



“Tesis apoyada por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Michoacán”

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO
FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA**

Tesis titulada:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA VISCOSIDAD
GENERADA EN SUSPENSIONES DE NOPAL
DESHIDRATADO POR DOS METODOS
DIFERENTES**

Que para obtener el título de Químico Farmacobiologo
presenta:

**P. Q.F.B. JOSÉ FRANCISCO GAMIÑO DÍAZ
BARRIGA**

ASESOR:

DR. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES

MORELIA, MICHOACÁN

ENERO DEL 2010



INDICE GENERAL	Pag.
Resumen	1
1.0 Introducción	3
1.1 Morfología	5
1.1.1 Raíz	5
1.1.2 Tallo	5
1.1.3 Flor	6
1.1.4 Fruto	6
1.2 Oscurecimiento del nopal	8
1.3 Mucílago de nopal	9
1.4 Información nutrimental de nopal	9
1.5 Usos tradicionales	11
1.6 Fibra dietética (FD)	12
1.6.1 Clasificación de la FD	12
1.6.2 Propiedades fisicoquímicas de la FD	15
1.6.3 Efectos de la ingesta de FD	19
1.6.4 Desventajas del consumo de FD	24
1.7 Deshidratación de alimentos	25
1.7.1 Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos	25
1.7.2 Formas de enlace de la humedad con el material	26
1.7.3 Clasificación de la operación de secado	28
1.7.4 Mecanismos de cinética de secado. Transferencia de masa y calor	28
1.7.5 Movimiento de la humedad dentro del solido	30
1.7.6 Curvas fundamentales de secado	31
2.0 JUSTIFICACION	33
3.0 HIPOTESIS	34
4.0 OBJETIVO	34
4.1 Objetivo General	34
4.2 Objetivo especifico	34

5.0 MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1 Materia prima	35
5.2 Metodología de deshidratación	35
5.3 Metodología para el análisis de la composición química	38
5.3.1 Determinación de FD	38
5.3.2 Determinación de humedad	39
5.3.3 Índices de absorción de agua y aceite	39
5.3.4 Índice de retardo en diálisis de glucosa (IRDG)	40
5.3.5 Viscosidad	41
5.3.6 Microscopía electrónica de barrido (MEB)	41
6.0 RESULTADOS	42
6.1 Índice de absorción de agua	42
6.2 Índice de absorción de aceite	43
6.3 Humedad	45
6.4 Tamaño de partícula	46
6.5 Índice de Retardo de Glucosa (IRDG)	47
6.6 Viscosidad	48
6.7 Microscopía electrónica de barrido	51
7.0 CONCLUSIONES	55
8.0 BIBLIOGRAFÍA	56
9.0 ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS	Pag.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica	4
Cuadro 2. Valor nutritivo del nopal verdura(g/100 g nopal crudo)	10
Cuadro 3. Contenido de vitaminas en el nopal	11
Cuadro 4. Índice de absorción de agua	43
Cuadro 5. Índice de absorción de aceite	44
Cuadro 6. Tamaño de partícula de muestras de nopal deshidratado	46
Cuadro 7. Índice de Retardo de Glucosa de las muestras de nopal deshidratado	48
Cuadro 8. Viscosidad medida en suspensiones de las diferentes muestras de nopal deshidratado	49
Cuadro 9. Comparación de temperaturas	61

ÍNDICE DE FIGURAS	Pag.
Fig. 1 Planta del nopal	5
Fig. 2 Flor de nopal	6
Fig. 3 Fruto del nopal	7
Fig. 4 Estructura de la polifenol oxidasa (PPO)	8
Fig. 5 Gráfica de fluidos Newtonianos y no Newtonianos	18
Fig. 6 Tipos de humedad	28
Fig. 7 Curva de humedad en el tiempo	32
Fig. 8 Nopal rebanado para deshidratar en secador solar	36
Fig. 9 Nopal colocado en bandejas del deshidratador solar	36
Fig. 10 Deshidratador solar	36
Fig. 11 Nopal deshidratado y molido	37
Fig. 12 Índice de absorción de agua en muestras de nopal deshidratado.	43
Fig. 13 Comparación de Índice de absorción de aceite	45
Fig. 14 Contenido de Humedad del nopal deshidratado	45
Fig. 15 Tamaño de partícula de muestras de nopal deshidratado	47
Fig. 16 Comparación de retenciones de glucosa	48
Fig. 17 Viscosidad del nopal al 3% secado a 65°C	50
Fig. 18 Soluciones de Nopal Deshidratado a diferentes condiciones y temperaturas	50
Fig. 19 Comparación de viscosidades	51
Fig. 20 Microfotografía de nopal deshidratado a 80°C	51
Fig. 21 Microfotografía de nopal deshidratado a 50°C	52
Fig. 22 Microfotografía de nopal deshidratado en secador solar	52
Fig. 23 Microfotografía de nopal deshidratado a 65°C	52
Fig. 24 Microfotografía 1000 x 10 µm de nopal deshidratado a 65°C	53
Fig. 25 Microfotografía 1000 x 10 µm de nopal deshidratado a 80°C	53
Fig. 26 Gráfica de componentes superficiales de nopal deshidratado a 65°C MEB	54
Fig. 27 Nopal deshidratado a 80°C con inhibidor	59

Fig. 28 Nopal entero deshidratado a 80°C sin inhibidor	59
Fig. 29 Nopal deshidratado por secado solar	59
Fig. 30 Nopal deshidratado a 80°C	60
Fig. 31 Nopal deshidratado a la intemperie	60
Fig. 32 Temperaturas en el deshidratador	61
Fig. 33 Comparación de temperatura ambiente y solar	62
Fig. 34 Comparación de temperaturas en diferentes partes de la ciudad	62
Fig. 35 Comparación de radiaciones en diferentes partes de la ciudad	63

RESUMEN

Existen muchos beneficios que se atribuyen al consumo de fibra dietética (FD), como, mayor motilidad intestinal, prevención de la constipación, regulación de glucosa y lípidos en sangre. La FD se define como la parte comestible no digerible de plantas y carbohidratos como los cereales, frutas, verduras y legumbres, ya que resisten la digestión y absorción en el intestino delgado, con una fermentación parcial o completa en el intestino grueso. La FD está formada por carbohidratos complejos que no son almidones (fibra insoluble) como la celulosa, algunos tipos de hemicelulosas, y lignina; y por fibra soluble, como fructooligosacáridos, inulina, mucilagos, pectinas, y almidones resistentes. Las hemicelulosas y el almidón resistente pueden clasificarse tanto como fibras solubles como insolubles. La FD es fermentada por bacterias benéficas en el organismo para producir ácidos grasos de cadena corta que entran al torrente sanguíneo y son aprovechados por el organismo como fuente de energía. Una de las propiedades fisicoquímicas que debe poseer una FD para mejorar las funciones gastrointestinales es la viscosidad, la cual se define como la oposición de un fluido a deformaciones tangenciales. La viscosidad generada por las fibras es la responsable de las acciones de disminución en la absorción de triglicéridos, colesterol y azúcares. Debido a la preocupación por mejorar la salud, y a la necesidad de incluir alimentos para mejorarla, es que se ha recomendado el incremento de la ingesta de FD. El objetivo de la presente investigación fue evaluar algunas propiedades fisicoquímicas en nopal deshidratado por dos métodos diferentes de desecación. Para lo anterior, a las pencas de nopal se les retiraron las espinas y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 0.05%; después se rebanó el nopal en tiras longitudinales de aproximadamente 2 cm de espesor para facilitar su deshidratación. Posteriormente, para la deshidratación de nopal se utilizaron dos métodos: 1) en estufa eléctrica a tres temperaturas diferentes, 50 °C, 65 °C y 80 °C y 2) mediante un deshidratador solar. Los productos deshidratados fueron molidos y se les evaluaron algunas propiedades físico-químicas; lo anterior se realizó con la finalidad de determinar la temperatura y proceso por el cual se produjeran los menores cambios en los componentes de la fibra insoluble y soluble

que componen al nopal. A las muestras de nopal deshidratada por ambos procesos se les determinó su contenido de humedad, cenizas, proteínas, fibra insoluble, fibra soluble, fibra total, viscosidad (a tres concentraciones diferentes, 1%, 3% y 5%), índice de retención en diálisis de glucosa, tamaño de partícula, y capacidades de retención de agua y aceite. Los resultados obtenidos mostraron que el nopal deshidratado a 65 °C y por deshidratación solar fueron los que arrojaron mejores resultados en las pruebas realizadas, ya que presentaron mejores valores de índice de absorción de agua y de aceite, de viscosidad y en la capacidad de retención de glucosa.

1.0 INTRODUCCIÓN

El nopal ha representado para los mexicanos, en su desarrollo histórico, uno de los elementos bióticos más relevantes y de mayor significado cultural, ya que se utiliza como alimento (fruto o verdura), bebida alcohólica, dulce, forraje, cerco vivo, producto industrial, etc. Su valor cultural y biótico ha quedado plasmado en códices y pinturas antiguas; también se encuentra en el escudo nacional donde es uno de los símbolos más característicos. La planta del nopal se distribuye en toda América y, México es el país con mayor abundancia de especies, por lo que se puede considerar como centro de origen y diversidad de esta especie (Granados y Castañeda, 1997).

El nopal por sus características morfológicas se considera un vegetal de zonas áridas y semiáridas (http://homero.galeon.com/nopal.htm#_Toc523551889).

México cuenta con más de 100 especies del género *Opuntia*, y es en las zonas semiáridas donde existe la mayor diversidad, por lo que algunos botánicos lo consideran como el centro de origen de las diferentes variedades de nopales (Bravo-Hollis, 1978).

El género se describe taxonómicamente en el Cuadro 1. Entre las características principales del género *Opuntia* están las siguientes: son plantas suculentas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas, generalmente espinosas. Su tronco está bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postradas. Los artículos son globosos, claviformes, cilíndricos o aplanados (cladodios), muy carnosos o leñosos. El limbo de las hojas pequeñas es cilíndrico, carnoso y muy pronto caduco. Las aréolas axilares presentan espinas, pelos, glóquidas y a veces glándulas; generalmente las de la parte superior de los artículos son las productoras de flores, espinas solitarias o en grupos, desnudas o en vainas papiáceas. Sus flores son generalmente hermafroditas, su ovario es ínfero con una cavidad y muchos óvulos. Posee estambres numerosos, más cortos que los pétalos, grueso: lóbulos del estigma cortos. El fruto se encuentra en forma de baya,

seca o jugosa, espinosa o desnuda, globosa, ovoide o hasta elíptica. El género *Opuntia* se divide en dos subgéneros: el *Cilindropuntia* (no tiene importancia económica) y el *Platyopuntia*.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del nopal.

Reino:	Vegetal
Subreino:	<i>Embryophyta</i>
División:	<i>Angioserma</i>
Clase:	<i>Dicotiledoneae</i>
Subclase:	<i>Dialipetalas</i>
Orden:	<i>Opuntiales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Tribu:	<i>Opuntiae</i>
Subfamilia:	<i>Opuntioideae</i>
Género :	<i>Opuntia</i>
Subgénero:	<i>Platyopuntia</i>
Especie:	varios nombres

Fuente: Bravo-Hollis (1978).

El subgénero *Platyopuntia* agrupa a las especies del género *Opuntia*, el cual presenta tallos aplanados (penca, cladodios o raquetas). En este subgénero se reconocen 28 series de especies. Una serie de mayor interés es la *Streptacanthae* que agrupa diversas especies, las cuales son plantas arborescentes y ramosas, presentan artículos glabros de coloración verde, espinas blancas o ligeramente

amarillentas. Sus flores son grandes, y su color varía desde amarillas hasta anaranjadas; su fruto es carnoso, comestible y muy agradable. A esta serie pertenecen la mayoría de las especies que producen frutos comestibles. (http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).

1.1 Morfología

La planta de nopal se observa en la Figura 1. De manera general, la morfología del nopal es la siguiente:

1.1.1 Raíz. El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, y su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua en los breves períodos de lluvias.

1.1.2 Tallos. Los nopales con artículos planos se denominan cladodios. Estos están tiernos, son muy suculentos y poco lignificados. (http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).



Figura 1. Planta del nopal.

1.1.3 Flor. Las flores (Figura 2) son diurnas, solitarias, sentadas, nacen en la base de los árboles que funcionan indistintamente como yemas florales o vegetativas. Constan de un cáliz con tubo oval, soldado con el ovario y con el limbo, muchos pétalos y estambres, con los filamentos largos, coloridos y anteras longitudinalmente dehiscentes; un pistilo grueso y tubuloso digitado en su extremo formando varios lóbulos estigmáticos. Poseen colores vivos y brillantes. Tienen polinización zoofilia (insectos, lepidópteros, díteros, himenópteros, hemípteros y coleópteros) (http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).

La apertura de la flor tarda en promedio 55 días después de la aparición de las yemas florales. La flor permanece abierta durante 24 h; se considera que el momento de antesis, es decir, el punto exacto a partir del cual se empieza a contar la vida del fruto, es a los dos días, después de la apertura de la flor. (http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).



Figura 2. Flor de nopal.

1.1.4 Fruto. El fruto (Figura 3) es una baya ovoide, cilíndrica, de diversos colores, umbilicada en el extremo superior (cicatriz floral), pericarpio correoso, con numerosos colchones de ahuates distribuidos en tresbolillo, y presenta semillas de color variable.



Figura 3. Fruto de nopal.

