



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN.

CEREAL EXTRUIDO PARA DESAYUNO, A BASE DE HARINA DE
NOPAL CON ALTO CONTENIDO EN FIBRA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ELVIA MARTINEZ ASCENCIO

ASESORES: I. B. Q. LETICIA FIGUEROA VILLARREAL

M. C. ALMA VIRGINIA LARA SAGAHÓN

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Primeramente le doy gracias a Dios por la energía y fuerzas que me ha dado para poder llegar al final de mis estudios y completar este trabajo, por darme el entendimiento para llegar a este punto de la vida, por concederme salud para disfrutar de estos momentos y consciencia para discernir lo bueno que he recibido.

A MIS PADRES

Por darme el regalo más hermoso "la vida", por su incondicional apoyo en los momentos buenos y malos. Por su comprensión y confianza, por su amor, A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo, porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional.

A MI GORDITA Y FELIPE

A mi niña preciosa a quien amo tanto y es el motor que me impulsa todos los días, a mí Felipe por que desde que nos conocimos a estado conmigo y me ha cuidado con mucho amor y por amarme tanto.

A MIS HERMANAS (O)

Josefina, Lupita, Marylu y Domi por el cariño y la convivencia tan linda que vivimos todos los días y por alentarme a concluir lo que comencé. Gracias Marylu siempre me apoyaste y nunca me dejaste sola, estuviste conmigo siempre.

A MIS PROFESORES

Por todas la enseñanzas que me dejaron a lo largo de la carrera.

A MIS AMIGAS

Blanca, Margarita y Teresa por todo su apoyo, por ayudarme a crecer y darme muchos días felices y llenos de risas, por darme sus hombros para llorar y por dejarme entrar a sus vidas y compartir conmigo un poquito de cada una de ellas.

Por último quiero agradecer a esta hermosa Universidad por permitirme crecer en todos los aspectos de mi persona, por ofrecerme todas las actividades que contribuyeron a mí educación y por que aquí he vivido la mejor etapa de mi vida.

ÍNDICE

	PAG
INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO 1. GENERALIDADES	
1.1 Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	
1.1.1 Antecedentes	7
1.1.2 Composición física y química	7
1.1.3 Valor nutritivo	8
1.1.4 Parámetros de calidad	9
1.1.5 Producción nacional	9
1.1.6 Variedades cultivadas	10
1.1.7 Comercialización	11
1.1.7.1 Exportación	12
1.2 Fibra	
1.2.1 Definición de fibra	12
1.2.2 Clasificación de la fibra	13
1.2.3 Propiedades de la fibra dietética	14
1.2.4 Propiedades de los componentes	16
1.2.5 Digestión de la fibra	16
1.2.6 Fisiología de la fibra	17
1.2.7 Fuentes de fibra dietética	17
1.3 Métodos para la determinación de fibra	18
1.3.1 Determinación de fibra cruda (Weende)	18
1.3.2 Determinación de fibra cruda (Kennedy)	19
1.3.3 Determinación de fibra detergente ácido	19
1.4 Cereales para desayuno listos para consumir	19
1.4.1 Definición	20
1.4.2 Gama de productos	20
1.4.3 Importación	21
1.4.4 Exportación	22
1.4.5 Mercado Nacional	23
1.4.6 Mercado Mundial	23
1.4.7 Proceso de elaboración de cereales	23
1.5 Desarrollo de nuevos productos	25
1.5.1 Proceso de desarrollo de nuevos productos	25
1.6 Extrusión	27
1.6.1 Definición	27
1.6.2 Tipos de extrusores	28
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	
2.1 Objetivos	29
2.2 Cuadro metodológico	30
2.3 Descripción del cuadro metodológico	31
CAPITULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	44
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	55
PERSPECTIVAS	56

APENDICES	57
BIBLIOGRAFÍA	59

INDICE DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Clasificación de la fibra	15
Figura 2. Importación de productos a base de cereales	22
Figura 3 Exportación de productos a base de cereales	22
Figura 4 Diagrama generalizado para la producción de cereales (Barraza, 1993)	24
Figura 5. Cuadro Metodológico	30
Figura 6. Proceso de cereal de nopal	36
Figura 7. Relación fibra cruda y fibra insoluble en nopal con y sin espinas	45
Figura 8. Curva de secado de nopal fresco	46
Figura 9. Representación gráfica aceptación de color	48
Figura 10. Representación gráfica aceptación de olor	49
Figura 11. Representación gráfica aceptación de sabor	49
Figura 12. Representación gráfica aceptación de textura	50

INDICE DE CUADROS

	PAG
Cuadro 1. Composición química en 100g de Nopal Fresco (<i>Opuntia ficus indica</i>)/ Harina de maíz	8
Cuadro 2. Gramos de aminoácidos en 100g de proteína	8
Cuadro 3. Producción agrícola 2007 Modalidad: Riego + Temporal nopalitos	10
Cuadro 4. Localización y funciones	13
Cuadro 5. Composición de la pared celular en relación con el grado de maduración de la planta	13
Cuadro 6. Características y propiedades de la fibra soluble e insoluble	14
Cuadro 7. Contenido de fibra de algunos grupos de alimentos.	17
Cuadro 8. Cereales para desayuno. Características del proceso y especificidades del producto	21
Cuadro 9 Condiciones de escaldado del nopal	33
Cuadro 10. Condiciones de secado de nopal	34
Cuadro 11. Condiciones de tostado del cereal	34
Cuadro 12. % de Humedad en Nopal fresco	44
Cuadro 13. % de Fibra Cruda en el Nopal Con/Sin espinas	44
Cuadro 14. % de Fibra Insoluble en el Nopal Con/Sin espinas	45
Cuadro 15. Condiciones de escaldado del nopal	46
Cuadro 16. Formulaciones para cereal de nopal	47
Cuadro 17. Prueba de Friedman	50
Cuadro 18. Análisis microbiológico cereal de nopal	51
Cuadro 19. Parámetros sensoriales y químicos del cereal con harina de nopal	51
Cuadro 20. Análisis proximal de alimentos industrializados (g/100g producto)	52

INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia spp*) ha representado para los mexicanos, uno de los alimentos más relevantes y de gran significado cultural, ya que se utiliza como alimento, forraje y producto industrial; su significado histórico es evidente, ya que se encuentra plasmado en el escudo de la bandera nacional, donde es uno de los símbolos más característicos. Los aztecas lo llamaban nochtli o nopalli. El nopal es una arbustiva que forma parte de las cactáceas que conforman alrededor de 1600 especies, sus frutos son comestibles y se conocen como tunas (Reza, 2002).

El nopal cuenta con un mercado potencial interno y externo que podría comenzar a explotarse por medio de un incremento en volúmenes de producción y el cual es susceptible a ser explotado entre productores e industriales. En los últimos años del siglo XX ha resurgido el interés por el nopal como fuente alimenticia y de salud, de manera que se ha incrementado su consumo (5.66kg. per cápita) en su estado fresco, deshidratado o como complemento indicado en la medicina naturista (Borrego, 1986; Pérez, 1998). Actualmente el nopal ya es procesado industrialmente en productos como; nopalitos en escabeche, en salmuera, mermelada de nopal, polvo de nopal para uso medicinal y alimentos preparados envasados. La producción de nopal es de 673.559.03ton (SIAP, 2009) que debiera aprovecharse básicamente como alimento para el hombre, ya que el contenido nutricional de esta planta comprende minerales como el calcio, hierro, aluminio, magnesio, potasio, sílice, sodio, manganeso, carbohidratos, vitaminas A, B1, B2, y C, (Zavala, 1993) aunque es un alimento con alto grado de humedad, el contenido de fibra dietética es mayor al 20% (Hernández, 2006).

El alto contenido de fibra (tanto soluble como insoluble) es la principal causa de los aportes medicinales del nopal, pues ésta impide o retrasa la absorción de los azúcares (Murray, 2000). El concepto de fibra dietética se define como los componentes del alimento resistentes a la degradación por las enzimas y a la absorción en el intestino, y que pueden ser fermentados parcial o totalmente en el tracto intestinal (Martínez, 2005).

El origen de los cereales listos para consumir data de 1860 cuando se elaboraban una variedad de desayunos llamados "granolas", consistentes en una mezcla de cereales cocidos. La producción de cereales cocidos, hojuelados e inflados se realizó posteriormente (Barraza, 1993).

Los cereales listos para consumir han llegado a ser el principal y más popular de los desayunos, debido a la conveniencia y aceptabilidad de estos por el consumidor, en relación al costo y sabor.

Por esta razón se decide elaborar un cereal a base de harina de nopal combinado con harina de maíz con alto contenido en fibra. Para aprovechar las propiedades nutricionales que nos brinda el nopal en un producto como lo son los cereales para desayuno de consumo fácil y rápido.

JUSTIFICACIÓN

En años recientes se ha incrementado el interés por el conocimiento de la asociación entre la ingestión de fibra dietética y la salud. Actualmente se conocen varias enfermedades del aparato digestivo y algunos padecimientos crónico-degenerativos que se presentan con mayor frecuencia cuando el consumo de fibra en la dieta es reducido.

En los últimos años ha cobrado gran interés el empleo de fibra en el tratamiento de la obesidad, tanto con alimentos ricos en fibras naturales, como con preparados comerciales derivados de las pectinas, del glucomanán y de las gomas.

El alto contenido de fibra (tanto soluble como insoluble) es la principal causa de los aportes medicinales del nopal, pues ésta impide o retrasa la absorción de los azúcares (*Murray, 2000*). Los cereales listos para consumo han llegado a ser el principal y más popular de los desayunos, debido a la conveniencia y aceptabilidad de estos por el consumidor, en relación al costo y sabor (*Barraza, 1993*).

Si bien existen muchos y diferentes tipos de cereales en el mercado, Actualmente en México no existe un cereal elaborado con nopal. Por otro lado los índices nutricionales indican que en México la obesidad ya es uno de los principales problemas en la población, no solo es el primer país en obesidad sino que esta tendencia va en aumento para el 2006 se reportan 30% de la población total, y más de 5 millones de jóvenes y adolescentes sufren estos trastornos (INSP), pues se consumen alimentos escasos de nutrimentos y que aportan muchas calorías, provocando enfermedades como obesidad, anemia e inclusive diabetes infantil. Por esta razón se decide elaborar un cereal a base de harina de nopal con alto contenido en fibra. Para aprovechar las propiedades nutricionales que nos brinda el nopal en un producto como lo son los cereales para desayuno de consumo fácil y rápido.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

1.1.1 Antecedentes

Los aztecas llamaban al nopal *nochtli* o *nopalli*. Es una arbustiva que forma parte de la familia de las cactáceas, que conforman alrededor de mil 600 especies en 122 géneros. El nombre cactus se deriva del griego *kaktos*, género descrito por Carlos Linneo. Los frutos del nopal son comestibles y se conocen como tunas y el famoso xoconostle (xoco-agrio). De México se llevó a España, Portugal, Italia, Argelia, Marruecos, Túnez, Grecia, Israel, Australia, Sudáfrica, Brasil, Argentina, Colombia, Estados Unidos y China.

