: Grupo Editorial de la FAO.
51. Feippe, A. et. al. (s. f.) Calidad sensorial y físico-químico de la Manzana Mondial proveniente de producción integrada, orgánica y convencional. Acuerdo de Trabajo INIA/JUMECAL.
52. Fennema, O. R. y Tannebaum, S. R. (2010). Introducción a la Química de los Alimentos. España: Acribia. 746
53. Fernández et. al. (2003). Effects of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber. *Journal of Food Science*. En Figuerola et. al. (Ed). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91.
54. Fernández, F. y Gassul, M. Á. (1999). Fibra dietética. En Rodríguez, M. y Sastre, A. (Ed.). *Tratado de Nutrición*. (124-126). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
55. Fernández, M. y Rodríguez, J. L. (2001). Tecnología para la obtención de fibra dietética a partir de materias primas regionales. La experiencia en Cuba. En Lajolo, F. M., y Witting, E. (Ed.). Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Brasil: Ademar Assaoka.
56. Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I. y Asenjo, F. (2004). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91.

57. Fuller, M. et. al. (2005). Determination of Amino Acid Bioavailability in Humans and Model Animals. En Martínez, A. y Muñoz, V (Ed). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *SciELO*. 21 (1). Madrid, España.
58. Fuertes, S. (1998). Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación séptimo simposio de alimentos. Universidad Autónoma de Yucatán. En Matos, A., Chambilla, E. (Ed) Importancia de la fibra dietética y sus propiedades funcionales en la alimentación humana y la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, N° 1
59. Gallear, D., Scheeman, B. O. (2001). Dietary fiber. En Bowman BA, Russel, R.(Ed). Present Knowledge in Nutrition. Washinfon, D.C.
60. García, O., Infante, R. y Rivera, C. (2009). Las leguminosas, una fuente importante de fibra alimentaria: una visión en Venezuela. *Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel"*, 2009; 40 (1) 57 .
61. García, J. L. et. al (2014). De residuo a recurso el camino hacia la sustentabilidad. Red Española de Compostaje. España: Mundi-Prensa.
62. García, O., Infante, R. y Rivera, C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*. Vol 21 (1): 25-30. GIRE SOL. (2012, agosto). *Primer Encuentro de la Red Regional Centro Golfo: Estrategia para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Puebla*. Recuperado el 23 de mayo de 2014 de: <http://www.giresol.org/rrgcg/docs/RRG%20Hidalgo/20%20de%20Agosto/PUEBLA.pdf>
63. Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Washington DC, US Department of Agriculture. (Agriculture Handbook 379). EN CAPITULO 16 ANALISIS DE FIBRA DIETETICA Nelly Pak
64. Gorinsein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, Piotrowicz, J., Zember, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S., y Martín-Belloso, O. (2001). Comparative Content of dietary fiber, total phenolics, an minerals in persimmons and apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

65. Gotteland, M. y Peña, F. (2011). La fibra dietética y sus beneficios para la salud. *InduAlimentos, Revista de la industria de Alimentos y del Packaging*. febrero 2011, numero 68 pag 32 y 33.
66. Gray J (2006) Dietary fiber definition, analysis, physiology & health. In Champ M (ed) Brussels, Belgium: ILSI Europe. En subproducto de la cebolla.
67. Guevara, C. (2007). *La industria sidrera en Puebla*. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, del sitio Web de El Sol de Puebla: línea: <http://www.oem.com.mx/esto/notas/n533597.htm>
68. Guía México (s. f.). *Elaboración de sidra en Puebla*. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, de <http://guia-puebla.guiamexico.com.mx/elaboracion-de-sidra/puebla/empresas-guia.html>
69. Guillon, F, Champ M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. [citado 2000 mayo 2] Disponible en URL: <http://www.uib.es/depart/dque/asignaturas/7/52.pdf>
70. Gunathilake, K., C. Yalegam and A. Kumara. 2009. Use of coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat bread. *Journal Asian of Food and AgroIndustry* 2(3): 382-391
71. Gutiérrez, E., Mira, J., Pasmilo, S. y Planella, I. (1983). *Agroindustrias, fundamentos y conceptos básicos*. Bogotá, Argentina: SIIAC.
72. Hardenburg, R. F., Watada A. E. y Wang, C. Y. (1988). Almacenamiento comercial de frutas , legumbres y existencias de floristerías y viveros. Colección, Investigación y Desarrollo / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Num. 16. Pag 88
73. Hernández, E. (2007). *Mucha sidra... Sólo Zacatlán producirá 400 mil botellas*. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, del sitio Web de El Sol de Puebla: <http://www.oem.com.mx/esto/notas/n533547.htm>
74. Hotchkiss, J. H. y Potter, N. N. (1995). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia. 451.
75. Hughes JS. (1991). Potential contribution of dry bean dietary fiber of health. *Food Technology* 45 (9): 122-126. En Betancur, D., Pérez, V. y