El nopal presenta características morfológicas y fisiológicas adaptadas a la escasa disponibilidad de agua, a las variaciones extremas de la temperatura y en general, a las condiciones de las zonas áridas y semiáridas. Entre las adaptaciones que le permiten almacenar y conservar el agua en sus tejidos se tienen las que a continuación se mencionan:

- Suculencia: Se debe a un gran desarrollo de los parénquimas que le permite acumular grandes cantidades de agua en sus células.
- Elaboración de mucílagos y sustancias higroscópicas a partir de ácidos orgánicos.
- La superficie foliar ha sido transformada en la penca adulta en espina y los cladodios al ser aplanados y discoideos, en forma de raqueta, representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapo-transpiración.
- La savia viscosa cierra rápidamente las heridas de la planta.
- Metabolismo ácido crasuláceo (CAM), que es el proceso fotosintético en el cual las estomas están cerrados durante el día y abiertos durante la noche, evitando la pérdida de agua por transpiración.

(http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).

1.2 Oscurecimiento del nopal

Las pencas de nopal o cladodios pueden presentar cambios de color después de haber sido retirados de la planta, esto se puede deber a mala manipulación como son golpes, maltrato del vegetal, o a la presencia de la enzima polifenol oxidasa (PPO) presente en los tejidos del nopal, la cual se activa con la presencia de oxígeno ambiental (Figura 4). Existen factores para que la enzima pueda actuar en este vegetal como lo es la falta de mucílago, que puede ser debido a la deshidratación que puede sufrir el cladodio después de haber sido retirado del tallo, y/o permanecer fuera de refrigeración. Un ambiente frío prolonga la vida de anaquel del nopal porque evita la deshidratación del vegetal y también evita la activación de enzimas que lo descomponen o al menos retarda la activación de las enzimas que dan mal aspecto al producto y provocan sabores inapropiados en el vegetal (Quevedo y col., 2005).

Las enzimas fenólicas oxidativas responsables de estos cambios en frutas y vegetales son la tirosinasa, la laccasa y la peroxidasa, las cuales forman productos de bajo peso molecular, como ésteres, aldehídos y cetonas responsables de olores desagradables (Ratcliffe y col., 1994).

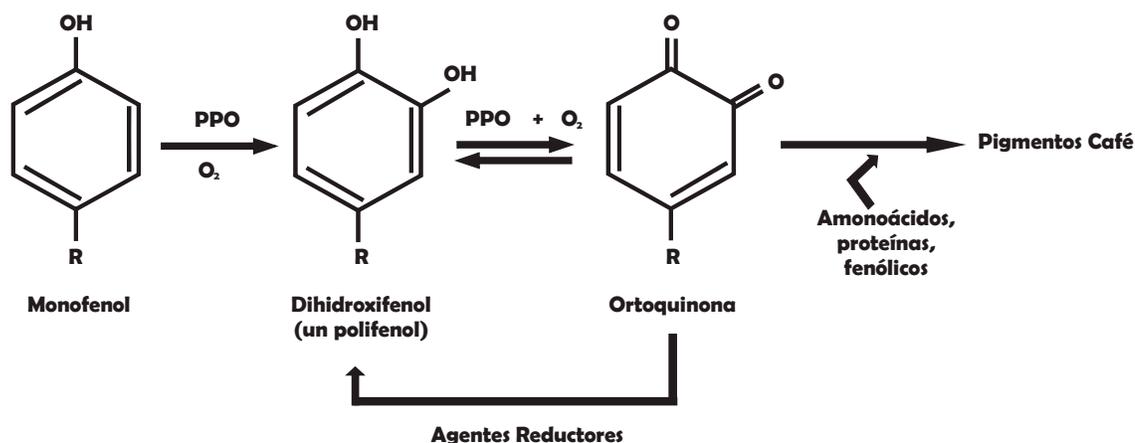


Figura 4.- Estructura de la polifenol oxidasa (PPO).

1.3 Mucilago del nopal

El mucílago de nopal es un polímero lineal cuyo peso molecular oscila en 13×10^6 g/mol y está compuesto por polisacáridos similares a las pectinas. Su composición glucídica aproximada es de 47% de arabinosa, 23% de xilosa, 18% de galactosa, 7% de ramnosa y 5% de ácido galacturónico, respecto a su peso molecular

(http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12).

Una de las ventajas del mucílago es la de actuar como barrera ante la oxidación, ya que evita el contacto de las enzimas como la PPO con el oxígeno ambiental, por lo que se extiende la vida de anaquel del nopal evitando así su oscurecimiento, pérdida de firmeza y mal olor. La manera en la que el nopal comienza a tener cambios de coloración es debido a la deshidratación y por lo tanto a la pérdida de mucílago en los cladodios del nopal, favoreciéndose el contacto entre la PPO y el oxígeno, dando como resultado un producto de mala calidad (Aguilar y col., 2007).

1.4 Información nutricional del nopal

Los nopales forman parte, al igual que otras verduras, del menú cotidiano de muchas familias de escasos recursos que viven particularmente en las zonas áridas del país, y proporcionan algunos elementos nutritivos necesarios de la dieta. En el Cuadro 2 se observa la composición nutricional del nopal.

Agua: en cactáceas como el nopal, alcanza valores mayores del 90% en tallos, pencas y frutos y es el componente que da a los nopales el aspecto de succulencia. El contenido de las células vegetales es siempre un medio rico en agua; el porcentaje de agua es diferente según la función fisiológica y la edad de los tejidos, como por ejemplo en los órganos jóvenes es de hasta un 95% de agua.

Cuadro 2. Valor nutritivo del nopal verdura (g/100 g de nopales crudos).

Proporción comestible	78.00%
Energía	27.00 Kcal
Proteínas	0.17 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93.00 mg
Hierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Ácido ascórbico	8.00 mg

(http://www.pronat.com.mx/productos/pu_nopaldes.htm).

Minerales: la cantidad de los minerales en los órganos del nopal son muy variables debido a la especie y a diferencias genéticas, también a la variación climática y composición química del suelo; los principales minerales del nopal son el calcio y el potasio, presentándose también el magnesio, el silicio y el sodio, pequeñas cantidades de hierro, aluminio y manganeso, predominando en forma de carbonatos y en ocasiones como cloruro, sulfatos y en pequeñas cantidades de fosfatos

(http://www.esalud.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Beneficios_del_consumo_de_nopal).

Carbohidratos: su importancia reside en ser los constituyentes más abundantes de las sustancias orgánicas representando una forma de almacenaje de energía capturada a partir de la luz por el proceso de la fotosíntesis y base fundamental en el suministro de la mayor parte de esqueletos carbonados y de la mayoría de los

compuestos orgánicos que constituyen la planta, como son la celulosa, y hemicelulosa, las cuales forman la fibra insoluble, además están presentes los azúcares arabinosa, xilosa, galactosa, ramnosa y ácido galacturónico, que conforman las fracciones de la fibra soluble presente en el nopal. El nopal presenta un total de 5.60g de carbohidratos en 100g de nopal. (http://www.esalud.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Beneficios_del_consumo_de_nopal).

Componentes nitrogenados: En el nopal se reporta un bajo valor de proteína (0.17%).

Vitaminas: El nopal es rico en vitaminas A, C y K, riboflavina, vitaminas B1y B6 (Cuadro 3).

(http://www.esalud.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Beneficios_del_consumo_de_nopal).

Cuadro 3. Contenido de vitaminas en el nopal.

Vitamina	Contenido
Retinol (vitamina A)	41 mcg
Tiamina (vitamina B1)	0.03 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0.06 mg
Niacina	0.3 mg
Acido Ascórbico (vitamina C)	8 mg

(http://www.esalud.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Beneficios_del_consumo_de_nopal).

1.5 Usos tradicionales

En el México antiguo, el jugo de las pencas era extraído y untado en las ruedas de los carros para impedir que se quemaran las ruedas por el uso continuo. Durante los siglos XVII y XVIII, cuando los Franciscanos establecieron las misiones en Baja

California y zonas adyacentes, iniciaron el establecimiento de algunos nopales que entonces eran cultivados en el centro de México. Encontraron que estas cactáceas les eran útiles por sus frutos y por ser fuente importante de un material mucilaginoso que servía de ligamento a los adobes en la construcción de las misiones.

Actualmente, el nopal verdura es destinado principalmente al consumo humano, ya sea en fresco, como ensaladas, en la preparación de diferentes platillos, o bien envasados en salmuera, vinagre y como mermelada. Como alimento, tiene una gran aceptación por su bajo costo y por otras propiedades como su fácil digestibilidad por el organismo humano (<http://www.ciberjob.org>).

1.6 Fibra dietética (FD)

La importancia de la FD reside en las muchas funciones fisiológicas que provee al ser humano, como son la motilidad intestinal, prevención de la constipación, regulación de glucosa y lípidos en sangre (Theander y col., 1993), reduciendo así el riesgo de diabetes y enfermedades coronarias.

1.6.1 Clasificación de la FD

La FD se divide en dos grupos:

- La fibra insoluble (FI), conformada por algunos tipos de hemicelulosa, hemicelulosa, celulosa, lignina y almidón resistente; estos componentes retienen poco agua y se hinchan poco, son poco fermentables e incluso resisten la acción de bacterias del intestino grueso. Su principal efecto es aumentar el volumen de las heces, disminuir su consistencia y tiempo de tránsito en el intestino. Al ingerir este tipo de fibras diariamente se facilitan las deposiciones y se previene el estreñimiento (Brown y Bernard, 1999).

- La fibra soluble (FS), se conforma por inulina, pectinas, gomas y fructooligosacáridos, las cuales captan agua y forman geles viscosos; estas fibras son altamente fermentables por bacterias colónicas del intestino grueso por lo que producen gran cantidad de gases en el intestino. La ventaja de esta fibra fermentable es la de favorecer el aumento de bacterias benéficas del intestino, las cuales también aumentan el volumen de las heces fecales. La FS es la responsable de retener y disminuir la absorción de grasas y azúcares, debido a sus propiedades fisicoquímicas como la viscosidad, y su capacidad de absorción de aceite y agua (López y col., 1997).

Componentes de la FI

Celulosa: es un polisacárido que se forma por la unión de glucosas a través de enlaces β -1,4. La celulosa retiene agua en las heces y las aumenta en tamaño, favorece el peristaltismo y defecación, disminuye el tiempo de tránsito colónico y no interviene en la absorción de colesterol, metales divalentes ni de ácidos biliares.

Hemicelulosas: son polisacáridos que reducen la presión elevada del colon, aumenta el tamaño y peso de las heces, así como también la excreción de ácidos biliares.

Lignina: es un polímero orgánico que no es polisacárido, no es digerible ni fermentable por la biota del colon. Disminuye la absorción de colesterol y ácidos biliares en el intestino delgado.

Cutina: es el principal componente de la cutícula de plantas, y es un polímero formado por ácidos grasos.

Suberina: es un polímero formado por ácidos grasos, y se encuentra además formada en su estructura por ácidos dicarboxílicos y por fenoles.

Quitina: es un polisacárido característico presente en crustáceos, y se encuentra en las paredes de algunos hongos comestibles: Su estructura se encuentra conformada por β -1,4 y β -1,6 glucanos (http://es.wikipedia.org/wiki/fibra_diet%C3%A9tica).

Componentes de la FS

Inulina: es un oligosacárido resistente, promueve la peristalsis y la absorción de calcio.

Pectinas: son polisacáridos con alto contenido de ácido galacturónico. Su función es la de absorber agua y mejorar la tolerancia de glucosa en personas con diabetes, retrasa el vaciamiento del estómago, y actúa como prebiótico. Disminuye la cantidad de colesterol en sangre y fija los ácidos biliares y aumenta la excreción de los mismos.

Gomas: son polisacáridos que desarrollan altas viscosidades al mezclarse con agua y están formados por largas cadenas de ácidos urónicos y cadenas laterales de monosacáridos como xilosa, arabinosa o manosa.

β -glucano: es un polímero de glucosa con enlaces glucosídicos β -1,3 y β -1,4. Estos glucanos a menudo son llamados mucílagos o gomas debido a su alta capacidad de hidratación (http://es.wikipedia.org/wiki/fibra_diet%C3%A9tica).

Mucílagos: son polisacáridos poco ramificados que no conforman las paredes de células vegetales, pero se encuentran en el interior de semillas y algas. Disminuyen el tiempo de vaciado gástrico, funcionan como prebiótico y fijan los ácidos biliares (Martínez y Figueroa, 2008).

1.6.2 Propiedades fisicoquímicas de la FD

Las diferentes FD tienen similitudes, pero también tienen propiedades fisicoquímicas diferentes, las cuales se determinan *in vitro*.

Capacidad de absorción de agua

Todas las FD son capaces de captar agua hasta cierto punto, condición que está condicionada a la disponibilidad de los grupos funcionales hidrofílicos de los componentes de la FD. También intervienen el tamaño y conformación de las partículas, el valor de pH y la concentración de los electrolitos del medio. La absorción se debe a los puentes de hidrógeno, por fijación del agua a la superficie de la FD o porque queda atrapada en el interior de la estructura macromolecular (Noakes, 1996).

La fijación del agua en la FS se puede llevar a cabo por diferentes mecanismos:

- a) Vía química, fija el agua a los grupos hidrófilos de los polisacáridos, como los grupos $-OH$ y $-COOH$.
- b) Acumulación en la matriz de la fibra (fuera de la célula).
- c) Acumulación de agua en los espacios interparietales.