El nopal sobrevive tanto en el desierto como en la nieve. En México se cultiva en zonas áridas con menos de 250 milímetros anuales de precipitación pluvial, y en las semiáridas, con precipitaciones de 250 a 450 milímetros. Es una planta que presenta pocas exigencias en su manejo, tolera suelos notablemente pobres en nutrimentos, responde muy bien a condiciones mejoradas con riego, fertilización y control de plagas, enfermedades y malezas.

En México se cultivan 50,000 hectáreas mientras la explotación frutícola silvestre se realiza en tres millones de hectáreas distribuidas en los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango. Las plantaciones comerciales de nopal cubren 10,500 hectáreas con una producción de 600,000 toneladas anuales. Una parte se exporta a Estados Unidos. El nopal-verdura comúnmente conocido como "nopalito", es la penca tierna que se cosecha comercialmente cuando alcanza una longitud de 15 a 20 cm y pesa aproximadamente cien gramos. La cosecha se realiza manualmente cortando con un cuchillo la penca en la base (Pak, 2000)

En nuestro país el nopal es una fuente de ingreso para las comunidades rurales en zonas áridas y semiáridas, además de que fomenta el arraigo de los campesinos a sus tierras. Ellos acostumbran consumir las pencas jóvenes, las tunas y el xoconostle. Utilizan además las raíces, flores y pétalos para productos elaborados. El contenido nutricional de esta planta comprende minerales como el calcio, hierro, aluminio y magnesio, sulfatos y fosfato, potasio, sílice, sodio, manganeso, carbohidratos, componentes nitrogenados además de vitaminas A, B1, B2 y C (Paredes, 1973).

México es reconocido y envidiado en algunos países por los más de 100 productos y subproductos que obtiene del nopal. Sobre todo por la reducción de los niveles de colesterol, triglicéridos y glucosa resultante del consumo de nopal fresco o deshidratado en polvo, cápsulas, tabletas, trociscos o té. Parte de esas propiedades medicinales se deben al mucílago, pectina o "baba", que es un polisacárido complejo compuesto por arabinosa y xilosa (Pak, 2000)

1.1.2 Composición física y química

Opuntia Ficus Indica: Casi no tiene espinas. Es un vegetal arborescente de 3 a 5 metros de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm. de diámetro. Forma artículos oblongos (Pencas o Cladodios) de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm. de ancho y de 2 a 3 cm. de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco que contienen espinas numerosas, amarillas y produce flores de 7 a 10 cm de largo, su fruto es oval de 5 a 10 cm. de largo x 4 a 8 cm. de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo con abundante pulpa carnosa y dulce (Hernández, 2006), su composición química se muestra en el cuadro 1 y 2.

Cuadro 1. Composición química en 100g de Nopal Fresco (*Opuntia ficus indica*)/ Harina de maíz

COMPONENTE	CONTENIDO (g/100g) Nopal fresco	CONTENIDO (g/100g) Harina de maíz
Agua	92.0	12.2
Proteína	0.60	8.29
Grasas	0.12	2.82
Carbohidratos	5.2	66.3
Fibra cruda	2.6	9.42
Cenizas	0.9	0.97

Bravo, 1978

<http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/cereales/granos-y-harinas/harina-de-maiz.html>

Cuadro 2. Gramos de aminoácidos en 100g de proteína

AMINOACIDO	CONTENIDO (g/100 g de proteína)
Lisina	4.00
Isoleucina	4.00
Treonina	4.80
Valina	3.80
Leucina	5.20
Triptófano	0.80
Metionina	0.70
Fenilalanina	5.40

Fuente: Instituto Nacional de Nutrición

1.1.3 Valor nutritivo del nopal

En lo que respecta al valor nutricional del nopal, se puede decir que en 100g de nopal hay 5.2g de hidratos de carbono y 0.6g de proteína y solamente 27 kcal. Pero su principal atractivo es que contiene una gran cantidad de fibra dietética (soluble e insoluble): 2.6 g de fibra en 100g. Existe una relación 30:70 de fibra soluble a insoluble. La fibra insoluble puede prevenir y aliviar el estreñimiento y las hemorroides al mismo tiempo que previene la aparición de cáncer de colon. Las fibras dietéticas insolubles, absorben agua y aceleran el paso de los alimentos por el tracto digestivo y contribuyen a regular el movimiento intestinal, además, la presencia de las fibras insolubles en el colon ayudan a diluir la concentración de cancerígenos que pudieran estar presentes. La fibra soluble, se ha usado en muchos padecimientos porque su presencia en el tubo digestivo retarda la absorción de nutrimentos y hace que estos no pasen a la sangre rápidamente.

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, complejo B, C, minerales: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y fibras en lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, y mucílagos que en conjunto con los aminoácidos ayudan a eliminar toxinas. También son una buena fuente de calcio, ya que en 100g de nopales, hay 93mg de calcio (Martínez, 2005).

1.1.4 Parámetros de calidad

Requisitos mínimos:

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, los nopales deberán estar ó ser:

- ◆ Enteros
- ◆ Sanos, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo
- ◆ Limpios, y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible
- ◆ Prácticamente exentos de daños causados por plagas
- ◆ Exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica
- ◆ Exentos de cualquier olor y/o sabor extraños
- ◆ Ser de consistencia firme
- ◆ Exentos de daños causados por bajas temperaturas
- ◆ Exentos de espinas
- ◆ Exentos de manchas pronunciadas
- ◆ Suficientemente desarrollados y presentar un grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto.
- ◆ Los nopales deberán presentar la forma, color, sabor y olor característicos de la especie.

El desarrollo y condición de los nopales deberán ser tales que les permitan:

- ◆ Soportar el transporte y la manipulación; y
- ◆ Llegar en estado satisfactorio al lugar de destino (CODEX STAN 185).

1.1.5 Producción nacional

La producción del nopal se ha incrementado durante la última década, así como los estados donde se cultiva, asegura Javier Montes de Oca, presidente del Consejo del Nopal y Tuna del D.F. De acuerdo con el representante de los agricultores, un factor clave en esta tendencia es la organización de la Feria Nacional del Nopal, donde se promueve el consumo y cultivo de este espinoso alimento. Aunque se siembra en 23 estados de la República, son cuatro entidades las principales productoras de nopal: Distrito Federal, Morelos, Estado de México y Aguascalientes. De las 673.559 toneladas cosechadas al año, 97% se consume fresco y el 3% restante es utilizado como materia prima por las industrias de alimentos, farmacéutica y perfumería. Su demanda también se ha incrementado en el extranjero, y aunque México es el principal exportador la cantidad de nopal vendida en otras partes del mundo aún es poca, menos del 1% de la producción nacional. Estados Unidos es el principal mercado, le sigue Japón y algunos países europeos (Hernández, 2000), Ver cuadro 3

Cuadro 3. Producción agrícola 2007 Modalidad: Riego + Temporal nopalitos

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Distrito Federal	4,337.00	4,337.00	295,107.80	68.04	2,596.91	766,367.39
Morelos	2,530.00	2,505.00	273,537.00	109.20	1,199.27	328,045.75
México	676.50	676.50	36,606.25	54.11	2,447.70	89,601.05
Baja California	718.50	683.00	11,570.74	16.94	4,748.52	54,943.91
Aguascalientes	212.00	196.00	8,329.00	42.50	1,412.64	11,765.85
Zacatecas	397.63	397.63	8,081.31	20.32	3,144.95	25,415.30
Puebla	134.50	112.50	7,959.50	70.75	2,751.74	21,902.50
Michoacán	301.50	295.50	7,466.00	25.27	1,366.02	10,198.71
Tamaulipas	618.98	576.48	5,218.76	9.05	1,002.51	5,231.88
Guanajuato	212.90	210.90	3,920.85	18.59	2,939.44	11,525.10
Jalisco	495.25	488.75	3,574.71	7.31	4,509.28	16,119.38
hidalgo	49.00	45.50	3,535.80	77.71	4,440.71	15,701.46
Durango	59.00	59.00	3,064.00	51.93	3,157.31	9,674.00
Oaxaca	126.00	118.00	1,290.10	10.93	3,202.95	4,132.12
San Luís Potosí	437.25	428.00	1,289.30	3.01	513.35	661.86
Sonora	88.75	88.75	832.80	9.38	2,094.38	1,744.20
Nayarit	65.25	65.25	506.50	7.76	2,644.62	1,339.50
Chihuahua	12.00	12.00	384.00	32.00	8,000.00	3,072.00
Querétaro	30.00	30.00	369.09	12.30	3,680.90	1,358.58
Guerrero	16.50	16.50	200.00	12.12	4,779.50	955.90
Veracruz	9.55	9.55	166.42	17.43	2,650.19	441.04
Baja California sur	23.00	23.00	151.80	6.60	9,926.00	1,506.77
Yucatán	5.00	5.00	149.00	29.80	2,000.00	298.00
Colima	7.50	7.50	138.50	18.47	2,416.97	334.75
Sinaloa	9.00	9.00	72.00	8.00	2,291.67	165.00
Tlaxcala	10.00	5.00	37.80	7.56	8,100.00	306.18
Quintana Roo	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11,583.56	11,401.31	673,559.03	59.08	2,052.99	1,382,808.19

Fuente: SAGARPA

1.1.6 Variedades cultivadas

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus indica* (Uzun, 1996) y se emplea con diferentes propósitos.

Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y en otras características botánicas. Por ejemplo, los frutos de *Opuntia ficus-indica* son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cáscara de grosor variable, pero generalmente delgada. Los frutos de *O. xocostle* o tuna cardona son más pequeños, de sabor ácido, exteriormente de color verde-púrpura y rosados en el interior. *O. streptacantha*

produce frutos de color púrpura, jugosos y dulces (Scheinvar, 1999), no muy resistentes para su manejo, de fácil descomposición y que maduran muy rápidamente lo que impide una comercialización en gran escala. Por ello es la especie preferida para producir bebidas fermentadas (López *et al.*, 1997).