- Chel, L. A. (Ed). Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación. Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán. Núm. 227. Págs.: 5
76. HUT - Helsinki University of Technology. Forest Products Chemistry. Chemistry of Cellulose Making: Module II – Basics of Wood Chemistry; 2004.) (6,13). En Córdoba (2005). Córdoba A. 2005. Caracterización de Propiedades Relacionadas con la Textura de Suspensiones de Fibras Alimentarias. [Tesis de Doctorado]. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
77. ILSE Europe (2006). Fibra dietética definición, análisis, fisiología y salud. ILSI/ILSI Europe, Bélgica. Pág. 13
78. Jay, J. M. (2000). Microbiología moderna de los alimentos. España: Acribia.
79. Khaw, K. T, Berret-Connor, E. (1987) Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 106 pp 555-558. En Flores, A., Román, M., Martínez, L., Gutiérrez, E., Medina, B. (Ed). Optimización de un preparado de fibra a partir de diferentes residuos de frutas. Vol. 13. Núm. 1
80. Kim y D Appolinozae. En Sungsoo, S., Prosky, L., y Dreher. M. (1999). Complex carbohydrates. E. U. U. 1999
81. Kolida et al. (2002) British Journal of Nutrition. Prebiotic Effects of inulin and oligofructosa-87 Food Microbial Sciences Unit, School of Food Biosciences. The University of Reading, Whiteknights, Reading, RG6 6AP, UK.
82. Koolman J. y Röm, K. H. (2004). Bioquímica: texto y atlas. Alemania: Panamericana.
83. Labuza, T. P. (1984). *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use*, American Association of Cereal Chemist, Inc. St. Paulo, Minnesota. En Zambrano et. al. (Ed.). Caracterización fisicoquímica del nopal. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México, D.F. (Ed.). Temas en Tecnologías de Alimentos: Fibra dietética. Vol. 2. Programa Iberoamericano para el Desarrollo. México, D.F.: Alfaomega .

84. Labrador, J. (1996).Materia orgánica en los agrosistemas. España: Grupo Mundi-Prensa.
85. Larrauri, J., B. Borroto, U. Perdomo and Y. Tabares. 1995. Manufacture of a powdered drink containing dietary fibre: FIBRALAX. *Alimentaria* 260: 23–25.
86. Levrat, M.A., Rémésy C., y Demigné, C. (1991). *J. Nutr.* 121, 1730-1737.
87. Lineback DR (1999) The chemistry of complex carbohydrates. En: Sungsoo Cho S, Prosky L, Mark Dreher (eds), *Complex Carbohydrates in Foods*. New York Marcel Dekker, Inc.
88. Lombard K, Peffley E, Geoffriau E, Thompson L, Herring A (2005) Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home preparation. *J Food Compos Anal.* 18.
89. Machado, O. (1997). Valor nutricional de los alimentos - Elementos de Evaluación y Factores de Calidad. 1ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia.
90. Mataiz, J. (2002). Nutrición para educadores. Madrid España: Fundación para Educadores. Ediciones Díaz De Santos.
91. Mataix, J, Gassull MA (2002) Fibra alimentaria. En : J Mataix Verdú (ed). *Nutrición y alimentación humana*. Ergon, Madrid.
92. Mateos-Aparicio. (2008). Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de ingredientes funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Tesis Doctoral. Departamento de Nutrición y Bromatología II: Bromatología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
93. Matos, A., Chambilla, E. (2010). Importancia de la fibra dietética y sus propiedades funcionales en la alimentación humana y la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, Nº 1
94. McMurry, J. 2008. Química Orgánica. Cornell University. CENGAGE Learning. 7ª edición. México. Pág. 1224
95. Matissek, R., Schnepel, F. M. y Steiner, G. (1992). Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. Alemania: Acribia.