La solubilidad aporta diferentes propiedades a las FI y a las FS, por ejemplo:

- Las FS forman un retículo con el agua donde el agua queda atrapada, y se forma un gel en esta mezcla. Este grupo lo forman las gomas, mucílagos, pectinas, e incluso algunas hemicelulosas.
- Las FI captan poco agua y forman mezclas de baja viscosidad. Este grupo lo forman la celulosa, algunas hemicelulosas y la lignina. A medida que madura la planta aumenta el contenido de lignina y disminuye el contenido de agua

(<http://www.fibra-salud.com/%5Cobra%5C5.htm>).

Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite es muy importante en las FD puesto que de esta propiedad depende la cantidad de triglicéridos y colesterol que la FD puede encapsular en el tracto gastrointestinal. Cuando el colesterol se adhiere a la FD, su absorción en el intestino delgado se retrasa y reduce. Y por otro lado, la fermentación de la FS permite la formación de ácidos grasos de cadena corta y otros productos que inhiben la síntesis de colesterol en el hígado (Martínez y Figueroa, 2008).

Captación de minerales

El ácido urónico de las FD fija los minerales calcio, fósforo, zinc, hierro y magnesio, y disminuye la capacidad de absorción gastrointestinal de ellos. Dichos minerales son excretados posteriormente por las heces. Si la cantidad de ingesta de FD es la recomendable (20 a 30 g/día) no hay problema en la absorción de dichos minerales (<http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/fibra1.htm>).

Como se menciona, los ácidos urónicos y además los grupos carboxilo libres de la FD son los responsables de unirse a dichos cationes. A este fenómeno se le llama intercambio iónico, y depende del tipo de fibra, pH, fuerza iónica, y naturaleza del catión (Martínez y Figueroa, 2008).

Viscosidad

La viscosidad es la resistencia que una sustancia presenta para fluir libremente y es el resultado de la fricción interna que se genera entre las capas del líquido o semilíquido. Para una mejor comprensión sobre este fenómeno, si se tiene un líquido con diferentes capas donde se aplica fuerza a una de las capas y esta capa adquiere una velocidad V_1 , la segunda capa se moverá más lento debido al roce entre la

primera y la segunda capa y la segunda capa adquirirá una velocidad más lenta V_2 debido a la viscosidad entre las dos capas; el movimiento se seguirá transmitiendo pero cada vez más lento, de tal manera que la última capa fluirá más lento y por lo tanto a una menor viscosidad (Badui, 1999).

La unidad de viscosidad es el Poise, que es la fuerza tangencial (fuerza ejercida) que se requiere para mantener una velocidad de 1 cm/seg de un fluido entre dos planos paralelos de un área de 1 cm² y separados por un centímetro de distancia. Por lo que, 1 Poise equivale a 1 g/cm.seg en sistemas poco viscosos como por ejemplo el agua; también se emplea el centipoise (cP).

Por lo general, no se utiliza en las mediciones la viscosidad absoluta sino la viscosidad específica o relativa que se expresa mediante comparaciones con un fluido como el agua, cuya viscosidad es conocida. Para líquidos muy espesos es recomendable utilizar un líquido más viscoso como por ejemplo el glicerol (Badui, 1999).

De acuerdo a los diferentes tipos de comportamiento, los líquidos se dividen en fluidos newtonianos y no newtonianos. Los newtonianos presentan una relación proporcional entre el esfuerzo de cizallamiento o esfuerzo de corte aplicado (τ) y la rapidez de corte o deformación (γ) a través del coeficiente de viscosidad (η) del fluido en cuestión. Los fluidos newtonianos tienden a tener la misma viscosidad a diferentes razones de corte y se les llama así debido a que se mantienen sobre un mismo rango de razón de corte al ser medido. Los fluidos newtonianos se representan por la ecuación de newton (Badui, 1999):

$$\tau = \gamma \eta$$

Los sistemas fluidos no newtonianos se encuentran en los alimentos, sus propiedades dependen de las características moleculares y estructurales de los coloides que los componen, como la forma y el tamaño de las partículas, al igual que

el grado de interacción y el ordenamiento que existe entre las partículas. Todos estos factores determinan el comportamiento del fluido.

A diferencia de los fluidos newtonianos, los no newtonianos tienen diferentes viscosidades a diferentes cortes de deformación y su a vez se dividen en pseudoplásticos, plásticos y dilatantes y presentan cambios en su reología a diferentes esfuerzos cortantes (Badui, 1999).

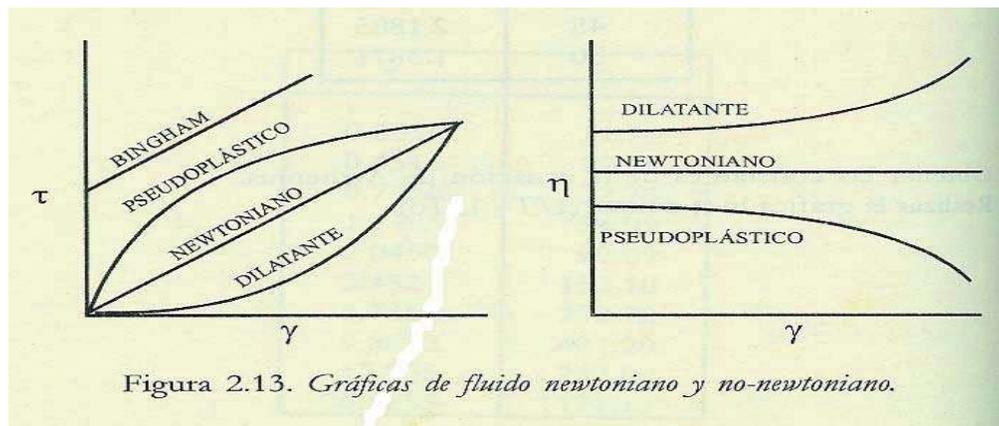


Figura 5.- Gráfica de fluidos Newtonianos y no Newtonianos.

Captación y eliminación de sales biliares

Los ácidos biliares son sintetizados por el hepatocito a partir del colesterol, produciéndose dos ácidos primarios, que son el ácido cólico y el ácido quenodesoxicólico. La síntesis de los ácidos biliares está regulada por dos mecanismos (<http://www.iaca.com.ar/acidos%20biliares.htm>):

- La síntesis de colesterol
- La actividad de la enzima 7 α -hidroxilasa

Los ácidos biliares se conjugan en el hepatocito a través de la unión peptídica con los aminoácidos glicina y taurina, para ser luego secretados como bilis en el

intestino. La bilis lleva a cabo su función en el duodeno y el yeyuno, donde se digieren y absorben los lípidos. La absorción de los ácidos biliares comienza en el ileon hasta la parte proximal del colon; la bilis es absorbida por la mucosa intestinal a través de transportes activos y pasivos, y es conducida por el sistema portal al hígado donde se recicla y es secretada de nuevo como bilis. De esta manera, de los 25 g de ácidos biliares sólo 500 mg serían perdidos en la materia fecal.

Estos ácidos reabsorbidos ejercen un papel regulatorio en la síntesis de nuevos ácidos biliares, con una fuerte influencia en las enzimas que participan en la síntesis del colesterol y de ácidos biliares y estas enzimas son la hidroximetilgluconil CoA y la 7- α -hidroxilasa (<http://www.iaca.com.ar/acidos%20biliares.htm>).

1.6.3 Efectos de la ingesta de la FD

Captación de ácidos biliares

La importancia de la FD en la captación de ácidos biliares radica en que:

1. El aumento de la excreción de ácidos biliares evita que cierto tipo de bacterias (como por ejemplo la bacteria *Clostridium putrificans*) utilicen como sustrato a los ácidos biliares y al colesterol, los cuales son desconjugados y se activa la proteinquinasa C, la cual es capaz de estimular el crecimiento celular de tipo cancerígeno. Otros tipos de bacterias producen ácido litolítico y algunos mutágenos, los cuales son inhibidos por algunos tipos de FD.
2. Disminuye la absorción de grasas, debido a que las grasas no se pueden emulsionar sin la presencia de ácidos biliares, por lo tanto se eliminan sin ser absorbidos en la mucosa intestinal.
3. Se interrumpe la circulación enterohepática de las sales biliares y esto provoca que el hígado produzca nuevas sales biliares a partir de reservas de colesterol en el organismo de las personas.

Estreñimiento

El consumo de FD disminuye las molestias de estreñimiento leve y moderado, ya que la FI contenida en la FD aumenta el tamaño de las heces fecales, y en conjunto con las FS, aumentan la biota intestinal y la retención de agua es mayor, por consiguiente se aumenta el volumen de la masa fecal y se estimula a los mecano-receptores y se producen los reflejos de propulsión y evacuación (Gasull y Meier, 2004).

También influyen en la estimulación de la motilidad intestinal los ácidos biliares y los AGCC.

Los gases producidos por la degradación de la FS también influyen en el aumento del volumen de la masa fecal, ya que quedan atrapados en la masa fecal y actúan a veces como bombas de propulsión.

En caso de estreñimiento severo, la FD puede tener efectos negativos, como en personas con lesiones de médula espinal o tránsito intestinal lento.

Diarrea

La FS, que es altamente fermentable, produce AGCC, que al ser absorbidos también arrastran al sodio y agua. El consumo de FD en casos de diarrea ha sido útil ya que la FD actúa como barrera intestinal (Roediger, 1980).

Colitis ulcerosa

La colitis ulcerosa es una enfermedad inflamatoria del intestino que afecta la capa mucosal del colon, donde se pueden presentar brotes de diarrea muy frecuentemente con sangre, dolor abdominal y fiebre, es de etiología desconocida pero probablemente multifactorial. Roediger (1980) propuso que la colitis se debía a un efecto de oxidación en los AGCC por parte de los colonocitos y la deficiencia de butirato. Estudios recientes han mostrado que la fermentación por parte de la biota colónica mantiene los niveles altos de butirato y disminuye el padecimiento de colitis ulcerosa. Por lo tanto, se ha demostrado que el consumo de FD es igual o más eficaz para combatir este padecimiento que el uso de 5-ASA ya que la fibra está más tiempo en contacto con la mucosa y por lo tanto en mayor contacto con el butirato (Roediger, 1980).

Cáncer colorrectal

Los estudios y experimentos sobre este padecimiento no han sido muy claros, incluso han sido contradictorios, pero si se ha encontrado una disminución de cáncer colorrectal en países donde se acostumbra consumir FD; se piensa que esto tal vez se deba a que la FD aumenta el volumen de la masa fecal y disminuye el tiempo de tránsito por el intestino; también se le atribuye el beneficio al cambio de pH, ya que al disminuirlo se inhibe la actividad de la enzima 7- α -hidroxilasa, que es la que convierte los ácidos biliares primarios en secundarios. Por lo que se recomienda el consumo de FD a temprana edad en una cantidad de 30-35 g/día en especial de fruta y cereales (Asano y Mateod, 2005).

Enfermedad cardiovascular

El efecto de FS sobre la reducción de los lípidos en el organismo es de los más conocidos. Por lo que se recomienda la ingesta de FS de 10-25 g/día y 2 g/día de fitoesteroles para reducir el colesterol sérico y riesgo de cardiopatías (Expert panel on detection evaluation and treatment of high blood cholesterol in adults, 2001).

La fuente de FS más recomendable es la pectina de las frutas ya que previene en un 30% el riesgo de enfermedades coronarias; se recomienda consumir 10g de FD proveniente de fruta (Pereira y col., 2004).

Los mecanismos propuestos de estos beneficios se relacionan con la capacidad de limitar la absorción del colesterol intestinal y la acción quelante sobre las sales biliares. Incluso se ha visto que el propionato absorbido desde el colon a la circulación portal puede inhibir la enzima HMG-CoA reductasa, disminuyendo la síntesis endógena de colesterol (Gasull y Meier 2004).

Diabetes

Otro de los beneficios de la ingesta de FD es la de disminuir los niveles de hiperglucemia en personas con diabetes de los tipos 1 y 2.

La Asociación Americana de Diabetes recomienda la ingesta de 20-35 g/día para mantener un mejor control de glucemia e insulina. Esto se debe a la FS. Estos beneficios se deben a:

- ✓ El retraso del vaciamiento gástrico.
- ✓ Disminución de absorción de glucosa al quedar atrapada en el gel viscoso formado por la fibra y es por lo tanto menos accesible a la amilasa pancreática.
- ✓ Producción de AGCC como el propionato, el cual influye al reducir la producción de glucosa por parte del hígado. El butirato también tiene un efecto benéfico al reducir la resistencia periférica de insulina al disminuir la producción de TNF α , ya que la resistencia a la insulina es un factor importante en el síndrome metabólico (Eckel y col., 2005).

Beneficios de la FD de nopal

Respecto a sus propiedades medicinales, aparte de las que tradicionalmente se le atribuyen, en años recientes se inició la comercialización de fibra deshidratada de nopal como auxiliar en trastornos digestivos. Por otra parte, estudios recientes demostraron las características del nopal como hipoglucemiante, es decir, como controlador de los niveles excesivos de azúcar en el cuerpo. (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html>).

El análisis de la composición química de un extracto antidiabético de *Opuntia ficus-indica* reveló que consistía de azúcares reductores, principalmente glucosa. Trabajos recientes indicaron que el factor antidiabético activo en cactáceas, y otras xerófitas, es un compuesto que presenta características y propiedades de una saponina (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html>).

Los estudios realizados por el Instituto Mexicano del Seguro Social han mostrado que el consumo en ayunas de cladodios de nopal a individuos sanos y diabéticos causa disminución de glucosa. En los primeros produjo menor elevación de glucosa y de la insulina sanguínea. No ha sido posible determinar el principio activo del nopal que tiene acción sobre el metabolismo de los glúcidos, aunque la reducción de glucosa e insulina observada en estos estudios ha llevado a sospechar que existe una mayor sensibilidad a la insulina inducida por la ingestión del nopal. (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html>).