Los brotes tiernos (nopalitos) de *Opuntia ficus-indica* y de otras especies se utilizan, principalmente en México, para la producción de nopal verdura. Para la cría de la cochinilla se destinan tanto *O. ficus-indica* como *O. cochenillifera* (*Nopalea cochenillifera*). En Brasil, Chile y México, entre otros, se utiliza primordialmente *Opuntia ficus-indica* para la obtención de forraje.

1.1.7 Comercialización

El nopal tiene múltiples aplicaciones en nuestro país y un enorme potencial para colocarse en diversos mercados, como el de Estados Unidos. Sus virtudes son muy amplias, tanto en su uso comestible como cosmético o curativo. Sin embargo, es un cultivo que sólo se ha desarrollado en pocas regiones.

Son cerca de tres millones de hectáreas, de las 13 millones que hay de matorral crasicaule en México, que están ocupadas por comunidades de nopal, y los cladodios jóvenes (nopalitos), son los que más se utilizan durante la temporada de brotación, que se da en primavera, para consumo humano. Estimaciones oficiales señalan que el volumen procesado de nopalitos fluctúa entre 2 mil a 3 mil toneladas por año.

En el país, el nopal del género *Opuntia*, se aprovecha para obtención de fruta, hortaliza y forraje, para cercos de casas, jardines y parcelas agrícolas, para protección del suelo, como planta medicinal y como fuente de materia prima para la industria de cosméticos.

En el campo experimental, del nopal se han obtenido productos como fructuosa, pectina y colorantes, así como la cría de la cochinilla, insecto que se alimenta de los tallos y es usado como colorante rojizo.

La variedad de nopalitos que se producen en nopaleras silvestres o en huertos familiares es muy amplia. Destaca en primer lugar la variedad Milpa Alta, que es la más importante del país en términos de área cultivada y por volumen de producción que llega a los mercados. Le sigue la variedad Atlixco, que se cultiva en Puebla y el Estado de México.

La demanda de nopalitos en México es bastante alta, con 100 millones de habitantes se consumen 5.66 kilogramos por persona, mientras que en el vecino país del norte, con 10 millones de personas de origen mexicano, se consumen sólo 1.400 kilogramos per capita, lo que los ubica en la sexta hortaliza más preciada después de la papa, el tomate, el chile, la cebolla y la sandía.

La demanda nacional es homogénea durante casi todo el año, presentándose aumentos sólo en la cuaresma y en navidad. Sin embargo, la demanda no es homogénea por estados, ya que en las entidades del centro del país es en donde el consumo es mayor y casi nulo en las costas y regiones tropicales.

De la industrialización del nopal (pencas, frutas y nopalitos), se produce una gran cantidad de productos, como son cosméticos, fármacos y alimentos. El nopalito en conserva, ya sea en salmuera o en escabeche, es la mejor opción para la exportación porque no es aceptado en otros países con aguates y si se desespinan, se oxidan rápidamente y se tornan de color café, deteriorando así su presentación. (Dirección General de Comunicación Social, (SAGARPA)).

1.1.7.1 Exportación

El nopal de México es el líder en el mercado internacional, con una superficie de 10,500 hectáreas. El otro productor es Estados Unidos con apenas unas 200 hectáreas.

El mercado nopalero es muy pequeño, ya que es una hortaliza étnica que sólo se utiliza en la cocina mexicana. Del río Suchiate para abajo y del Río Bravo para arriba, sólo se consume en grupos de origen mexicano, quienes demandan los mayores volúmenes.

La zona nopalera se concentra en Milpa Alta, pero se ha extendido hacia otras entidades como Jalisco, Estado de México y Morelos, que tienen superficies importantes y con sistemas de riego o zonas libres de heladas, por lo que producen en invierno cuando escasea el nopalito en la principal zona productora.

De nopal se producen casi 570 mil toneladas y no se exportan más de 10 mil toneladas al año. El promedio de producción por hectárea es de 60 toneladas y se exportan cerca de 20 mil toneladas (SAGARPA).

México es el principal exportador la cantidad de nopal vendida en otras partes del mundo aún es poca, menos del 1% de la producción nacional. Estados Unidos es el principal mercado, le sigue Japón y algunos países europeos (Hernández, 2000),

1.2 Fibra

1.2.1 Definición de fibra

El concepto de fibra dietética se define como los componentes del alimento resistentes a la degradación por las enzimas y a la absorción en el intestino, y que pueden ser fermentados parcial o totalmente en el tracto intestinal. Esto supone que la fibra dietética únicamente puede ser verdaderamente determinada a través de balances digestivos (Martínez, 2005).

La heterogeneidad en la matriz tridimensional de las paredes celulares vegetales hace que no se disponga de sustancias que puedan utilizarse como estándares para establecer la validez de los distintos métodos de análisis de la fibra.

La estimación indirecta de esta fibra dietética se puede realizar por distintas metodologías donde los constituyentes no fibrosos son extraídos bien solubilizándolos con soluciones químicas, hidrolizándolos enzimáticamente o mediante una combinación de ambos procedimientos. Una vez aislado, el residuo de fibra puede ser medido gravimétricamente (pesando el residuo) o químicamente hidrolizando el residuo y midiendo los componentes individuales: azúcares y lignina), lo que da lugar a tres tipos de métodos: químico-gravimétricos, enzimático-gravimétricos y enzimático-químicos. De esta manera se puede cuantificar la fibra dietética total (polisacáridos no amiláceos y lignina), y fraccionarla en fibra insoluble y fibra soluble en agua, así como obtener su composición en monosacáridos. La combinación de la cuantificación de los monosacáridos constituyentes de la fibra con información química complementaria puede permitir describir mejor la estructura de la fibra. De esta dependen sus propiedades físico-químicas y, por tanto, el efecto que ejerce sobre la fisiología digestiva y digestibilidad en el organismo. Sin embargo estos métodos son complejos, caros, poco reproducibles y difíciles de implementar como métodos rutinarios de análisis (Martínez, 2005).

1.2.2 Clasificación de la fibra

Se suele definir a la fibra como parte de la dieta que no se digiere enzimáticamente, y por tanto, como tal, no tiene función nutricional alguna. Esta compuesta por celulosa y hemicelulosa, procedentes de las paredes celulares vegetales. También las ligninas son parte de la fibra de los alimentos, pero no son estrictamente de naturaleza de hidratos de carbono, pues son polímeros de fenil-propano.

El término “fibra” realmente puede inducir a confusión, en el sentido de que tal material no es de constitución fibrosa, ni de gran longitud o aspecto correoso, puede ser incluso soluble.

Su digestibilidad que por definición es nula, requiere una consideración más profunda, puesto que la flora bacteriana intestinal, especialmente en el colon, de hecho ataca y degrada este material, aunque evidentemente nuestras propias enzimas digestivas no tienen acción alguna sobre celulosas, pectinas o gomas vegetales (Martínez, 2005).

Dentro de la terminología utilizada para hacer referencia a la fibra, es importante diferenciar tres conceptos que todavía aparecen con relativa frecuencia en la literatura general: fibra cruda, fibra vegetal y fibra dietética.

- ♦ La fibra cruda es, por definición, el residuo obtenido tras el tratamiento de los vegetales con ácidos y álcalis. Es decir, es un concepto más químico que biológico.
- ♦ La fibra vegetal se refiere fundamentalmente a los elementos fibrosos de la pared de la célula vegetal.
- ♦ La fibra dietética engloba todo tipo de sustancias, sean fibrosas o no, y que, por tanto, incluye la celulosa, la lignina, las pectinas, las gomas, etc.

La fibra desempeña en la planta de donde procede dos funciones fundamentales: la estructural y la no estructural. La fibra estructural incluye componentes de la pared celular, como la celulosa, la hemicelulosa y la pectina (ver tabla 4). La fibra no estructural está formada por las sustancias que secreta la planta como respuesta a las agresiones o lesiones que sufre. Estos compuestos son: mucílagos, gomas o polisacáridos de algas (Rojas, 1994).

Cuadro 4. Localización y funciones

Fibra	Localización	Funciones
Celulosa Pectinas, lignina	Pared celular Pared celular + espacio intercelular	Estructural Estructural. Inhibición del ataque bacteriano
Hemicelulosas, gomas, mucílagos	Pared celular + espacio intercelular + exudados	Estructural. Reparación de áreas dañadas

Fuente: Rojas Hidalgo E. La fibra dietética 1994

El contenido en estas sustancias depende también del grado de maduración de la planta. Puede decirse que el porcentaje de celulosa aumenta con la maduración y lo contrario ocurre con la hemicelulosa y la pectina (ver cuadro 5). La lignificación representa el envejecimiento de la planta (Rojas, 1994).

Cuadro 5. Composición de la pared celular en relación con el grado de maduración de la planta

Componentes principales de la fibra dietética			
Pared celular	Celulosa	Polisacáridos no celulósicos: Hemicelulosas, Pectinas	Lignina
Plantas inmaduras	25 %	60 %	Indicios
Plantas maduras	38 %	43 %	17 %

Fuente: Rojas Hidalgo E. La fibra dietética 1994

Sin embargo, la clasificación más interesante desde el punto de vista biológico es aquella que se basa en el grado de solubilidad de la fibra en el agua y que dará origen a la mayoría de las tablas que se usan habitualmente en dietética:

- ♦ **Fibra insoluble.** Son escasamente degradadas por lo que se excretan prácticamente íntegras por heces. Por este motivo y por su capacidad de retener agua, aumenta la masa fecal, que es más blanda, la motilidad gastrointestinal y el peso de las heces (Martínez, 2005), ver cuadro 6

La fibra insoluble forma una mezcla de baja viscosidad. Esta característica es propia de la celulosa, la mayoría de las hemicelulosas y de la lignina (Rojas, 1994).

- ♦ **Fibra soluble.** Su alta viscosidad hace que este tipo de fibras haga más lento el tránsito intestinal y retrase el vaciamiento gástrico, favoreciendo la absorción de macronutrientes. Además como consecuencia de la degradación total en el colon, se producen ácidos grasos de cadena corta, cuyos beneficios son el disminuir el pH intraluminal, estimular la reabsorción de agua y sodio y potenciar la absorción de cationes divalentes (Martínez, 2005). Ver cuadro 6

Forma una mezcla de consistencia viscosa, cuyo grado depende del alimento ingerido. Se encuentra fundamentalmente en las frutas y en los vegetales (Rojas, 1994).