96. Meyer, M. (2010). Elaboración de frutas y hortalizas. México: Trillas, SEP.
97. Milena, S., Montoya, L. J. y Orozco, F. (2008, mayo). Valorización de residuos agroindustriales y frutas, en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá. Scielo. 61
98. Monro J. 1996. Dietary fiber. Handbook of Food Analysis. Edit. Marcel Dekker, new York. pp. 1051-1054. En Betancur, D., Pérez, V. y Chel, L. A. (Ed). Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación. Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán. Núm. 227. Págs.: 5
99. Moreno, R. (2000) . Nutrición y Dietética para los tecnólogos de alimentos. Madrid, España: Editorial Ediciones Díaz Santos S.A.
100. Moreno *et. al.* (2014). Del residuo al recurso, el camino hacia la sustentabilidad. España: Grupo Mundi-Prensa.
101. Muñoz, *et. al.* (2002). Composición de alimentos. México: Mc Graw Hill
102. Nawirska A, Kwasniewska M. (2005) Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. Food Chemistry. 91:221-5.
103. Khattak, MMAK. Physiological effects of dietary complex carbohydrates and its metabolites role in certain diseases. Pakistan Journal of Nutrition. 1. (4)
104. Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevis, C. y Granzella, L. (2007). Alimentos funcionales: fibras, prebióticos, probióticos y simbióticos. DIAETA. Vol. 25. Num. 121-33.
105. Poulsen, K. P. (1986). Optimization of vegetable blanching. Food Technology, 40 (6).
106. Raghavendra, S., N. Rastogi, K. Raghavarao and R. Tharanathan. 2004. Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. European Food Research and Technology 218(6): 563–567.
107. Raigón, M. D., García, M. D., Guerrero, C., Esteve, P. (2006). Evaluación de calidad de manzanas ecológicas y convencionales. VII Congreso SEAE Zaragoza. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología, Universidad Politécnica de Valencia. Nº 158. 8 pág. En

108. Ramírez, R. (2003). Dinámica estacional del valor nutritivo y digestión ruminal del forraje de 10 arbustivas de Baja California Sur, México. Tesis. Nuevo León, México.
109. RESITEIA (2001). Análisis de grasa. Termodinámica Química. Universidad Central de Ecuador. Ecuador: ALEIQ-USE. 1 (1).
110. Rizzon, L. A., Bernardi, J. y Miele, A. (2005). Características analíticas dos sucos de maçã Gala, Golden Delicious e Fuji. Ciênc. Tecnol. Aliment. v. 25, n. 4, p. 750-756, 2005. En Sautter, C., Sautter C. K., Tonetto de Freitas, S., Galiotta, G. y Brackmann, A. (2007). Determinación de algunos atributos de calidad de la variedad Fuji y sus mutantes al momento de cosecha. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(1): 149-153
111. Robbins, C.T., et al. 1975. Feed analysis with reference to white tailed deer. (J. Wildlife Management 39:67-69). EN CAPITULO 16 ANALISIS DE FIBRA DIETETICA Nelly Pak
112. Rodríguez, V. M. y Magro, E. S. (2008). Bases de la alimentación humana. Madrid, España: Gesbiblo, S. L. PAG 179
113. Rosado. (1989). Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y su efecto gastrointestinal. En Caracterización fisicoquímica del nopal. En Zambrano et. al. (Ed.). Caracterización fisicoquímica del nopal. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México, D.F. (Ed.). Temas en Tecnologías de Alimentos: Fibra dietética. Vol. 2. Programa Iberoamericano para el Desarrollo. México, D.F.: Alfaomega
114. Ruíz, M. (2010). Tratado de Nutrición, Tomo II. Madrid, España: Ediciones Díaz De Santos.
115. Sáez, R. y Martínez, S. (1999). Dixerionario de Química. España: Oxford. Pag. 66.
116. Salmerón, J. y Lasa, A. (2008). Hidratos de Carbono. En Rodríguez, V. M. y Simon, E. (Ed.). Bases de la Alimentación Humana. España.
117. Sastre A. (2003). Fibras y prebióticos, conceptos y perspectivas. *ELSEVIER*. Vol. 26. Núm. . Febrero 2003.

118. Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Biotecnología*. 16 (2). Recuperado el 20 de marzo de 2014 de: http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf
119. SEMARNART. (2007, agosto). Generación y composición de los residuos sólidos municipales. Recuperado el 20 de abril de 2014 de: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/128/cap3.html>
120. Serena, A. and K. Bach. 2007. Chemical and physicochemical characterisation of co-products from vegetable food and agroindustries. *Animal Feed Science and Technology* 139(1-2): 109–124. En Cañas, Z., Restrepo, D. A. y Cortés, M. (Ed). Revisión: Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 64, núm. 1, Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia Pág. 6024
121. Schieber, A., Stintzing, F. C. y Carle, R. (2001). Byoproducts of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. *Trends in Food Science and Tchnology*. En Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estevez, A. M., Chiffelle, I. y Asenjo, F. (2004). Fibre concentrates from appel pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91
122. Sinnot, E. W. y Wilson, K. S. (1965). Botánica: principios y problemas. México CECSA.
123. Schneeman BO. 1989. Dietary fiber. *Food Technology*. 43(10):133-138. En Betancur, D., Pérez, V. y Chel, L. A. (Ed). Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. Núm. 227. Págs.: 5
124. Staffolo, M., N. Bertola, M. Martino and A. Bevilacqua. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal* 14(3): 263–268.

125. Sudha, M., V. Baskaran and K. Leelavathi. 2007. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry* 104(2): 686–692.
126. Suleiman, N. 2004. Dietary fibre source from pineapple by product. *Food Chemistry* 85: 189–194.
127. Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Universidad Jaume I. Publicaciones. 581.1
128. Trowel *et al.*, (1976). *Lancet*. Fibra en la dieta. En Egan, H., Kirk, R. S. y Sawyer, R. (Ed.) *Composición y análisis de alimentos de PEARSON*. México: Patria.
129. Tscheuschner H.D. (2001). *Fundamentos de tecnología de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia
130. Tunland, B., Meyer, D. (2002). Non-digestible oligo and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehen. Food Sci. Food Safety*. 3.
131. Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua, A.C. (s. f.). Producto final: estudio de infraestructura logística para la manzana y durazno del Estado de Chihuahua. Sistema Producto Manzana. Chihuahua, Chihuahua. PAG 11. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promer_cado/UNIFRUT.pdf
132. UNAD. Propiedades funcionales de los polisacáridos. Recuperado el 22 de Agosto de 2015 de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/202015/202015/leccin_22_propiedades_funcionales_de_los_polisacridos.html
133. UNAD. Velocidad de secado, contenido crítico de humedad y tiempo total de secado. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015 de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211612/contLinea_eXe_/leccin_37_velocidad_de_secado_contenido_crtico_de_humedad_y_tiempo_tot_al_de_secado.html
134. UNAM (2013, septiembre). *Manual de análisis de alimentos, fundamentos y técnicas*. Recuperado el 15 de junio de 2015 de:

http://dspace.universia.net/bitstream/2024/1067/1/ManualdeFundamentosyTécnicasdeAnálisisdeAlimentos_6501.pdf%20Consultada%20septiembre%202013

135. Vílches C. (2011). La fibra cruda y su importancia en la alimentación del monogástrico. Departamento Académico de Nutrición Facultad de Zootecnia. UNALM. Lima, Peru. Revista Peruana: Actualidad Avipecuaria.
136. Viñas et. al. (2013). Poscosecha de pera, manzana y melocotón. España: Mundi-Prensa
137. Wattiaux, 1996. En FEDNET (s.f.) Formas para expresar el contenido de fibra de los forrajes y alimentos. Costa Rica. Recuperado el 30 de agosto de 2015 de: <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/fef.htm>
138. Zamora, S. y Pérez, F. (2002). Nutrición y alimentación humana. Aula de Mayores, Universidad de Murcia.
139. Zarzuelo, A. y Galvéz, J. (2010). Fibra dietética. En Gil, A. (Ed). Tratado de nutrición, bases biológicas y bioquímicas de la nutrición. Madrid: Editorial Panamericana, Volumen II.
140. Zambrano Z, de la Luz M, Hernández A, Gallardo Y. 1998. Caracterización fisicoquímica del Nopal. En temas de Tecnología de alimentos. Vol. 2. Fibra dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México.
141. Ziegler, E. y Filer, L. J. (1997). Conocimientos actuales sobre nutrición. Instituto Nacional de Ciencias de la vida. Washington D. C.