Por otra parte, la pulpa deshidratada del nopal da por resultado un material fibroso cuya función medicinal se basa, como cualquier otra fibra natural, en favorecer el proceso digestivo, reduciendo el riesgo de problemas gastrointestinales y puede ser usado ayudando en los tratamientos contra la obesidad. (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html>).

Adicionalmente, la fibra disminuye el nivel de lipoproteínas de baja densidad (que son las que se acumulan en las arterias causando problemas de arteroesclerosis). En general el nopal es utilizado para:

- Disminuir los niveles de azúcar (*glucosa*), de colesterol total y triglicéridos.
- Auxiliar en casos de estreñimiento mejorando la función del tracto digestivo.
- Controla los síntomas de la diabetes logrando una estabilidad satisfactoria del azúcar en la sangre y evitando llegar a niveles no deseados.
- Es un auxiliar para el control de peso

(<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html>).

Propiedad de antibiótico

Los nopales tienen antibióticos naturales, esta propiedad está relacionada con el metabolismo ácido crasuláceo de las plantas, el cual, en las cactáceas inhibe o suspende el crecimiento de varias especies bacterianas. De ahí que tanto el consumo del nopal como la aplicación de cataplasmas de pencas de nopal tengan efectos benéficos en heridas e infecciones de la piel (<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/nopal.htm>).

Cáncer

En un experimento realizado con ratones inducidos con tumores cancerígenos, se administraron extractos acuosos de *Opuntia* y se encontró la prolongación del periodo de latencia de dichos tumores malignos (<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/nopal.htm>).

Desórdenes gastrointestinales y digestión

Por último, se sabe que las fibras vegetales y los mucílagos controlan el exceso de ácidos gástricos y protegen la mucosa gastrointestinal previniendo así, las úlceras gástricas. El nopal contiene vitaminas A, del complejo B, vitamina C, minerales como el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y fibras como lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, y mucílagos que en conjunto ayudan a eliminar toxinas. Las toxinas ambientales provocadas por el alcohol y el humo del cigarro que inhiben el sistema inmunológico del cuerpo, son eliminadas por el nopal

(<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/nopal.htm>).

1.6.4 Desventajas de consumo de FD

La fermentación de grandes cantidades de FD puede producir flatulencias, distensión y dolor abdominal. Lo anterior es principalmente atribuida a la fermentación de los fructooligosacáridos y galactooligosacáridos.

Un exceso en el consumo de FD ocasiona la disminución de biodisponibilidad de vitaminas y sobre todo de minerales que quedan retenidos por las FS (<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>).

La FI disminuye la biodisponibilidad de algunos cationes como el hierro, cobre y el zinc.

La FD también puede producir irritación al aumentar el volumen de la masa fecal y junto con la lignina rozan las paredes del intestino provocando descamaciones de las células. Esto también se relaciona cuando existe poco aporte de agua al organismo.

En dosis bajas puede provocar cáncer de colon ya que la FD se adhiere a las paredes del intestino, por lo que es recomendable un aumento gradual en el consumo de las FD para una mejor adaptación del tracto gastrointestinal. (<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>).

1.7 Deshidratación de alimentos

1.7.1 Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos

El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor (Knoule, 1968).

Es muy común que la deshidratación sea la última operación precedente a la salida de un producto terminado (Kasatkin, 1985; Treybal, 1965). La eliminación de agua o en general de líquidos existentes en sólidos es más económica por acción mecánica que por acción térmica. La dificultad de los medios mecánicos surge cuando los productos finales y gran número de productos intermedios deben cumplir especificaciones rigurosas en cuanto a la humedad final. Habitualmente una centrífuga trabajando con grandes cargas de sólido húmedo dejará humedades en torno al 10-20%, aunque en casos excepcionales como la sal común o cloruro sódico se puede alcanzar el 1% (Kasatkin, 1985; Treybal, 1965).

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa (Kasatkin, 1985; Treybal, 1965).

1.7.2. Formas de enlace de la humedad con el material

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico-mecánico (Kasatkin, 1985).

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) y puede eliminarse sólo calentando el material a altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado (Kasatkin, 1985).

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10^{-5} cm). Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino que también empleando métodos mecánicos (Kasatkin, 1985).

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción.

La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con una energía considerablemente

mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en materiales coloidales y poliméricos (Kasatkin, 1985).

Definiciones fundamentales

Contenido de humedad, base seca: x

$$\frac{kghumedad}{kgsólidoseco}$$

Contenido de humedad, base húmeda:

$$\frac{kghumedad}{kgsólidohúmedo} = \frac{kghumedad}{kghumedad + kgsólidoseco}$$

Humedad de equilibrio: x^* , humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas.

Humedad libre: $x - x^*$, es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

Existen otras definiciones como *humedad límite*; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la *humedad no límite* que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura (Kasatkin, 1985).

En la Figura 6 se muestran representadas dichas humedades.

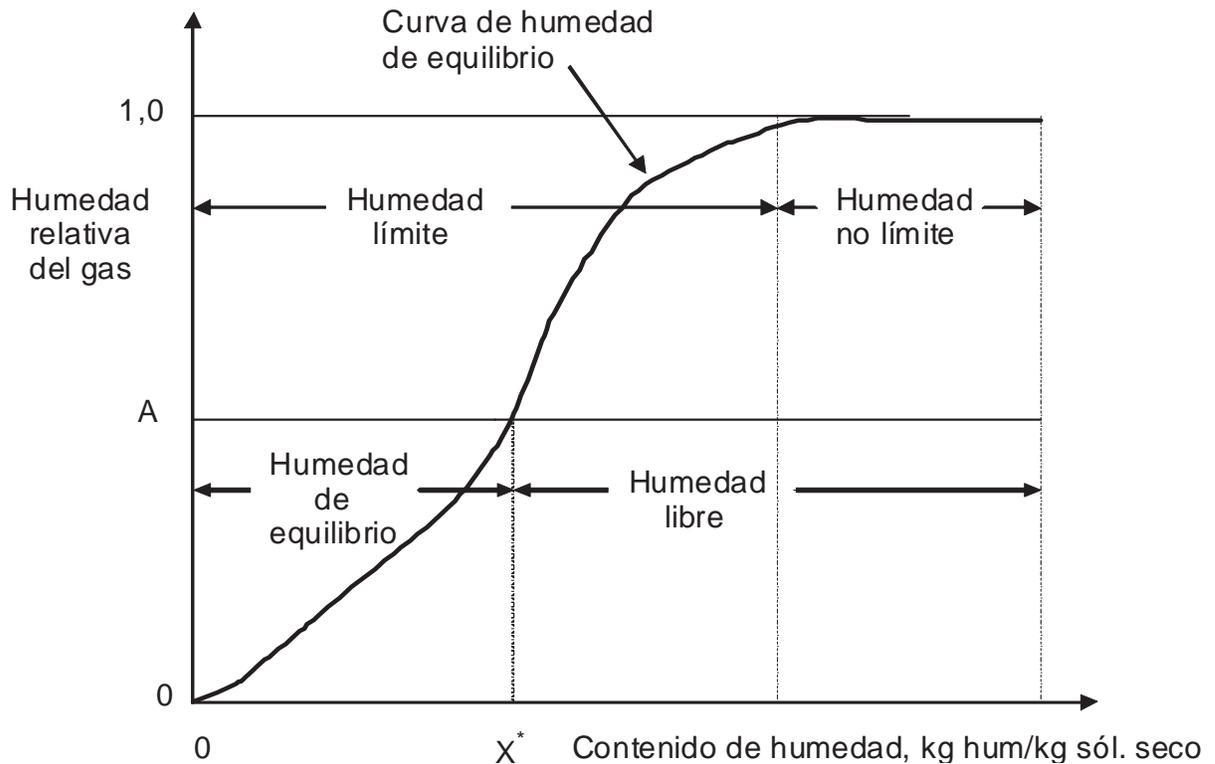


Figura 6.-Tipos de humedades.

1.7.3 Clasificación de la operación de secado

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad (Treybal, 1965).

1.7.4 Mecanismos y cinética de secado. Transferencia de masa y calor

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de

contacto directo. Según Madariaga (1995), esta depende de una serie de factores que van desde condiciones internas a externas.

Las condiciones externas están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite del gas, y en el caso que predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas, la cual se comporta como una superficie libre de agua.

Las condiciones internas están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante serán las propiedades del sólido (Madariaga 1995).

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor, el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde esta al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior (Menon y Mujundar, 1992) (Treybal, 1965). También se ha reportado otro tipo de secado llamado secado por sublimación.

En el secado por convección, el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calentados o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido.

En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

En el secado dieléctrico la energía es generada en el interior del propio material mediante un campo electromagnético de alta frecuencia en la zona de microondas (De La Peña Villar, 1994).

También se reporta en la literatura el secado por sublimación, denominando así al secado en estado de congelación al vacío profundo. Según el método de transmisión del calor este procedimiento es análogo al secado por conducción pero debido a sus peculiaridades el secado por sublimación se destaca como un grupo especial (Kasatkin, 1985).

1.7.5 Movimiento de la humedad dentro del sólido

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie.

La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen (Menon y Mujundar, 1992).

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías para explicar el movimiento de la humedad y la relación de ésta con las curvas de régimen.

1. Difusión líquida: Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja (Treybal, 1965).
2. Movimiento capilar: La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado (Treybal, 1965).

3. Difusión de vapor: Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares (Treybal, 1965).
4. Presión: Durante el secado debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cuál de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado(Treybal, 1965).

1.7.6 Curvas fundamentales de secado

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo.

La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo (Treybal, 1965).

Curvas de secado

Con los datos obtenidos durante la prueba de secado o sea de la variación de la humedad con el tiempo, puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo Figura 7 (Treybal, 1965). Este es útil para la determinación directa del tiempo necesario en el secado discontinuo de grandes partidas bajo las mismas condiciones de secado (Menon y Mujundar ,1992).

Uno de los objetivos de la deshidratación del nopal es el de obtener un vegetal con todas sus propiedades físicas, químicas y bioquímicas, como lo son el sabor, color, apariencia y propiedades benéficas del vegetal. Esto se puede mantener al deshidratar el vegetal a temperaturas no muy altas para que no se vean afectadas las estructuras que componen el vegetal y por lo tanto que no se provoquen cambios como los mencionados anteriormente (Menon y Mujundar ,1992).

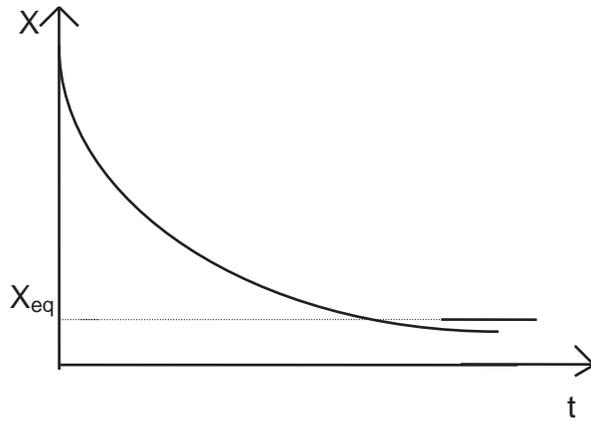


Figura 7.- Curva de humedad en el tiempo.

2.0 JUSTIFICACION

Existe una gran preocupación por los problemas de salud que actualmente se padecen a nivel mundial, particularmente aquellos relacionados con el síndrome metabólico, el cual incluye enfermedades como la diabetes, hipertensión arterial, las cardiovasculares así como el cáncer y obesidad. Lo anterior se deriva de malos hábitos en los estilos de vida, como son una alimentación inadecuada, falta de actividad física, el estrés y a problemas ambientales. Otro aspecto es que el bajo consumo de alimentos que contienen sustancias funcionales que generan efectos fisiológicos a la salud humana, han sido cada vez más alejados de la dieta tanto rural como urbana. Una de esas sustancias funcionales presentes en los alimentos, de forma natural o no son los componentes de la fibra dietética. Por ello, es importante encontrar o desarrollar alimentos de bajo costo que sean usados como fuente de fibra dietética y sean incluidos en la dieta para prevenir enfermedades que actualmente aquejan a la mayor parte de la población, particularmente en la etapa adulta. El efecto fisiológico que la fibra dietética puede ejercer en el organismo humano, dependen de las propiedades físico-químicas de Lafuente de fibra dietética usada en la alimentación. Cuando la fuente de fibra dietética proviene de materiales deshidratados, debe cuidarse que el método de deshidratación no afecte de manera significativa dichas propiedades físico-químicas. Por lo anterior, en el presente trabajo se planteó la obtención de un producto de nopal deshidratado utilizando un proceso de deshidratación solar controlado, de fácil aplicación, en el que el producto conserve al máximo las propiedades físico-químicas de su fibra dietética.

3.0 HIPOTESIS

Se obtendrá un producto de nopal deshidratado en el que se conserven las propiedades físico-químicas de su fibra dietética.

4.0 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas de nopal deshidratado por dos métodos de secado, en estufa eléctrica y deshidratador solar.

4.2 Objetivos específicos

- Deshidratar nopal fresco usando el método de deshidratación solar y en estufa eléctrica.
- Caracterización físico-química de polvo de nopal deshidratado por ambos métodos.

5.0 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materia prima

Se utilizó nopal fresco *Opuntia ficus-indica* adquirido en un centro comercial de la ciudad de Morelia Michoacán.