Cuadro 6. Características y propiedades de la fibra soluble e insoluble

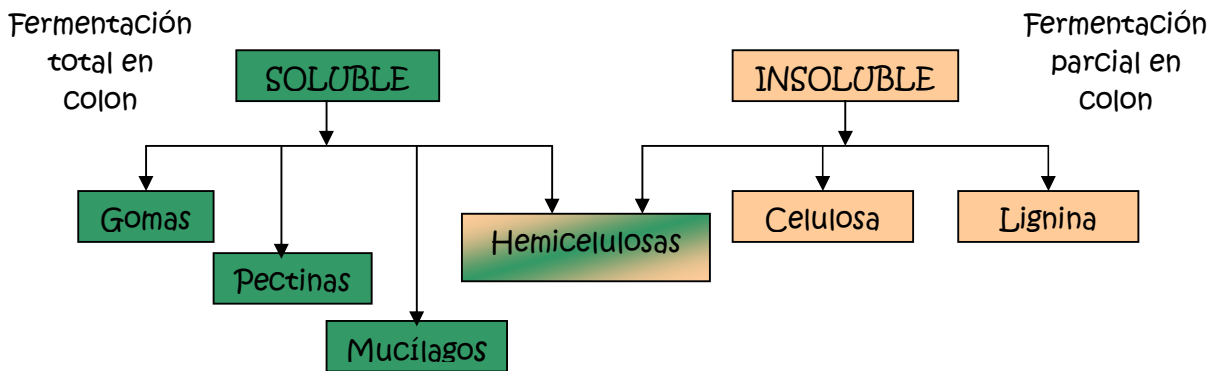
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA FIBRA SOLUBLE E INSOLUBLE	
FIBRA INSOLUBLE	FIBRA SOLUBLE
<ul style="list-style-type: none"> • Escasa viscosidad • Favorece la captación de agua • Aumenta el bolo fecal • Acelera el tránsito intestinal <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Mejora el estreñimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada viscosidad • Hace más lento el vaciamiento gástrico • La absorción de nutrientes es más lenta • Mejora la tolerancia a la glucosa • Disminuye los niveles de colesterol <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Efecto antidiarreico Favorece crecimiento e integridad de la mucosa intestinal.</p>

Fuente: Martínez. 2005

Pero desde el punto de vista de la fermentación bacteriana, existen dos categorías:

- ♦ **Fibra poco fermentable.** Es aquella cuyo contenido es rico en celulosa y lignina. Es muy resistente a la degradación bacteriana en el colon y es excretada intacta por las heces.
- ♦ **Fibra muy fermentable.** Posee gran cantidad de hemicelulosa soluble e insoluble, pectinas o almidón resistente. Su degradación es rápida y completa en el colon (Rojas, 1994). Ver figura 1

Figura 1. Clasificación de la fibra



Fuente: Martínez. 2005

1.2.3 Propiedades de la fibra dietética

Los diferentes tipos de fibra se diferencian entre sí por su composición y por sus propiedades físico-químicas:

1. Resistencia a la digestión. Como ya se ha comentado, el sistema enzimático humano es incapaz de atacar y digerir los distintos componentes de la fibra.

2. Capacidad de absorción y retención de agua. Propiedad condicionada por el grado de solubilidad de la propia fibra.

4. Incremento de viscosidad del medio.

5. Secuestro y posterior eliminación de las sales biliares. Su importancia radica en los siguientes efectos:

- ♦ Aumento de la excreción de ácidos biliares.- Determinadas cepas bacterianas, como el *Clostridium putrificans*, con capacidad cancerígena, utilizan como sustrato a los ácidos biliares y al colesterol, que son desconjugados por las mismas. Se activa la proteinquinasa C que es capaz de estimular el crecimiento celular. Otras bacterias dan lugar al ácido litolítico y otros mutágenos que son inhibidos por algunos tipos de fibra.
- ♦ Disminución de la absorción de las grasas.- Este efecto se debe a que las grasas no se pueden emulsionar ni transportar hasta la mucosa intestinal.
- ♦ Interrupción de la circulación enterohepática de las sales biliares.- La interrupción provoca que el hígado tenga que formar nuevas sales biliares y, por tanto, recurrir a las reservas orgánicas de colesterol.

6. Captación de minerales. La fibra rica en ácido urónico tiene facultad para fijar calcio, fósforo, cinc, hierro y magnesio, por lo que puede alterar la absorción de los mismos. Si el aporte de fibra se corresponde con las recomendaciones habituales no existirá ningún problema carencial causado por el balance negativo de los minerales mencionados. Se considera que si el aporte de fibra es inferior a 50 g/día, no hay exposición para desencadenar un desequilibrio nutricional. En cualquier caso, la ingesta de pan blanco puede prevenir estas alteraciones.

7. Retraso de la absorción intestinal de los hidratos de carbono, de las proteínas y de las grasas. Esta propiedad origina un aumento ligero de la excreción en heces de estos principios inmediatos, por lo que la fibra puede ser útil en la diabetes. (Rojas, 1994).

1.2.4 Propiedades de los componentes

1. Celulosa. Las propiedades más importantes que tiene la celulosa son:

- Retener agua en las heces (100g pueden fijar 40cc de agua).
- Aumentar el volumen y el peso de las heces.
- Favorecer el peristaltismo del colon.
- Aumentar el número de deposiciones intestinales.

2. Hemicelulosa. Las propiedades que destacan son:

- Aumenta el volumen y el peso de las heces.
- Aumenta la excreción de ácidos biliares.

3. Pectinas. Actúan de la siguiente manera:

- Absorben el agua.
- Retrasan el vaciamiento gástrico.
- Suministran el sustrato fermentable para las bacterias del colon.
- Fijan los ácidos biliares y aumentan su excreción.
- Reducen la concentración plasmática de colesterol.
- Mejoran la tolerancia de los diabéticos a la glucosa.

4. Gomas. Sus propiedades son similares a las que poseen las pectinas:

- Retrasan el tiempo de vaciado gástrico.
- Suministran el sustrato fermentable para las bacterias del colon.
- Reducen la concentración plasmática de colesterol.
- Mejoran la tolerancia de los diabéticos a la glucosa.

5. Mucílagos. Los efectos que ocasionan son:

- Disminución del tiempo de vaciado gástrico.
- Suministran el sustrato fermentable para las bacterias del colon.
- Fijan los ácidos biliares.

6. Lignina. Sus propiedades son específicas porque:

- Reduce el grado de digestión de la fibra.
- Inhibe el crecimiento de colonias bacterianas intestinales.
- Por su efecto hidrofóbico, tiene una acción muy potente en la adsorción de ácidos biliares. (Bravo, 1978; Pak, 2000).

1.2.5 Digestión de la fibra

La fibra dietética alcanza el intestino distal sin sufrir cambios causados por las enzimas del aparato digestivo. Todos sus componentes son metabolizados de forma anaerobia por la microflora propia del colon y del íleo por un proceso de fermentación que se denomina pseudodigestión. Los enlaces químicos de la fibra aportan la energía necesaria para que las bacterias saprofitas del intestino humano puedan vivir. En este proceso metabólico se desprenden gases como son CO₂, H₂ y CH₄ y ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGCC) como el acético, el propiónico y el butírico. Posteriormente son absorbidos a nivel del colon (85%) y son reutilizados por el organismo para proporcionar energía en el Ciclo de Krebs. Aportan el 3% de toda la energía.

Los componentes de la fibra dietética proporcionan diversas utilidades en el organismo humano. La celulosa y la hemicelulosa arrastran agua, por lo que aumentan la masa fecal. Los mucílagos, las gomas y las pectinas son elementos viscosos y poseen un alto grado de digestión, por lo que generan un doble efecto beneficioso. Por una parte, actúan enlenteciendo la absorción de nutrientes, y por otra, fomentan el correcto funcionalismo de las bacterias saprofitas del colon. Cuando una dieta posee escasa fibra, la evacuación de la materia fecal estará retardada, siendo esta escasa, dura y con olor pútrido. Sin embargo, si es rica en fibra, la evacuación de la masa fecal será rápida (Rojas, 1994).

1.2.6 Fisiología de la fibra

Los efectos fisiológicos en el organismo humano originados por la fibra y que tienen mayor importancia son:

En el estómago. La fibra desencadena un aumento de la salivación porque necesita más tiempo de masticación y causa, por tanto, un retraso en el vaciado gástrico. La fibra soluble se puede utilizar en dietas de adelgazamiento porque aumenta el volumen del bolo, lo que se traduce en una sensación de saciedad.

En el intestino delgado. El aporte de fibra en la alimentación hace madurar las vellosidades intestinales, así como cambios en el tamaño de las mismas. De esta manera, disminuye o retrasa la absorción de las materias orgánicas e inorgánicas. Esta cuestión es importante en el metabolismo de la glucosa (fibra soluble) y del colesterol (fibra soluble y lignina).

En el intestino grueso. La fibra acelera el tránsito en el intestino grueso porque aumenta la masa fecal y esta, a su vez, estimula la propulsión de las heces, que adquieren mayor volumen y consistencia pastosa (Granados, 1996).

1.2.7 Fuentes de fibra dietética

Son grupos de alimentos que presentan determinados tipos de fibra. Pueden ser utilizadas en dietas con finalidad terapéutica y a pesar de que el Nopal es un alimento con un alto grado de humedad, su contenido de fibra en base seca es muy importante ya que su contenido como Fibra Dietética Total es mayor al 20% guardando una relación 30:70 de fibra soluble a insoluble. (De la Rosa, 2000).

Cuadro 7. Contenido de fibra de algunos grupos de alimentos

Alimento	Sin fibra	Pobre en fibra	Rico en fibra	Concentrado en fibra
Verdura				
• Pepino		X		
• Coles		X		
• Legumbres frescas			X	
• Legumbres secas			X	
Fruta				
• Zumos de fruta		X		
• Manzana, pera, naranja		X		
• Frutas en baya		X		
Pan				
• Pan blanco		X		
• Pan de mezcla			X	
• Pan integral			X	
Salvados, cáscaras				
• Salvado de trigo				X
• Cubierta de soya				X

Fuente: Vollmer, 1999

El alto contenido de fibra (tanto soluble como insoluble), es la principal causa de los aportes medicinales del nopal, pues ésta impide o retrasa la absorción de los azúcares (Murray, 2000), se menciona que ayuda a controlar los siguientes desórdenes:

- ◆ **Obesidad:** El Nopal contiene 8 aminoácidos esenciales que deberían ser ingeridos en los alimentos, estos proveen de mayor energía y ayudan al cuerpo a bajar el nivel de azúcar en la sangre, disminuyéndose la fatiga y el apetito, a la vez que provee de nutrientes.