5.2 Metodología de la deshidratación

El proceso previo a la deshidratación del nopal (Figuras 8, 9, 10 y 11) fue el siguiente:

- 1) Remoción de espinas.
- 2) Desinfección en hipoclorito de sodio al 0.05% durante 10 min.
- 3) Rebanado a un grosor menor a 4 mm de ancho. Excepto en el nopal a deshidratar a 80 °C que fue de hasta 2 cm para evitar su calcinación.
- 4) Colocación del nopal rebanado ya sea en: i) bandejas de la estufa eléctrica digital ó ii) en bandejas del deshidratador solar. En cada caso el tiempo de exposición en las cámaras de secado fue variable, ya que para cada condición el tiempo de secado fue distinto.
- 5) Molienda de las rebanadas de nopal deshidratado en licuadora y almacenamiento en frascos de vidrio.



Figura 8. Nopal rebanado para deshidratar en secador solar.



Figura 9. Nopal colocado en bandejas del deshidratador solar.



Figura 10. Deshidratador solar.

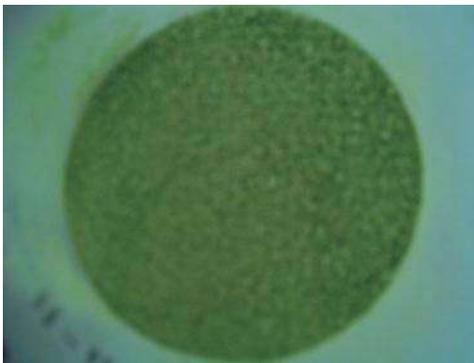


Figura 11.- Nopal deshidratado y molido.

Material y equipo

- Deshidratador mixto
- Estufa digital de secado FELISA, modelo FE 291D
- Balanza analítica marca SARTORIUS, modelo BL120-s
- Bomba de vacío marca SIEMENS modelo FE-1500
- Viscosímetro marca BROOKFIELD DV-II+pro viscosimeter
- pH metro HANNA INSTRUMENTS Mod. 210 microprocessor
- Baño María marca LAB LINE modelo 35-40
- Desecador
- Papel filtro
- Termómetro
- Crisoles
- Vasos precipitados de 600 ml y de 250 ml
- Probetas
- Pipetas
- Matraces de 250 ml y de 600 ml
- Agitadores de vidrios

El material de vidrio fue de las marcas Pyrex y Kimax. Los reactivos fueron de las marcas Sigma y Baker.

5.3 Metodología para el análisis de la composición química

Los análisis realizados a las muestras de nopal fueron: humedad y cenizas de acuerdo a los métodos de la AACC (2000).

5.3.1 Determinación de fibra dietética

Método enzimático de Prosky y col. (1998), se realizó en dos partes: digestión y filtración.

Digestión

Se pesó 1 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se agregaron 50 ml de solución buffer de fosfatos 0.08M con pH de 6; posteriormente, se agregaron 0.1 ml de la enzima α -amilasa a 95 °C y se agitó durante 30 min. La solución se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se ajustó a un pH de 7.5 con NaOH (0.275N) y se le agregaron 0.1 ml de proteasa (0.5 g de proteasa en 1 ml de solución buffer) y se colocó en baño maría a 60 °C durante 30 min con agitación constante. Después se atemperó y se ajustó a un pH de 4.5 con HCl (0.325N) y se agregaron 0.1 ml de la enzima amiloglucosidasa para hidrolizar el almidón de la muestra y se colocó nuevamente en baño maría a 60 °C durante 30 min con agitación constante.

Filtrado

El papel filtro se colocó a peso constante y se pesó; después se filtró la muestra lavándola con 3 volúmenes de 10 ml de agua destilada, quedando la parte filtrada y el sobrenadante (ambas se conservan). A la parte del papel filtro se le realizaron tres lavados con volúmenes de 10 ml de alcohol al 78%, alcohol 95% y con acetona, tres veces con cada uno. Al sobrenadante se le agregó agua destilada hasta llegar a 100

ml y se adicionaron 400 ml de etanol al 95% a 60 °C y se dejó reposar durante 1 h; posteriormente, se lavó con alcohol al 78% tres veces con porciones de 10 ml cada una, y por último con acetona.

La parte líquida (FD soluble) se colocó en un vaso de precipitados y se ajustó a 100 ml con agua destilada, adicionándosele 400 ml de etanol al 95% a 60 °C; se dejó precipitar por 1 h y se filtró. Se colocó el papel filtro a peso constante y se pesó.

CÁLCULOS

Se determinaron el extracto seco, proteínas y cenizas.

La FD total se calculó considerando el peso del residuo:

FD = (Peso del papel filtro inicial – peso del papel filtro final) - peso de proteínas - peso de cenizas.

Las proteínas y las cenizas se analizaron con los métodos de la AACC (2000).

5.3.2 Determinación de humedad

La determinación de humedad se hizo con el método 934.01 de la AACC (2000). Para este procedimiento se colocaron 3 g de muestra en una cápsula previamente puesta a peso constante. El secado duró 4 h a 100 °C. En seguida se colocó la cápsula en el desecador hasta atemperar y se pesó.

5.3.3 Índices de absorción de agua y aceite

Se realizó por el método de Sosulski (1962). Se pesó 1g de muestra y se colocó en un tubo para centrifuga previamente pesado; se suspendió la muestra en 25 ml de agua y se agitó en el vortex durante 30 min; posteriormente, se centrifugó a 2500 RPM durante 10 min, se descartó el sobrenadante y se pesó el tubo con el precipitado. Para medir el índice de absorción de aceite (CAAc), se siguió el mismo procedimiento que para la medición del índice de absorción de agua, con la diferencia de que en lugar de agua se utilizó aceite comestible.

Cálculos:

Índice de absorción de agua = $P-p + M/M$

P= peso del tubo con sedimento

p=peso del tubo seco

M = gramos de muestra

5.3.4 Índice de retardo de diálisis de glucosa (IRDG)

Se tomaron 0.2 g de muestra y se le adicionaron 20 mL de solución de glucosa 50 mmol/L. Se dejó reposar de 30 a 45 min. En bolsa para diálisis de 11 cm de longitud se colocaron 10 mL de la mezcla de muestra y solución de glucosa. Cerrando varios extremos se suspendieron verticalmente en 100 mL de agua destilada. Se colocaron las muestras a 37 °C en agitación constante por 4 h. Se tomaron alícuotas de 2 mL a los tiempos de 0, 10, 20, 30, 60, 120, 150, 180, 210 y 240 min. Se determinó el contenido de glucosa residual mediante el método de la glucosa oxidasa utilizando un kit de SIGMA y leyendo absorbancia a 500 nm. Las determinaciones se hicieron por triplicado y se utilizó una muestra control en la que no se adicionó muestra (Adiotomre y col., 1990).

Se calculó el índice de retardo de diálisis de glucosa (IRDG) mediante la fórmula:

$$\text{IRDG} = 100 - [(\text{contenido de glucosa en el dializado con la adición de la fibra}/\text{contenido de glucosa en el dializado de la muestra control}) \times 100]$$
 (Chau y col., 2004).

5.3.5 Viscosidad

Se prepararon soluciones a diferentes concentraciones, a 1%, 3% y 5% con la FD de nopal deshidratado a las diferentes temperaturas de secado en agua destilada, para determinar el tipo de comportamiento que presenta y obtener una concentración idónea para la medición de soluciones de FD de nopal: Se utilizó el equipo Brookfield LVDV-II +pro (Brookfield Engineering Lab Inc., Stoughton, Mas., U.S.A.).

5.3.6 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Las muestras deshidratadas a las diferentes temperaturas fueron analizadas por MEB usando el equipo JMS-6400 Scanning Microscope, Marca: JEOL, Microanálisis: Detector: Bruker Modelo X FLASH 4010 MEB, dicho análisis se llevo a cabo en el Instituto de investigaciones Metalúrgicas de la U.M.S.N.H.

6.0 RESULTADOS

En el caso del nopal deshidratado a 50 °C y 65 °C en estufa eléctrica la duración del secado fue de 24 h mientras que el nopal deshidratado a 80 °C la duración del secado fue de 18 h. Para el nopal secado en deshidratador solar fue de hasta 3 días, ya que dependió de las condiciones climáticas.

Cabe mencionar que no se utilizó ningún antioxidante para ninguno de los dos procesos de deshidratación, debido a que en pruebas preliminares se encontró que al poner en contacto rebanadas de nopal en solución conteniendo ácido cítrico se observó un arrastre de mucílago, y por lo tanto esto podría ocasionar pérdidas de fibra dietética y disminución en las propiedades benéficas del nopal. Solamente en el tratamiento a 80 °C se mostró una coloración oscura, pero no debido al oscurecimiento enzimático sino a la intensidad del calor aplicado en la cámara cerrada de la estufa eléctrica. En la sección de Anexo se encuentran algunas fotografías de las pruebas preliminares de los tratamientos con inhibidores de la oxidación y de las muestras deshidratadas bajo las diferentes condiciones de desecación.

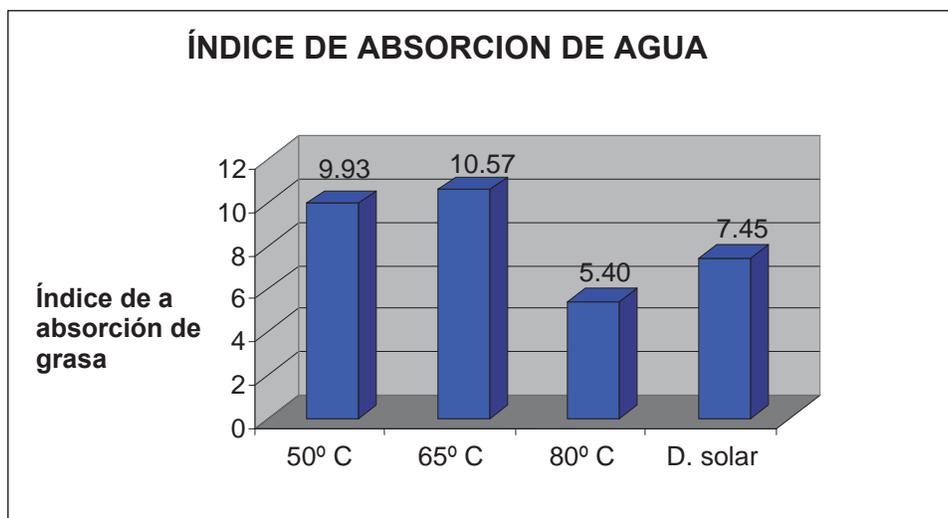
A continuación se describen los resultados obtenidos en las muestras de nopal deshidratado por ambos métodos.

6.1 Índice de absorción de agua

Como se puede observar en el Cuadro 4 y Figura 12, el mayor índice de absorción de agua (IAA) se presentó en las muestras de nopal deshidratado a 65 °C (10.57) y a 50 °C (9.93). El menor IAA se presentó en el nopal deshidratado a 80 °C (5.41). Un valor intermedio se presentó en el nopal deshidratado solarmente (7.45). La exposición del nopal a una temperatura de 80 °C pudo haber causado un mayor daño en la estructura tisular y modificaciones estructurales que impidieron absorber una mayor cantidad de agua.

Cuadro 4.- Índice de absorción de agua.

	Nopal deshidratado			
	50 °C	65 °C	80 °C	Solarmente
Índice de absorción de agua	9.93	10.57	5.40	7.45
Desv. Est.	0.209	0.308	0.307	0.499

**Figura 12.- Índice de absorción de agua en muestras de nopal deshidratadas.**

6.2 Índice de absorción de aceite

En el caso del índice de absorción de aceite (IAAc) los resultados obtenidos fueron similares en todos los casos (Cuadro 5 y Figura 13), aunque de nuevo se obtuvieron los mejores resultados en el nopal deshidratado a 65 °C. El nopal deshidratado solarmente presentó un valor similar al secado a 65 °C. En el caso del nopal deshidratado a 80 °C se observó un menor IAAc aunque muy poca diferencia en relación con las otras muestras; lo anterior posiblemente también debido al daño por

la alta temperatura a la que fue expuesto, lo cual posiblemente ocasionó una menor porosidad de las células del nopal también provocada por la exposición a alta temperatura que provocó daño tisular. En el caso del nopal deshidratado a 50 °C se obtuvo un ligero mayor IAAC comparado con el nopal deshidratado a 80 °C, pero menor IAAC comparado con el nopal deshidratado a 65 °C y del deshidratado solarmente. Además el nopal secado a 50 °C y molido tuvo un diámetro medio de partícula mayor que los otros tratamientos, y por lo tanto una menor área superficial de contacto, como se discute más adelante.

Estos resultados nos demuestran que la FD de nopal deshidratado apropiadamente ayuda sobre todo en la captación de grasas. Esto es importante, ya que se conoce el alto contenido de triglicéridos y colesterol sanguíneos provocan enfermedades cardiacas. También nos beneficia en la poca absorción de grasas a nivel intestinal y de esta manera el cuerpo utiliza las reservas de colesterol para sintetizar ácidos biliares, manteniendo de esta manera un buen equilibrio de colesterol y grasas dañinas para el organismo.

Cuadro 5.- Índice de absorción de aceite.