Las fibras insolubles que contiene, crean una sensación de saciedad y ayudan a una buena digestión. Así mismo, las proteínas vegetales promueven la movilización de líquidos en el torrente sanguíneo disminuyéndose la celulitis y la retención de fluidos.

- ◆ **Hiperglicemia (Alto nivel de Azúcar en la Sangre):** El nopal incrementa los niveles y la sensibilidad a la insulina logrando con esto estabilizar y regular el nivel de azúcar en la sangre.
- ◆ **Colesterol:** Los aminoácidos, la fibra y la niacina contenida en el nopal previenen que el exceso de azúcar en la sangre se convierta en grasa, mientras que por otro lado, actúa metabolizando la grasa y los ácidos grasos reduciendo así el colesterol.
- ◆ **Arteriosclerosis:** El efecto de los aminoácidos y la fibra, incluyendo los antioxidantes vitamina C y A (Beta Caroteno) previene la posibilidad de daños en las paredes de los vasos sanguíneos, así como también la formación de plaquetas de grasa.
- ◆ **Úlceras Gástricas (Desordenes Gastro Intestinales):** Las fibras vegetales y los mucílagos controlan la producción en exceso de ácidos gástricos y protege la mucosa gastrointestinal
- ◆ **Digestión:** El Nopal contiene vitaminas A, Complejo B, C,, minerales: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Hierro y fibras en lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, y mucílagos que en conjunto con los aminoácidos ayudan a eliminar toxinas. Amonia y radicales libres. Las toxinas ambientales provocadas por el alcohol y el humo del cigarro que inhiben el sistema inmunológico del cuerpo, son removidas por el Nopal, mismo que incluso ayuda en el balance y calma del sistema nervioso.
- ◆ **Limpieza del Colon:** El Nopal contiene fibras dietéticas solubles e insolubles. Las fibras dietéticas insolubles, conocidas como pajas, forraje etc., absorben agua y aceleran el paso de los alimentos por el tracto digestivo y contribuye a regular el movimiento intestinal, además, la presencia de las fibras insolubles en el colon ayuda a diluir la concentración de cancerígenos que pudieran estar presentes (Murray, 2000).

1.3 Métodos para la determinación de fibra

1.3.1 Determinación de fibra cruda (Weende) (AOAC, 1984; Morfin, 1997)

Fundamento: Este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

Recomendaciones: Uno de los problemas más frecuentes durante la evaluación de la fibra cruda es la oclusión de los filtros, por lo que en algunos casos se recomienda sustituir el papel

(paso 4 del método) por una pieza de tela de algodón. Para evitar la saturación del crisol de filtración (paso 6) colóquelo ligeramente inclinado y agregue muy lentamente el material a filtrar, de manera que gradualmente se vaya cubriendo la superficie filtrante.

Con el uso los crisoles de filtración tienden a taparse. Para su limpieza calcínelos a 500°C y hágales pasar agua en sentido inverso. Cuando se han tapado con partículas minerales, prepare una solución que contenga 20% KOH, 5% de Na₃PO₄ y 0.5% de EDTA sal sódica, caliéntela y hágala pasar por el crisol en sentido inverso. Este tratamiento erosiona al filtro de vidrio.

1.3.2 Determinación de fibra cruda (Kennedy) (AOAC, 1984)

Fundamento: Su determinación se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles que constituyen los desperdicios orgánicos a través de las heces.

NOTA: Es necesario tomar en cuenta que la muestra que se utilizará para la aplicación de la técnica debe ser en estado seco. Es preferible cortar la muestra en pequeños cuadros de aproximadamente 2cm. y secarla a 105^a C, durante 48hr. Posteriormente moler la muestra hasta que pase la malla 1mm.

1.3.3 Determinación de fibra detergente ácido (AOAC, 1984; Morfin, 1997)

Fundamento: Este método permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento. La muestra es digerida por medio de cetil-trimetil-amonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible.

Nota: Es necesario tomar en cuenta que la fibra detergente ácido es solamente una fracción de la fibra total ya que no contiene hemicelulosas. Pues estas son solubles en soluciones ácidas. Es necesario tomar en cuenta que la muestra que se utilizará para la aplicación de la técnica debe ser en estado seco. Es preferible cortar la muestra en pequeños cuadros de aproximadamente 2cm. y secarla a 105^a C, durante 48hr. Posteriormente moler la muestra hasta que pase la malla 1mm.

1.4 Cereales para desayuno listos para consumir

El trigo, la cebada y las avenas en forma de gachas han sido alimentos comunes durante muchos cientos de años, y todavía son muy populares en varios países. Sin embargo, los productos pre-procesados basados en cereales, como cereales listos para comerse que son comidos directamente del envasado, son relativamente nuevos. (Robin, 2001).

Los cereales listos para comerse han llegado a ser el principal y más popular de los desayunos, debido a la conveniencia y aceptabilidad de estos por el consumidor, en relación al costo y sabor. El origen de los cereales listos para comerse data de 1860 cuando se elaboraban una variedad de desayunos llamados "granolas", consistentes en una mezcla de cereales cocidos. La producción de cereales cocidos, hojuelados e inflados se realizó posteriormente (Barraza, 1993).

La popularidad de los cereales de desayuno proviene de su contenido nutritivo. Dichos productos pueden proporcionar simultáneamente energía (350-400kcal/100g), nutrientes, vitaminas, minerales y componentes orientados a la salud (fibra dietética) (Robin, 2001).

1.4.1 Definición cereales para desayuno

Los cereales para desayuno son productos elaborados por la industria a partir de diversos granos, principalmente trigo, maíz y arroz, sometidos a procesos por los que se consiguen que estallen, se expandan, se hinchen o se aplasten, de manera que estén listos para tomar. Conservan su valor nutricional y son más digeribles que como grano entero y natural. Se presentan en forma de escamas, copos, filamentos, gránulos, etc. Con frecuencia se enriquecen con diversos ingredientes alimenticios con lo que puede aumentar considerablemente su valor nutricional y su acción dietética (Escribano, 2000).

1.4.2 Gama de productos en el mercado

La sección de cereales de desayuno en la estantería de los supermercados exhibe una impresionante gama de productos, que difieren en su diseño y tamaño de envasado, así como características del producto, valor nutritivo y atributos sensoriales (ver tabla 7). Básicamente se satisfacen tres segmentos importantes en la población:

- ◆ Niños
- ◆ Consumidores conscientes de la nutrición y la salud
- ◆ Consumidores orientados a la aptitud.

El mercado para niños tiene cereales para desayuno que ofrecen una gran diversidad de sabores (miel, chocolate, malta), formas (bolas, copos, animales, granos inflados, etc.), texturas y colores. Estos productos generalmente se envasan en bolsas con gran colorido.

Los adultos muestran mucho más interés en cereales para desayuno funcionales que contribuyan a la conservación de la salud. Los productos típicos consisten en mezclas de cereales con frutos secos, productos ricos en salvado, etc. Los cereales para desayuno son fuentes naturales de complejos de hidratos de carbono, fibra y vitaminas solubles en agua del grupo B. También las técnicas modernas de elaboración hacen posible complementar los componentes naturales de los cereales para desayuno con otros grupos de vitaminas, minerales y fibras.

Los factores que llevan el mercado y las culturas de alimentos para desayuno han contribuido a promover tres cereales para desayuno listos para comerse que actualmente se pueden encontrar:

- ◆ Cereales en copos

Tienen buenas características específicas (textura plana y forma plana burbujeada), tradicionalmente utilizan cortezas en escamas, que son trozos crudos del endospermo del grano. Las cortezas en escamas se cuecen hidrotérmicamente en vapor por lotes, escamados y tostados luego para obtener la textura y forma. También se pueden elaborar mediante cocción por extrusión, que hace posible la utilización de materias primas más baratas así como aumentar la productividad en la línea de proceso y finalmente disminuir el precio de los cereales escamados. Aunque el perfil de calidad de los copos producidos a partir de procesos tradicionales y basados en la extrusión es significativamente diferente (en particular la textura), debido a las diferentes características de cocción de los procesos, la tecnología de cocción por extrusión ha ayudado a promover los copos básicos (copos maíz y trigo) así como a desarrollar especialmente escamas como copos orientados a la salud y a la nutrición.

◆ Cereales inflados

Los tradicionales cereales inflados se producen mediante pre-cocción con pistolas de inflado de granos enteros (trigo duro, trigo fanfarrón, arroz blanco de grano largo o grano de arroz medio sancocado). El inflado con pistola es un proceso discontinuo de expansión inducido con vapor, dando a los productos crujientes la forma y textura que se definen mediante el tipo de material crudo, el proceso es bastante limitado puesto que la textura y la forma de los productos finales no varían demasiado. Un proceso de expansión directa con cocción por extrusión hace posible la utilización de varias materias primas y recetas, y de este modo modifica extensamente las características del producto. El proceso es continuo y flexible y ofrece vías reales para la optimización de la calidad del producto y la productividad del proceso. También puede texturizar cereales para desayuno nutritivos ricos en salvado y basados en avena.

◆ Mezclas de cereales

Los cereales tradicionales generalmente consisten de una mezcla de varios componentes naturales: granos enteros de cereal triturados (trigo, cebada, avena), semillas oleaginosas (semillas de sésamo y girasol), frutos secos (almendras, coco, nueces), frutos deshidratados (uvas, pasas, manzana, plátano, etc.), dichas mezclas aumentan el contenido energético (alrededor de 350kcal/100g) y el potencial nutritivo del alimento (10-12% de proteína, 8-10% fibra, relativamente bajo contenido de azúcar menor 15%, composición lipídica equilibrada). Los cereales crujientes y crocantes son consumidos por adultos ya que ofrecen una amplia diversidad de productos, desde alto contenido energético a mezclas saludables (Robin, 2001).

Cuadro 8. Cereales para desayuno. Características del proceso y especificidades del producto

Principales características del proceso			Principales especificidades del producto			
Producto	Materias Primas	Cocción	Textura	Forma	Sabor	Nutrición y salud
Cereales en copos	◆ Sémolas en copos (maíz, trigo)	◆ Hidrotérmica (Cocción discontinua con vapor)	X	X		
	◆ Harinas (maíz, trigo y avena).	◆ Termomecánica (Cocción por extrusión continua)	X	X		X
	◆ Harinas y salvado (maíz, trigo y avena)		X	X		X
Cereales inflados	◆ Granos enteros (trigo y arroz)	◆ Hidrotérmica (Cocción discontinua con vapor)	X			
	◆ Harinas, sémolas y salvado (Cualquier cereal)	◆ Termomecánica (Cocción por extrusión continua)	X	X	X	X
Mezclas de cereales	◆ Granos triturados, frutos secos y frutas deshidratadas.	◆ Tostación térmica	X		X	X

Fuente: Robin, 2001

1.4.3 Importación

En 2001 las compras externas fueron de 4.8 toneladas, por valor de 10,5 millones, lo que representa un aumento del 11% en volumen y 5% en valor respecto al año anterior. El 51% procede de Brasil, 28% de Estados Unidos. El 65% representa preparaciones alimenticias

sobre la base de cereales inflados o tostados. En el período 1998/2001, las importaciones disminuyeron 10% en volumen pero aumentaron 14% en valor (ver figura 2).

Figura 2. Importación de productos a base de cereales



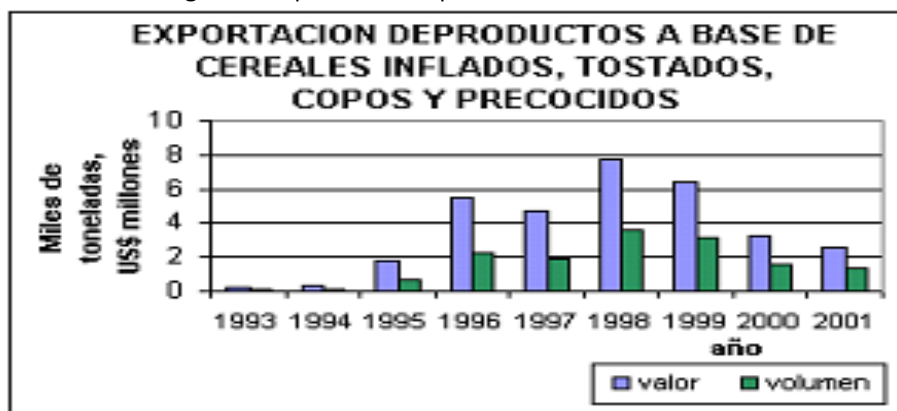
Fuente: SAGARPA, 2001

Casi la totalidad de las compras externas son realizadas directamente por las industrias elaboradoras de cereales listos. Las compras externas de los supermercados son muy escasas, resultando inferiores al 5% del total. Durante el primer trimestre de 2002, las importaciones de cereales listos alcanzaron a 825 toneladas por un monto de 1,78 millones, lo que representó el 87% en volumen y valor respecto al mismo período del año anterior (FAO, Dirección de Agricultura, SAGARPA, Recortes periodísticos, 1999)

1.4.4 Exportación

En 2001 las exportaciones (ver figura 3) fueron del orden de las 1.300 ton., por un valor de 2,6 millones, lo que representa 71% del volumen y 78% del valor respecto al año anterior. El 31% se destinó a Uruguay, 29% a Chile, 21% a Brasil y 14% a Paraguay. En el período 1998/2001, las ventas disminuyeron 60% en volumen y 55% en valor. El 80% representa preparaciones alimenticias sobre la base de cereales inflados o tostados.

Figura 3 Exportación de productos a base de cereales



Fuente: SAGARPA, 2001

Durante el primer trimestre de 2002, la exportación de cereales listos alcanzó las 400 toneladas por valor de 800 mil pesos, con un aumento del 140% en volumen y el 155% en valor respecto a idéntico período del año anterior (FAO, Dirección de Agricultura, SAGARPA, Recortes periodísticos).

1.4.5 Mercado Nacional

En nuestro país, los cereales listos se elaboran con maíz extrudido o avena. El volumen de maíz y avena destinado a esta industria es mínimo. Sin embargo, la gran importancia de la actividad se relaciona con su alto valor agregado y con la potencialidad del consumo.

La producción nacional de cereales listos para consumir es de 10.500 toneladas aproximadamente a valor del consumidor de 110 millones de pesos. Se estima que en 2001 las ventas a consumidores ascendieron a 14.000 toneladas, por valor de 145 millones de pesos. El consumo por habitante alcanza los 400g por año.

Durante 2001 los cereales listos para consumirse se encontraron en el primer lugar del ranking de productos que más aumentaron su consumo. Con una suma del 26,9% en volumen y del 10,2% en precio, totalizaron una suma del 39,8% en la facturación. A su vez, durante el primer bimestre de 2001, los cereales listos tuvieron una suma del 20,5% del volumen y 5,5% en valor, totalizando un aumento del 27% en la facturación del sector.

A partir de 1998 se encuentra en franco desarrollo un nuevo nicho de mercado con la aparición de las barras de granola, se estima que durante el 2001, el consumo de barras de cereal alcanzó las 1300 toneladas por 23 millones de pesos, habiéndose multiplicado en 8 veces desde 1998.

Desde 1998, se amplió la línea de productos, pero dos tercios continúan representando a productos de maíz inflado y tostado y el resto se distribuye entre productos de fibras y frutados. Más del 80% de la producción destinada al consumo interno se comercializa a través de supermercados prácticamente, el resto se vende en autoservicios (FAO, Dirección de Agricultura, SAGARPA, Recortes periodísticos).

1.4.6 Mercado Mundial

- ◆ La producción mundial de cereales listos para consumir alcanzó en el año 2000 los 3 millones de toneladas, por valor de 16 mil millones de pesos, 1% más en volumen y 4% menos en valor respecto de 1996.
- ◆ Dentro de Latinoamérica, se destaca México, que participa con el 5% de la producción mundial. Argentina produce el 0,5% del total mundial.
- ◆ Son productos destinados al desayuno, en sustitución del pan. Mientras que en América del Norte la expansión del consumo es protagonizada por los adultos, en Latinoamérica los cereales aún están posicionados en el segmento infantil.
- ◆ Los principales países consumidores son Estados Unidos y Canadá.
- ◆ Argentina, Brasil y Chile presentan un gran potencial de desarrollo.
- ◆ El consumo en Brasil crece continuamente y las dos empresas más importantes concentran el 60% del mercado (FAO, Dirección de Agricultura, SAGARPA, Recortes periodísticos).

1.4.7 Proceso de transformación de cereales

Los cereales de desayuno se dividen en varias categorías de acuerdo con el tipo de procesamiento: productos hojuelados o laminados (hojuelas de maíz), productos extrudidos de expansión directa (chex), productos extrudidos para formar comprimidos o pellets (cheerios), productos inflados (corn pops, arroz inflado) y granolas. Los productos extrudidos han tomado mucho auge en los últimos tiempos debido a que la extrusión presenta ventajas como son la versatilidad, ahorro en tiempo de proceso, mano de obra y en costos de producción (Othon, 2003).

Las primeras aplicaciones de extrusores para la elaboración de cereales fueron en 1930, cuando se utilizaron mezclas de cereales cocidos, los cuales eran secados y eventualmente inflados. El proceso inicial para la producción de cereales hojuelados era realizado con mezclas de cereales cocidos, colorantes, sabores y azúcar.

Los cereales se usaban enteros o en trozos grandes y libres de harina. El cocimiento se realizaba en hornos rotatorios con vapor presurizado, con un tiempo de residencia de dos horas para productos de maíz y de una hora para productos de trigo; obteniéndose mezclas con un contenido de humedad entre 30 y 50% dependiendo de los ingredientes utilizados.

La mezcla cocida se secaba hasta obtener un contenido de humedad de 18-30%. El producto obtenido se hojuelaba, se tostaba (dándole al producto textura quebradiza, así como sabor) en hornos a temperaturas de 150-250°C dependiendo de la humedad de las hojuelas y con un tiempo de residencia del producto dentro de los hornos de 1-4min. Una sección de enfriamiento después del tostado brindaba al producto la temperatura adecuada para su empaque y almacenamiento (Barraza, 1993)

Actualmente el uso de los extrusores simplifica el proceso de elaboración, aunque se basa en el procedimiento anterior. En la figura 4 se presenta el diagrama que resume el proceso de elaboración de cereales para desayuno, que actualmente muchos fabricantes utilizan.