Nopal deshidratado				
	50 °C	65 °C	80 °C	Solarmente
Índice de absorción de aceite	3.84	3.97	3.69	3.99
Desv. Est.	0.056	0.254	0.071	0.030

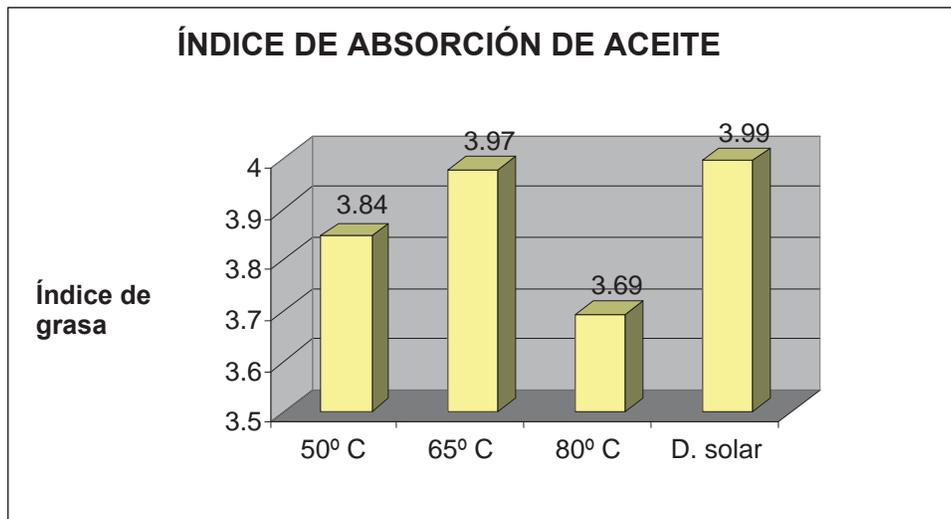


Figura 13.- Comparación de índices de absorción de aceite.

6.3 Humedad

Se observó que a menor temperatura de secado mayor fue la humedad. Los resultados obtenidos en esta prueba indicaron que la mayor cantidad de humedad fue en el nopal deshidratado a 50 °C comparada con las otras muestras (Figura 14).

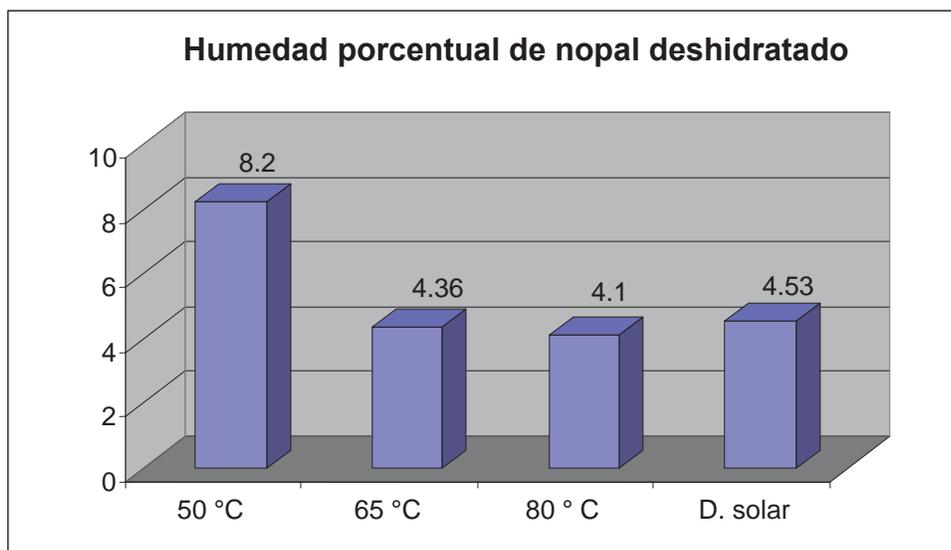


Figura 14.- Contenido de humedad del nopal deshidratado.

6.4 Tamaño de partícula

En esta prueba se observó que a mayor exposición de temperatura de secado menor fue el tamaño de las partículas, esto está relacionado a la cantidad de humedad presente en el producto final de la deshidratación. Lo anterior indica que al haber menor humedad en el producto la desintegración de las partículas fue más efectiva, posiblemente debido a que los tejidos dañados y presentaron una estructura frágil.

Para el nopal secado en deshidratador solar se puede inferir que hay una disminución de partícula más efectiva que en el caso del nopal secado a 65 °C.

Como se puede observar en el Cuadro 6 y Figura 15, en el caso del nopal deshidratado a 50 °C la mayor cantidad del polvo queda retenido en las mallas número 20 y 40, pero en el caso de las muestras de nopal deshidratadas a 65 °C, 80 °C y deshidratación solar, la mayor cantidad de polvo quedo retenida en las mallas número 40 y 60, por lo que como ya se había mencionado, se tiene una mayor fracturación cuando se deshidrata a temperaturas mayores a 50 °C.

Cuadro 6.- Tamaño de partícula de las muestras de nopal deshidratadas.

Num. tamiz	Micras	Gramos de nopal deshidratado			
		A 50° C	A 65° C	A 80° C	Solarmente
20	850	14.70	7.99	4.50	4.50
40	425	14.92	15.59	14.81	16.03
60	250	8.83	10.47	11.79	11.36
80	180	3.13	6.10	6.77	4.58
100	150	0.74	3.97	4.86	1.12
120	125	1.73	2.43	4.73	2.75
<140	106	4.29	1.55	0.42	9.49
TOTAL(gr.)		48.35	48.11	47.92	49.83
DMP		434.11	357.26	309.48	293.45

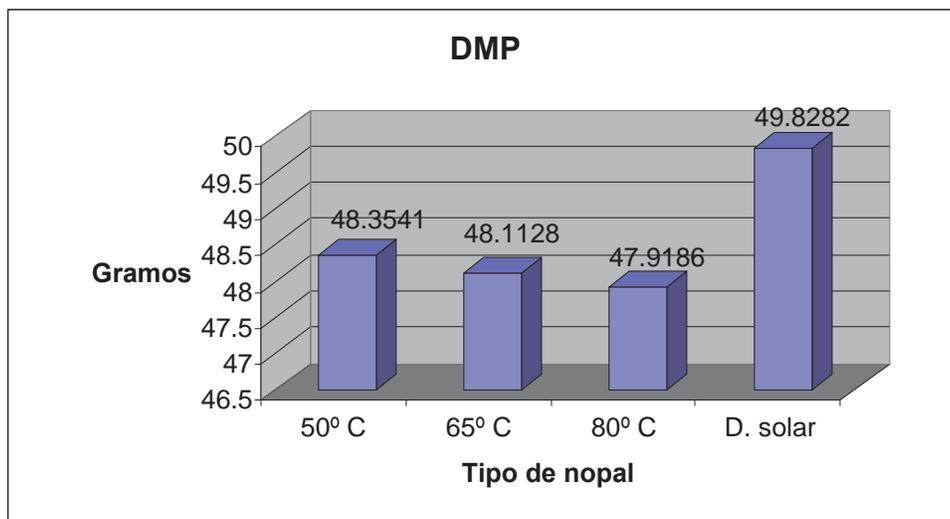


Figura 15.- Tamaño de partícula de las muestras de nopal deshidratadas.

6.5 INDICE DE RETARDO DE GLUCOSA (IRDG)

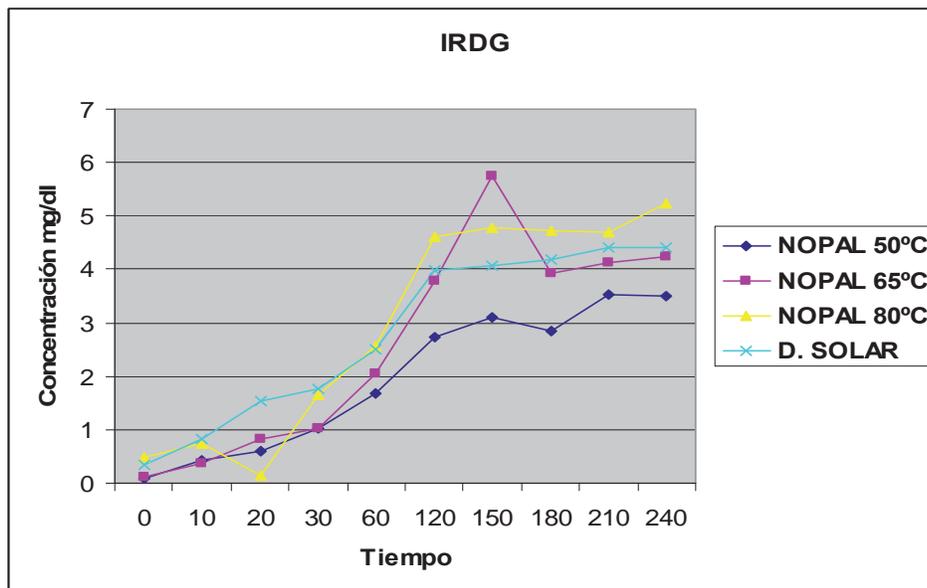
Las muestras de nopal secadas a 50 °C y 65 °C y el nopal deshidratado solarmente mostraron una retención mayor de glucosa (Cuadro 7 y Figura 13). En la gráfica se observa que la solución de glucosa control presentó una curva con mayor absorbancia, esto quiere decir que la solución fuera de la membrana tiene una mayor cantidad de glucosa, en comparación con las muestras de glucosa que contienen la muestra de nopal. Esto muestra que el nopal tiene una gran capacidad de retención de glucosa, debido a la presencia de fibra soluble que al estar en presencia de agua forma un gel capaz de retener la glucosa, obteniendo así un resultado favorable para personas que padecen de diabetes o que son propensas a tener diabetes debido a los altos niveles de ingesta de glucosa por la mala alimentación.

En general se puede observar que hay una retención de glucosa por parte del nopal excepto en el nopal deshidratado a 80 °C, en donde existe muy baja capacidad de retención de glucosa por parte del nopal.

Por el contrario, el mejor resultado obtenido fue el del nopal deshidratado en estufa eléctrica a 65 °C, incluso presentó mejor retención que el nopal secado en deshidratador solar y el nopal secado en estufa eléctrica a 50 °C.

Cuadro 7.- Índice de retardo de glucosa de las muestras de nopal deshidratado.

MUESTRA	TIEMPO (min)									
	0	10	20	30	60	120	150	180	210	240
NOPAL 50 °C	0.09	0.414	0.59	1.02	1.67	2.72	3.1	2.85	3.54	3.51
Control	0.03	0.765	1.13	1.44	2.89	3.68	4.5	3.47	4.79	4.54
NOPAL 65 °C	0.11	0.368	0.83	1.02	2.06	3.79	5.8	3.92	4.12	4.25
Control	0.03	0.469	0.93	1.56	3.37	4.51	4.8	5	3.91	4.36
NOPAL 80 °C	0.48	0.735	0.14	1.64	2.56	4.6	4.8	4.72	4.7	5.23
Control	0.14	1.046	0.4	1.98	3.17	4.22	4.6	4.32	4.32	4.77
D. SOLAR	0.33	0.822	1.54	1.78	2.5	3.98	4.1	4.17	4.41	4.42
Control	0.03	0.469	0.93	1.56	3.37	4.51	4.8	5	3.91	4.36

**Figura 16.-Comparación de retenciones de glucosa.**

6.6 VISCOSIDAD

Para medir la viscosidad se probaron tres concentraciones diferentes de FD de nopal a tiempos de 30 min entre cada medición hasta cumplir la concentración ideal para hacer la medición de la viscosidad. Las mejores condiciones e dieron 3% y 5% de copal y se utilizaron las agujas 2 y 3. En estas pruebas influye de manera importante la temperatura a la que fue deshidratado el nopal, como se puede observar en los resultados del nopal deshidratado a 50 °C, el cual no generó mucha viscosidad en

comparación con el nopal deshidratado a 65 °C que fue el que presentó mayor viscosidad, incluso mayor que el nopal deshidratado solarmente. El nopal deshidratado a 80 °C no presentó resultados de viscosidad debido al daño ejercido en las fibras que componen al nopal por la alta temperatura a la que fue expuesto y también por que posiblemente la fibra soluble fue modificada por el proceso de deshidratación, convirtiéndola a otros productos insolubles.

Cuadro 8.- Viscosidad medida en suspensiones de las diferentes muestras de nopal deshidratadas.

NOPAL DESHIDRATADO A 50° C								
	0	30	60	90	120	150	180	
3%								
Aguja 2						83.8		84
5%								
Aguja 3		234	308	367	255	259	282	284
NOPAL DESHIDRATADO A 65° C								
	0	30	60	90	120	150	180	
3%								
Aguja 1				22.68				97.5
Aguja 2				80.67	172.8	152	168.4	144
Aguja 3				177.7	174.67	188	213.8	193
5%								
Aguja 1	19							19
Aguja 3			194	254	303	213	302	253
NOPAL DESHIDRATADOR SOLAR								
	0	30	60	90	120	150	180	
3%								
Aguja 2						34.7	36.67	36
5%								
Aguja 1		28	33					30.5
Aguja 2					82	109	73	88

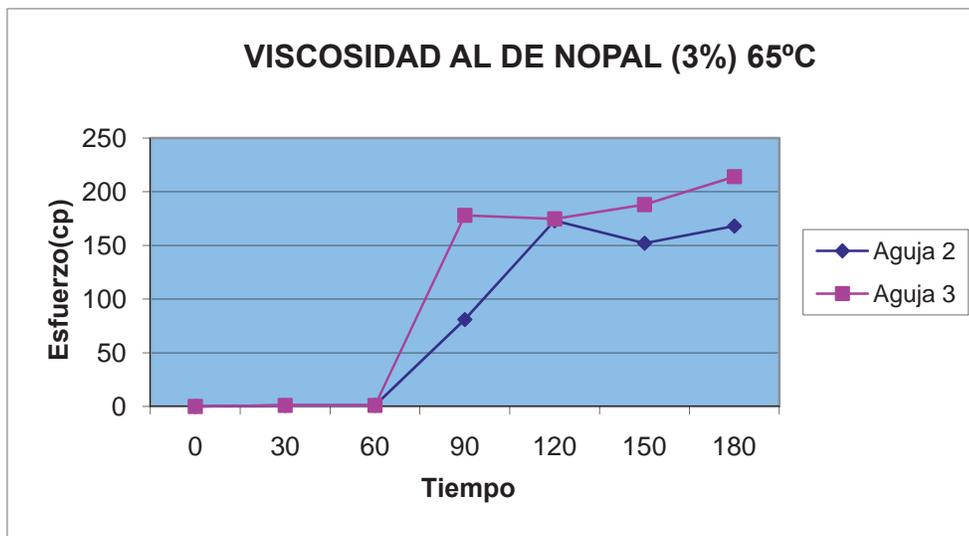


Figura 17.- Viscosidad del nopal (3%) secado a 65 °C.