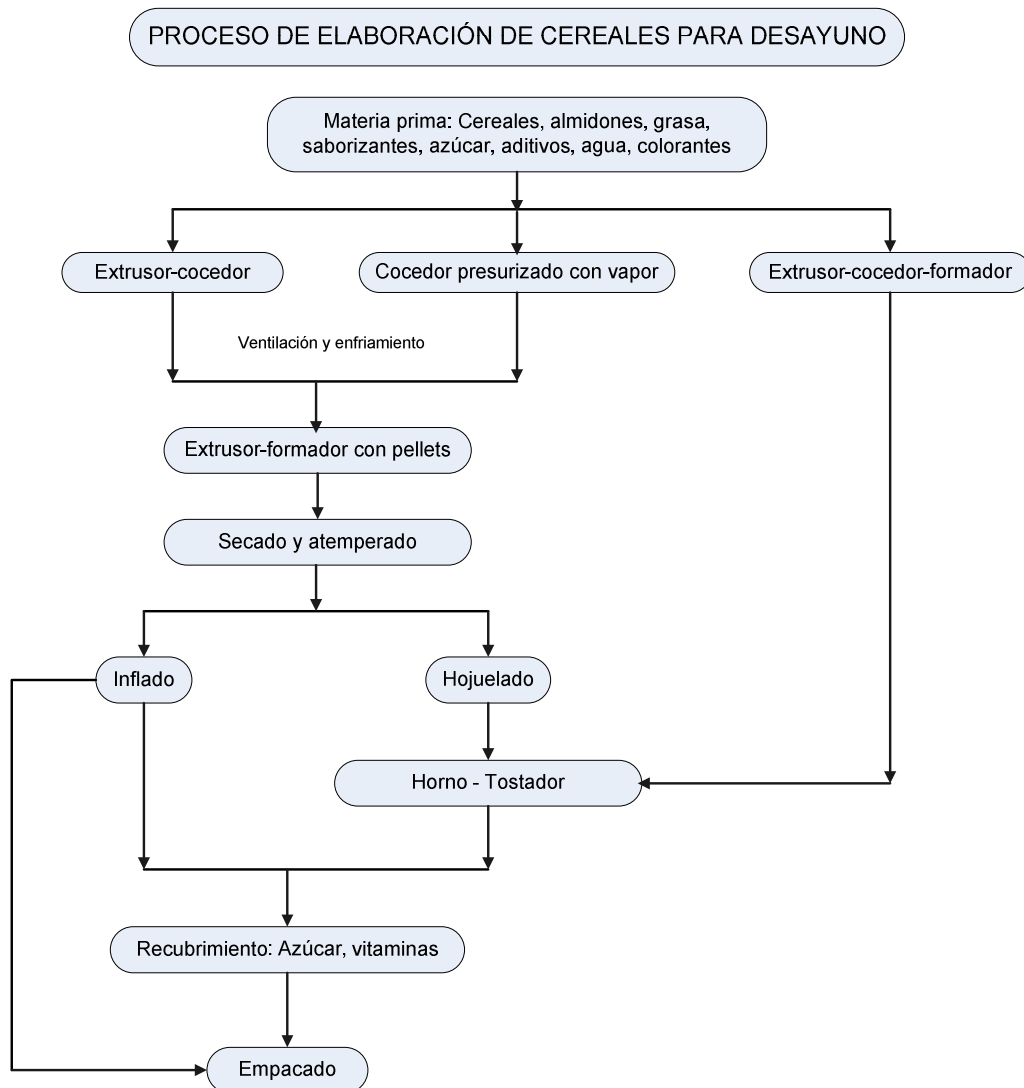


Figura 4 Diagrama de flujo generalizado para la producción de cereales (Barraza, 1993).

1.5 Desarrollo de nuevos productos

El desarrollo de nuevos productos se ha convertido en un factor clave para lograr el éxito empresarial, además se ha trabajado en los últimos años para reducir el tiempo empleado en el diseño y desarrollo de productos (Miranda, 2000) logrando así ser una de las actividades más importantes para su productividad.

El desarrollo de productos es complejo se requiere de muchas áreas de la empresa, y es un verdadero reto conjuntar eficientemente los roles de cada una para lograr el éxito de los nuevos productos.

Actualmente los productos alimenticios compiten dentro de un mercado con tendencias internacionales, con consumidores más exigentes, con distribuidores y proveedores más agresivos y que esto implica la necesidad de identificar factores claves exitosos, así como desempeñar mejores prácticas de desarrollo de productos alimenticios.

Existen varios tipos de desarrollo de productos, estos son:

1. **Nuevas versiones:** Se trata de nuevos productos que se integran a las líneas que ya maneja la empresa.
2. **Nueva línea de productos:** Se basa en incluir en el portafolio nuevas líneas de productos que la empresa no ofrecía.
3. **Extensión de líneas de productos:** Generalmente para captar clientes de la competencia, nuevos segmentos o bien para impulsar la demanda.
4. **Mejoras en los productos:** Son modificaciones a los productos existentes para atender mejor las necesidades del mismo segmento de mercado.
5. **Reposicionamiento del producto:** Consiste en buscar un nuevo segmento de mercado con los productos existentes, ya que el actual se encuentra saturado.

1.5.1 Proceso de desarrollo de nuevos productos

Tradicionalmente el desarrollo de nuevos productos alimenticios es ejecutado por dos funciones. La primera inicia y termina en la función comercial, donde se identifican las tendencias de los consumidores y mercado y la segunda desde la función técnica o de operaciones donde se concretiza el producto (Cornejo, 2007).

El desarrollo y la producción de un nuevo producto comprenden desde la etapa de proyecto hasta la etapa de producción y venta. Dado que varios de los pasos tienen lugar al mismo tiempo, es esencial una coordinación y una sincronía apropiadas por parte de la dirección de la empresa. Los pasos para el lanzamiento de un producto al mercado son:

1. Creación de ideas.

Cada producto nuevo es resultado de una idea, y cuanto más numerosas sean las ideas generadas, más probabilidades habrán de seleccionar lo mejor. Las ideas verdaderamente buenas se deben a una combinación de inspiración, trabajo y método de quienes las generan, ya sea personal de ventas, mercadotecnia, finanzas, producción, etcétera.

2. Selección de ideas o tamizado.

Se deberá realizar la clasificación de las diversas propuestas por orden de categorías, eligiendo el conjunto más atractivo posible dentro de los recursos de la empresa. La confrontación de las listas es el procedimiento más adecuado para sistematizar las evaluaciones del producto durante esta etapa, ya que permite producir puntuaciones numéricas o calificaciones de las diversas proposiciones del producto. En este punto debe procurarse no caer en dos tipos de errores: omisión, es decir, desechar una idea que podría ser útil, y comisión, que es desarrollar y comercializar una idea que no vale la pena.

3. Análisis del negocio.

Las tareas que habrán de realizarse durante esta etapa son: calcular costos, ventas, utilidades e índices de rendimiento futuros del nuevo producto, y verificar la compatibilidad con los objetivos de la empresa. Si es así, seguirá desarrollándose el producto; en caso contrario, será eliminado.

4. Desarrollo del producto.

En esta cuarta etapa ya puede vislumbrarse la factibilidad de comercializar y convertir el proyecto en un producto tangible (físico); para tal efecto se desarrolla un prototipo o modelo que pueda elaborarse a un bajo costo y que atraiga a los clientes. Es de gran importancia elegir una marca adecuada, así como diseñar un envase que permita distinguir el estilo del producto del de otras empresas competidoras. También se realiza un sondeo de mercado para saber cómo diseñar mejor el producto.

5. Mercado de prueba.

En esta etapa se ensaya por primera vez el producto en su mercadotecnia y en ambientes reducidos, pero bien seleccionados, cuya información represente las reacciones del consumidor. Es necesario también realizar una investigación formal del producto, ya que es importante que antes de iniciar la prueba de mercado los responsables de ésta tomen en cuenta los siguientes puntos:

- ¿Cuántas ciudades o zonas deben considerarse en la prueba?
- ¿Qué ciudades se tomarán en cuenta?
- ¿Qué duración debe tener la prueba?
- ¿Qué tipo de información debe obtenerse?
- ¿Qué se hará con la información recopilada?

6. Comercialización.

En esta etapa el producto ya está en situación óptima para ser introducido en el mercado. El artículo está en plena producción, y la elección de la marca y su presentación están ya terminadas. El momento de la comercialización representa una inversión fuerte tanto en dinero como en personal especializado. Un factor importante que debe considerarse durante este último periodo es la competencia, factor determinante para el éxito y el futuro del producto.

En cuanto a la función técnica, cada una de estas etapas debe realizarse para asegurarse que se cuente con información y consideraciones correctas y completas para crear productos satisfactorios para el consumidor (Cornejo, 2007), por tanto, las etapas que se deben considerar para desarrollar un producto grado alimenticio son:

1. Investigación de información prioritaria
2. Formulación
3. Estandarización de ingredientes
4. Desarrollo de prototipos
5. Escalamiento

6. Empaque
7. Pruebas a nivel piloto
8. Etiquetado de producto
9. Reporte final

1.6 Extrusión

Los alimentos extrudidos se producen a partir de una amplia y diversa gama de alimentos crudos. Estos ingredientes son similares en su naturaleza general a los ingredientes utilizados en todos los otros tipos de alimentos. Contienen materiales con papeles funcionales diferentes en la formación y estabilización de los productos extrudidos, y proporcionan color, aromas y cualidades nutricionales encontradas en tipos de productos diferentes. La transformación de las materias primas durante el procesado es uno de los factores más importantes que distingue un proceso alimentario y un tipo de alimento de otro. Para un tipo de producto particular se procesa una selección de ingredientes a través de un régimen de procesado determinado. Para la cocción por extrusión esto implica calentamiento a temperaturas elevadas, la aplicación de mezclado y cizallamiento mecánico, antes que finalmente la extrusión forme una estructura. Si las condiciones están en el intervalo de procesado de proceso ideal se formara un extruido estable con las características normales del producto requeridas para este (Sharma, 2003).

La extrusión, una operación que se aplica sobre distintos ingredientes, tiene como objetivo ampliar la gama de productos en el mercado consiguiendo diferentes formas, texturas, colores, olores y sabores. La técnica, consiste en hacer pasar el producto por orificios con diferentes geometrías.

Los alimentos se someten a altas temperaturas durante un corto espacio de tiempo, lo que permite transformar una amplia variedad de materias primas en intermedios modificados o productos finales.

1.6.1 Definición de extrusión

La extrusión consiste en forzar a un producto a pasar a través de un orificio de pequeño diámetro, bajo la presión obtenida gracias a uno o dos tornillos. Con la extrusión se pretende un moldeado de la materia prima y se realiza en productos con alto contenido en agua, a baja temperatura y con un nivel de cizallamiento bajo. Con este procedimiento se consigue principalmente la mezcla y el modelado de la materia prima, mientras que la cocción extrusión pretende además la transformación del producto. Para ello la materia prima se someterá, durante un tiempo muy corto (algunas segundos, a temperaturas altas (100-200^o C), altas presiones (50-100bar) y un cizallamiento muy intenso. El producto pasará de ser una fase sólida dividida a ser una fase fundida que tenderá a la homogeneidad. A la salida de la boquilla del extrusor y según las condiciones de temperatura y humedad, el agua sobrecalentada presente en el producto puede producir su expansión característica. A continuación el producto se corta, enfría y/o seca y eventualmente se recubre (Casp, 2003).

Un extrusor de alimentos es un aparato que facilita el proceso de moldeado y reestructuración es una operación unitaria altamente versátil que se puede aplicar a una variedad de procesos alimentarios.

1.6.2 Tipos de extrusores

El extrusor es una maquina cuya finalidad es cocer y dar forma particular a un alimento mediante el proceso de extrusión.

La parte principal de un extrusor la conforma un tornillo que gira a cierta velocidad dentro de unos barriles estacionarios y cilíndricos de diámetro tal que se adapte el tornillo. El tornillo es montado en un eje que gira accionado por un motor eléctrico

Los extrusores se clasifican según su funcionamiento en caliente o en frío y según su construcción son de tornillo simple o tornillos gemelos (tornillos idénticos paralelos que rotan en el mismo sentido o en dirección opuesta).