Figura 18. Soluciones de nopal Deshidratado a diferentes condiciones y temperaturas.

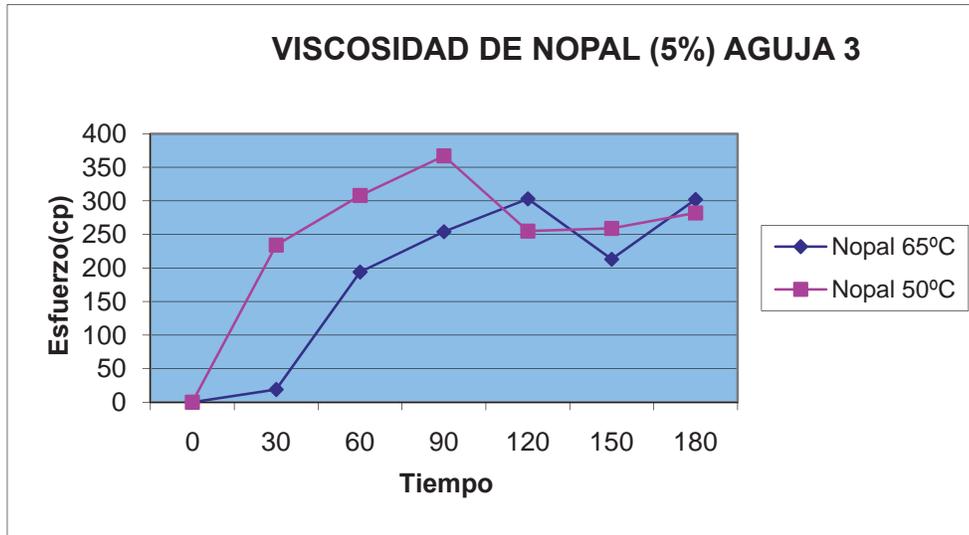


Figura 19.- Comparación de viscosidades.

6.7 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Como se puede observar en las imágenes obtenidas a 250 x100 um, el daño en el tejido vegetal depende de la temperatura de deshidratación a la que fueron sometidas, notando que la muestra que se expuso a 80 °C fue la que mayor deformación del tejido tuvo durante el proceso de secado.

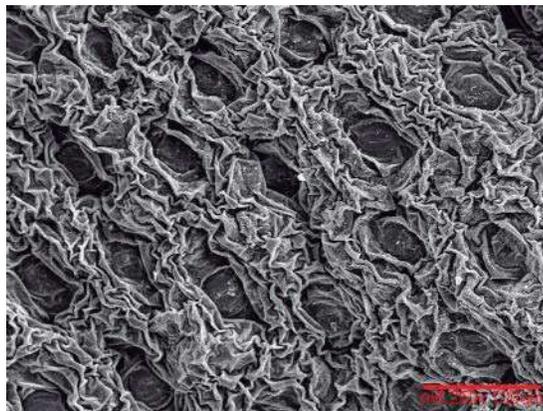


Figura 20.- Microfotografía de nopal deshidratado a 80 °C.

Mientras que las que mostraron un menor daño y mejores estructuras conservadas fueron las del nopal expuesto a menor temperatura y también en el deshidratador solar.

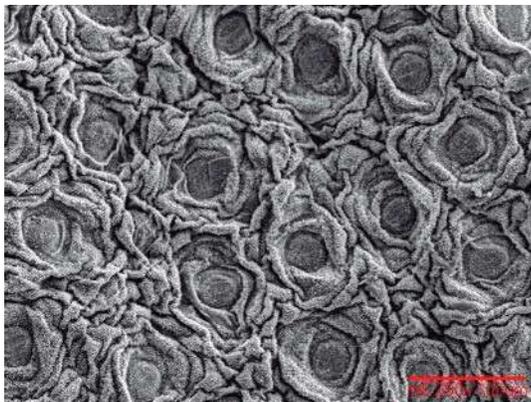


Figura 21.- Microfotografía de nopal deshidratado a 50° C.

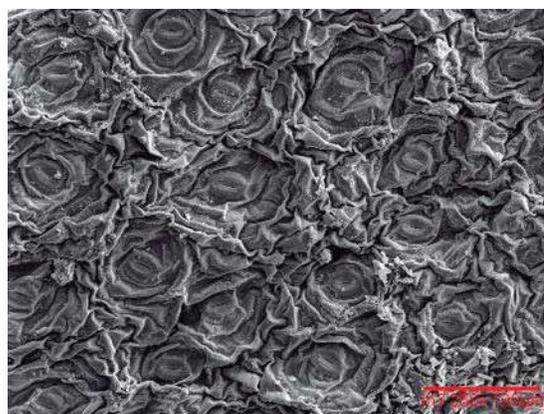


Figura 22.- Microfotografía de nopal deshidratado en secador solar.



Figura 23.- Microfotografía de nopal deshidratado a 65° C.

En acercamientos, se puede observar como existen diferencias entre el daño estructural al tejido, en relación con la temperatura a la cual el nopal fue expuesto.



Figura 24.- Microfotografía 1000 x 10 μm de nopal deshidratado a 65° C.

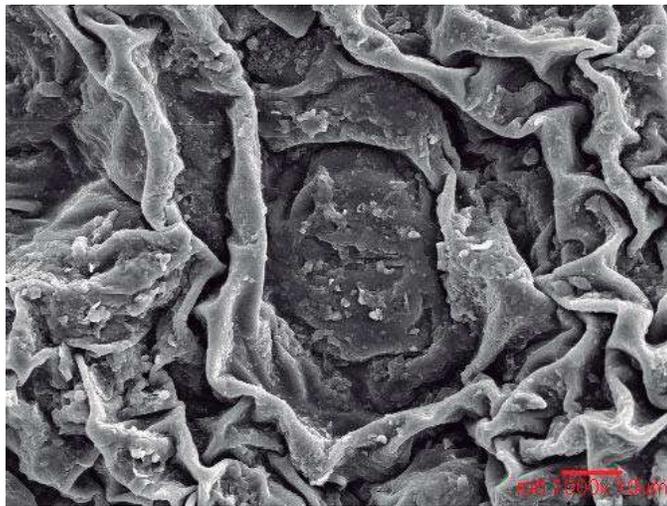
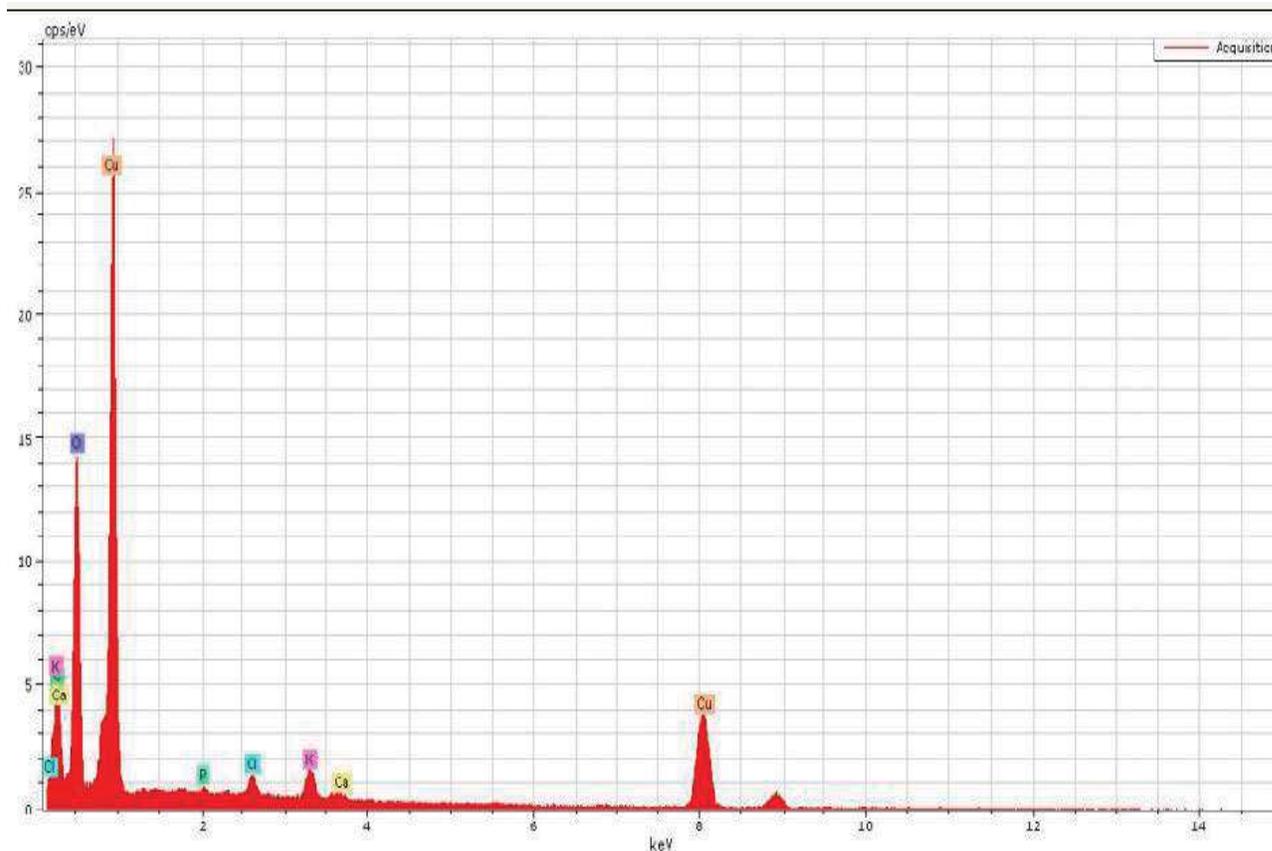


Figura 25.- Microfotografía 1000 x 10 μm de nopal deshidratado a 80° C.

En las figuras 24 y 25 se puede observar el daño y la deformación del tejido en las fibras de nopal, así como también se ve la presencia de cristales en todo el tejido, notando que el nopal deshidratado a 80 °C muestra un agrupamiento de cristales más grandes, lo cual puede contribuir al daño de la fibra, mientras que en el nopal deshidratado a 65 °C los cristales son de menor tamaño y la estructura de la fibra no se ve tan deformada.

Otra de las aplicaciones que posee la MEB es que puede dar un análisis de elementos presentes en la superficie del material estudiado, se encontró que para nopal, los elementos que muestran picos significativos son el calcio, el potasio, cloro y silicio.



**Figura 26. Gráfica de componentes superficiales de nopal deshidratado a 65°C
MEB**

7.0 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las muestras de nopal deshidratadas en estufa eléctrica a 65 °C y 50 °C y deshidratados solarmente fueron mejores que los que se obtuvieron a partir del polvo de nopal secado a 80 °C. Posiblemente la deshidratación a altas temperaturas y/o tiempos de exposición prolongados, dañaron las células vegetales del nopal y por lo tanto el nopal perdió sus propiedades fisicoquímicas, así como las benéficas, tal como ocurrió en la muestra deshidratada a 80 °C en estufa eléctrica, en este trabajo. Por lo tanto, se recomienda un secado en estufa a 65 °C o bien la deshidratación solar de las muestras de nopal.

8.0 BIBLIOGRAFÍA

- AACC. American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods*. 10th edition. Ed. by the American Association of Cereal Chemists. Minneapolis, MN, USA. (2000).
- Adiotomre, J., Eastwood, M. A., Edwards, C.A.Y, Brydon, W.G. (1990). Dietary fiber: in vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 52: 128-134.
- Aguilar, S. L., Martinez, D.M.T., Barrientos, P.A.F., Aguilar, G.N., Gallegos, V.C. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitas, 2007. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 165-184
- Asano, T.K., Mateod, R.S. 2005. Fibra dietética para la prevención de carcinomas y adenomas colorrectales. Biblioteca cochrane plus. Numero 4.
- Badui, D.S. Química de los alimentos. 1999. Longman de México editores, S.A de C.V. Pearson Educación. México 10.3.1:501-513.
- Bravo - Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. 2^a ed Vol.1, U.N.A.M. México.
- Brown, L., Bernard, R. 1999. Cholesterol- lowering effects of dietary fiber: a meta analysis. *American journal of Clinical Nutrition*, 69(1):30-42
- Chau, C.F., Chen, C.H. y Lin, C.Y. (2004). Insoluble fiber-rich fractions derived from *Averrhoa carambola*: hypoglycemic effects determined by in vitro methods. *Lebensm-Wiss. u.-Technol.* 37:331-335.
- De la peña Villar 1994. "Secado directo e indirecto". Riera Nadeu. SA, Barcelona.
- Eckel, R.A., Grundy, S.M., Zimmet, P.Z. 2005. The metabolic syndrome. *Lancet*, 365:1415-1428.
- Expert panel on detection evaluation and treatment of high blood cholesterol in adults, 2001. Executive Summary of the Third report of the National Cholesterol Education Program (NECP). Expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (adult treatment panel III); *JAMA*, 285; 2486-2497.

- Gassull, M.A., Meier, R. 2004. Consensus recommendations on the effects and benefits of fibre in clinical practice. Clin Nutr suppl, 1:73-80.
- Granados, S.D., Castañeda, P.A.D. 1997. El Nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Ed. Trillas. Segunda reimpresión. Pp. 5-75.
- http://es.wikipedia.org/wiki/fibra_diet%C3%A9tica **consultado el día 15/01/09**
- http://homero.galeon.com/nopal.htm#_Toc523551889 **consultado el día 20/12/08**
- <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf> **consultado el día: 10/03/09**
- <http://www.alimentacion-sana.com.ar> **consultado el día: 20/01/09**
- <http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/fibra1.htm> **consultado el día: 12/11/08**
- <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/nopal.htm>. **consultado el día: 8/12/08**
- <http://www.ciberjob.org> **consultado el día: 12/02/09**
- http://www.esalud.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Beneficios_del_consumo_de_nopal **consultado el día: 10/01/09**
- <http://www.fibra-salud.com/%5Cobra%5C5.htm> **consultado el día: 18/01/09**
- <http://www.iaca.com.ar/acidos%20biliares.htm> **consultado el día: 13/02/09**
- <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/71/nverdura.html> **consultado el día: 17/04/09**
- http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=0 **consultado el día: 22/04/09**
- http://www.pronat.com.mx/productos/pu_nopaldes.htm **consultado el día: 15/01/09**
- Kasatkin, A. 1985. "Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. T-I./pág 262-366.
- Knoule, F. "El secado". Bilbao. Ediciones Urno. 1968./pág 50-150.
- López, G., Ros, G., Rincón, F., Periago, M.J., Martínez, C., Ortuño, J. 1997. Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal. Archivos latinoamericanos de nutrición, 47(3):203-207.
- Madariaga, A.J.F. 1995. El secado de biomasa residual de la caña de azúcar. Tesis para C. Dr. C. T. ISJAE. Fac. de Ing. Mecánica. Ciudad de la Habana.

- Martínez, F.H.E., Figueroa, J.D.C. 2008 Capitulo I. La fibra dietética y su importancia en la salud humana. En: temas selectos en alimentos, nutrición y salud. Morevallado editores.pp. 17-20
- Menon y Mujundar 1992. "Drying of solids". Mc Graw Hill, Montreal, Canadá.
- Noakes, M. 1996. Effect of high-amylose starch and oat bran on metabolic variables and bowel function in subjects with hypertriglyceridemia. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64:944-951
- Pereira, M.A., O'reilly, E., Augustsson, K. Y cols. 2004 Dietary fibre and risk of coronary heart disease; a pooled analysis of cohort studies. *Arch intern med*, 164:370-376
- Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., Devries, J.W., Furda, I. 1998. determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J Assoc of anal chem*, 71(5); 1017-1023.
- Quevedo P. K.L., Villegas O.M.A., Gonzales R.H., Rodriguez F.A., Efecto de la temperatura e inhibidores del oscurecimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2005, vol. 28 numero 003. p. 261-270
- Roediger, W.E. 1980: The colonic epithelium in ulcerative colitis: an energy deficiente disease?. *Lancet*, 2:712-715.
- Sosulki, F.W. 1962. The centrifuge method for determination water absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry* **39**, 344–51.
- Theander, O., Westernlund, E., Aman, P. 1993. Structure and components of dietary fiber. *Cereal foods World* 38:135-141.
- Treybal, R. C. 1965. "Operaciones con transferencia de masa". Cap. XII./pág 653

9.0 ANEXOS



Figura 27. Nopal deshidratado a 80 °C con inhibidor.



Figura 28. Nopal entero deshidratado a 80 °C sin inhibidor.



Figura 29. Nopal deshidratado por secado solar.



Figura 30. Nopal deshidratado a 80 °C.

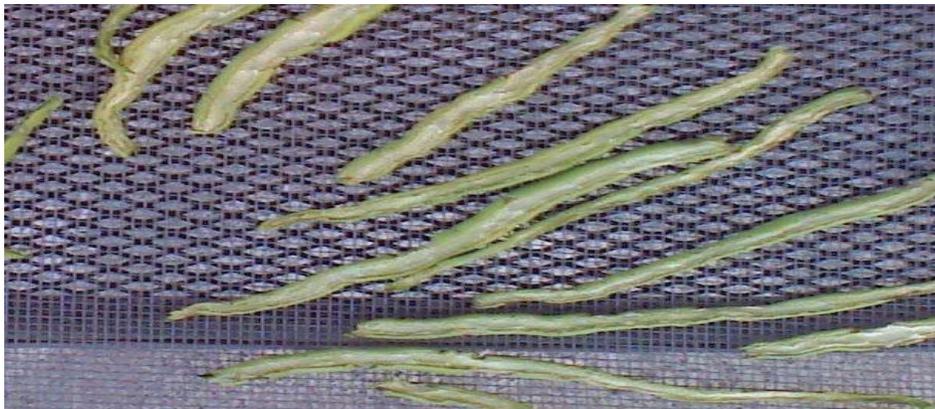


Figura 31. Nopal deshidratado a la intemperie.

CINÉTICA DE SECADO

Cuadro 9.- Comparación de temperaturas

HORA	Peso de la muestra		Secado a intemperie (°C)		Deshidratador solar (°C)	
	Deshidratador	Intemperie	T.ambiental	T. solar	T.aire entrada	T. cámara
10:00	258	218	18	31	48.8	44.4
10:30	210	190	18	34	48.8	46.6
11:00	163	162	19	36	60	52.2
11:30	117	136	21	34	62.7	53.3
12:00	80	111	21	32	61.1	53.3
12:30	57	89	22	40	68.8	62.2
13:00	38	69	23	42	67.7	67.7
13:30	26	54	24	40	68.8	67.7
14:00	20	43	26	45	68.8	67.7
14:30	17	33	32	40	66.6	66.6
15:00	14	27	32	38	64.4	65.5
15:30	14	23	32	36	60	62.2
16:00	14	22	32	34	55.5	60

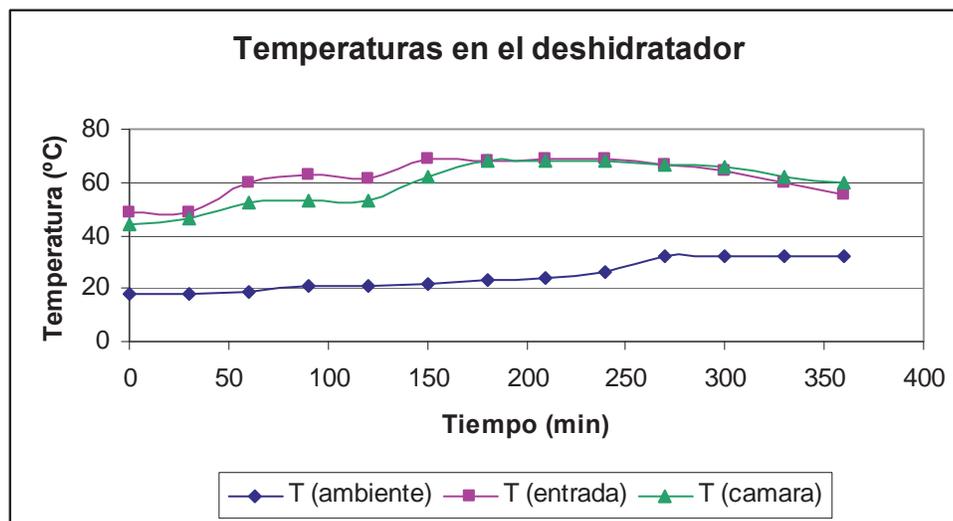


Figura 32.- Temperaturas en el deshidratador

En esta gráfica (figura 25) se puede observar que la temperatura del ambiente es menor a las temperaturas del aire en la entrada del deshidratador y en la cámara, por lo que es fácil decidir el porque es conveniente utilizar un deshidratador para llevar a cabo el secado de nopal. Además nos demuestra lo eficaz que es el deshidratador, puesto que con únicamente la ayuda del sol se puede llevar a cabo una deshidratación igual de efectiva que en un horno eléctrico.

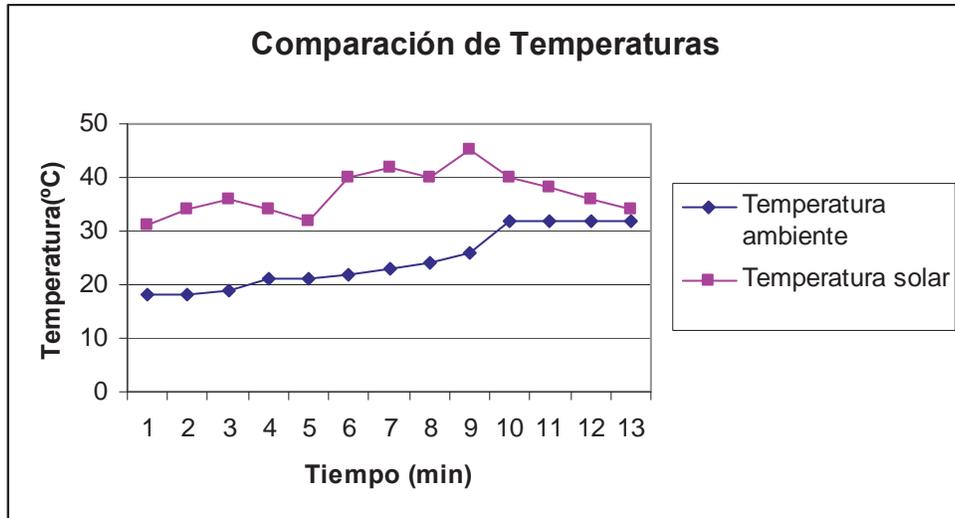


Figura 33.-Comparación de temperatura ambiente y solar

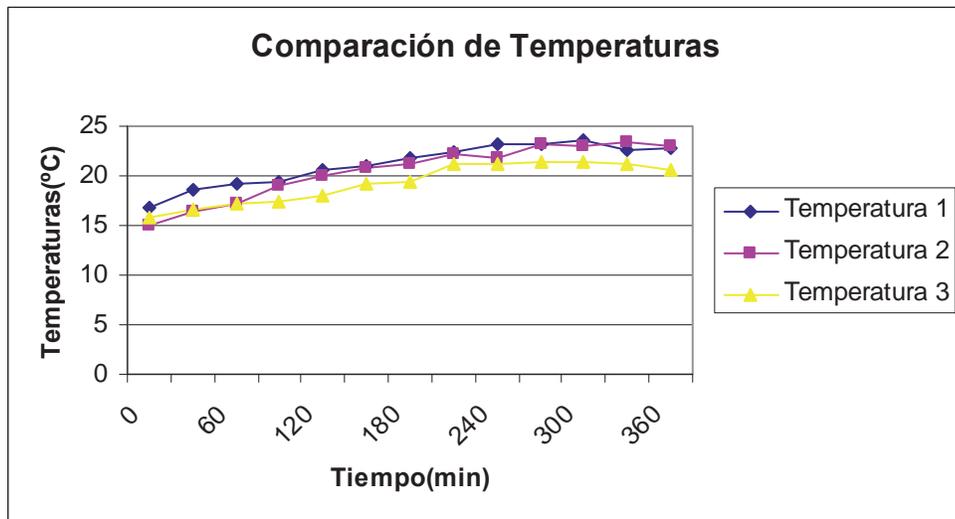


Figura 34.- Comparación de temperaturas en diferentes partes de la ciudad

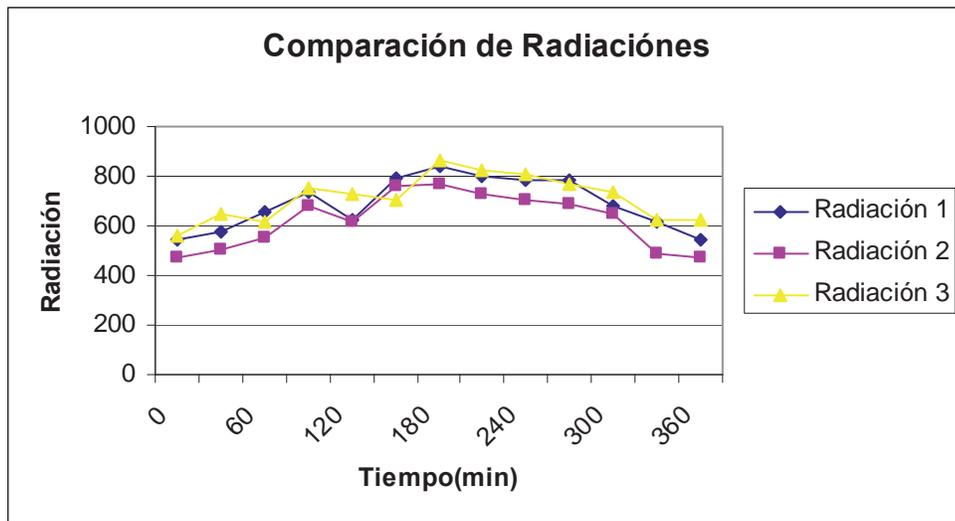


Figura 35.- Comparación de radiación en diferentes puntos de la ciudad