- ◆ Extrusores en frío: En este tipo de extrusores el alimento se extruye en tiras sin cocción o expansión. En estas máquinas la materia prima a la mínima fricción de los tornillos los que a su vez rotan en un tubo de superficie interna lisa.
- ◆ Extrusores en caliente: En estos extrusores el alimento se calienta por contacto con las paredes del cilindro ó barril que rodea al tornillo del extrusor y/o por contacto con el tornillo del extrusor calentado internamente por la adición directa de vapor de agua. En algunos de ellos el cilindro se calienta por resistencias eléctricas pero parte del calor procede también de la fricción generada por el tornillo y los relieves internos del cilindro.
- ◆ Extrusores de un solo tornillo: Es un extrusor de monotornillo la única fuerza que mantiene al material girando con el tornillo y avanzando hacia delante es la fricción contra la superficie interna del barril o cilindro. El flujo en un extrusor monotornillo es una combinación de flujo viscoso (arrastre) y por presión. El flujo por presión en la dirección contraria es causado por una presión mayor en el extremo del dado del extrusor. La mezcla de los ingrediente dentro del canal del monotornillo también es limitada porque, por lo general existen condiciones de flujo laminar.
- ◆ Extrusores de tornillos gemelos: Los tornillos ruedan en el interior de un cilindro en forma de ocho. Este tipo de extrusores se clasifican de acuerdo con su sentido de rotación y por la forma en la que los tornillos giran entre sí. Los extrusores más corrientes en la industria alimentaría son los de tornillo cortante. En los que el movimiento de rotación impulsa el material a través del extrusor. (Sharma, 2003).

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Evaluar las propiedades de un nuevo producto de cereal para desayuno utilizando nopal verdura (*Opuntia ficus-Indica*) para complementar las necesidades nutricionales de la población aumentando su contenido en fibra.

OBJETIVO PARTICULAR 1: Cuantificar el contenido de fibra cruda e insoluble en nopal verdura (*Opuntia ficus-Indica*) fresco con espinas y sin espinas a través de métodos químicos para plantear su aprovechamiento.

OBJETIVO PARTICULAR 2: Definir la temperatura y tiempo en el escaldado (T 25,70° C, t 2min.) y secado (50-60-70° C) de nopal verdura, para obtener harina de nopal con una humedad final del 7% y evitar cambio de color.

OBJETIVO PARTICULAR 3: Definir la temperatura y tiempo en el tostado (T 150, 180, 230° C, t 5, 20, 35min) del proceso de elaboración del cereal, para obtener un cereal crujiente y con humedad del 3.0-5.0%.

OBJETIVO PARTICULAR 4: Proponer diferentes prototipos de la formulación del cereal, utilizando un diseño experimental de mezclas variando las proporciones de: harina de nopal, harina de maíz y extracto de malta para seleccionar una opción utilizando la evaluación sensorial.

OBJETIVO PARTICULAR 5: Realizar análisis químicos y microbiológicos al prototipo elegido para determinar el contenido en fibra cruda e insoluble y garantizar la inocuidad del producto.

2.1 CUADRO METODOLOGICO

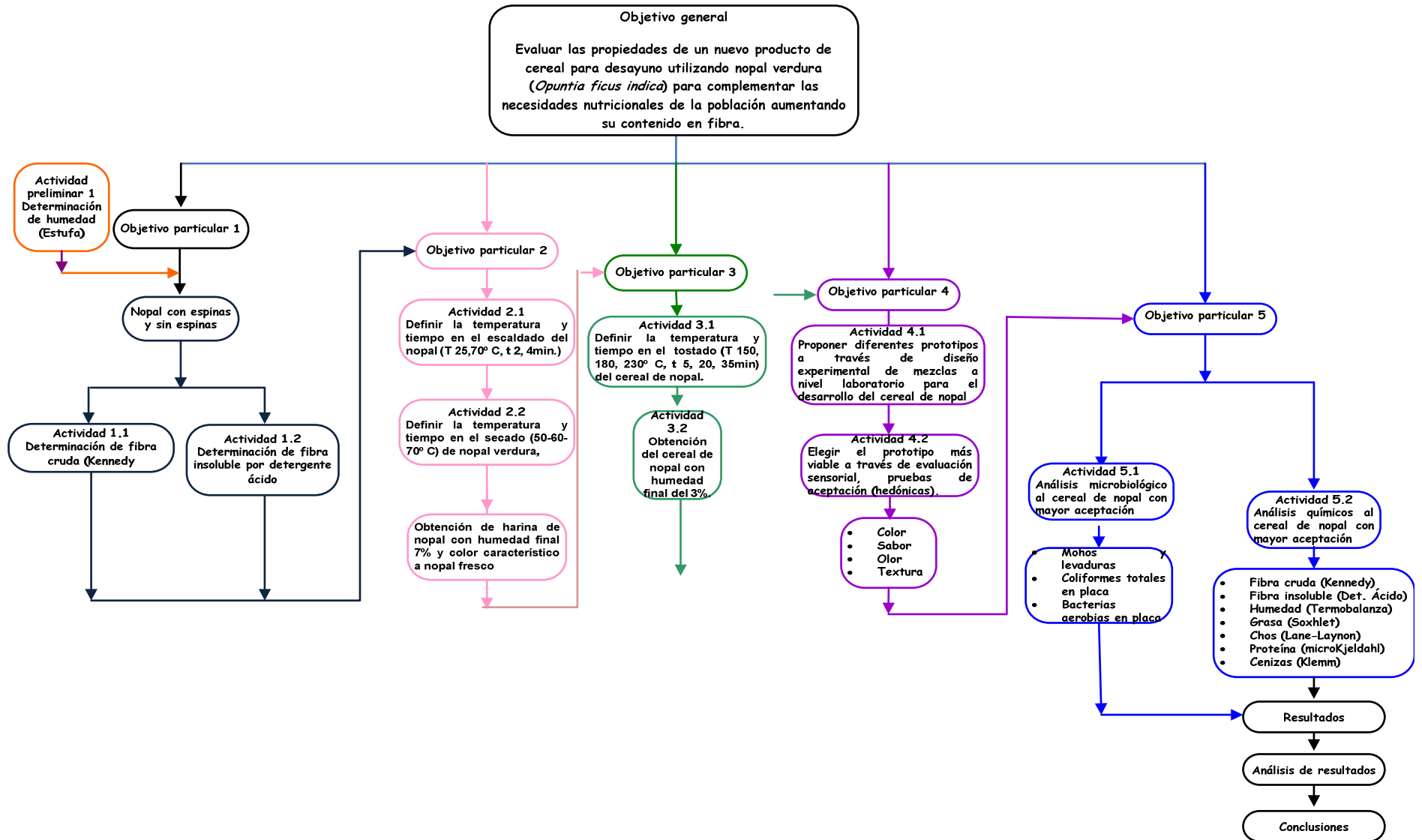


Figura 5. Cuadro Metodológico

2.3 Descripción del cuadro metodológico

Muestra

La especie de nopal verdura utilizado fue *Opuntia ficus Indica*, de tamaño uniforme aproximadamente 20cm de longitud y 10cm de ancho, con apariencia fresca, libre de daños físicos y defectos, la muestra se obtuvo en un establecimiento comercial (mercado, producto proveniente de milpa alta), siendo el tamaño de muestra de 10 nopales, estos fueron utilizados solamente para determinación de humedad y fibra cruda e insoluble, los cuales fueron cortados en cuadros de aproximadamente 2cm², la muestra se seco y se molió hasta que paso el tamiz número 40, y posteriormente se determino fibra en base seca.

Actividad preliminar 1: Cuantificar el contenido de humedad del nopal verdura *Opuntia ficus indica* a través de determinación gravimétrica de la sustancia seca por el método de la estufa de aire (Osborne, 1986)

Se realizaron tres repeticiones para la determinación de humedad.

Fundamento de la técnica

La muestra se seca directamente, en una estufa normalmente a 103+/-2° C de temperatura hasta pesada constante, calculándose el residuo por diferencia de peso

Aparatos y materiales

- Estufa
- Desecador
- Capsulas de vidrio/porcelana/aluminio
- Balanza digital (Sartorius L2200S)

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se les realizó un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El porcentaje de humedad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%_{SS} = \frac{m_2 - m_1}{m} * 100$$

m₂= Peso de la caja aluminio con muestra (g)

m₁= Peso de la caja de aluminio sin muestra (g)

m= peso muestra (g)

$$\% \text{ Humedad} = 100 [\%] - SS [\%]$$

La desecación variará dependiendo del tipo de material y del tamaño de los fragmentos, aunque en cualquier caso debe continuarse hasta pesada constante. Por lo general, dependiendo de la pérdida de peso esperada y de la homogeneidad del material. (Osborne, 1986)

Objetivo particular 1.

Actividad 1.1: Cuantificar el contenido de fibra cruda a través del método de Kennedy en el nopal verdura con y sin espinas en base seca.

Se realizaron tres repeticiones para la determinación de fibra cruda.

Fundamento de la técnica (Método 7.050. AOAC, 1984)

Su determinación se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles que constituyen los desperdicios orgánicos a través de las heces.

Reactivos

- ◆ H₂SO₄ 0.25N (1.25%) valorado
- ◆ NaOH 0.81 N (3.52%) valorado
- ◆ Papel pH
- ◆ Éter etílico
- ◆ Papel filtro No. 54 ó 541, de cenizas conocidas
- ◆ Alcohol etílico

Material y equipo

- ◆ Material de vidrio el necesario de laboratorio
- ◆ Extractor de fibra cruda
- ◆ Mufla
- ◆ Estufa de desecación (Mapsa HOP.334)
- ◆ Bomba de vacío
- ◆ Balanza (Sartorius L2200S)

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se les realizó un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación para determinar el porcentaje de error.

El cálculo del porcentaje de fibra cruda se realiza mediante la siguiente ecuación:

Cálculos

$$\%Fibra\ cruda = \frac{fibra\ cruda\ (g)}{peso\ de\ muestra\ (g)} * 100$$

Actividad 1.2: Cuantificar el contenido de fibra insoluble a través del método detergente ácido en el nopal verdura con y sin espinas en base seca. (Método 7.055. AOAC, 1984; Morfin, 1997)

Se realizaron tres repeticiones para la determinación de fibra insoluble.

Fundamento de la técnica

Este método permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento. La muestra es digerida por medio de cetil-trimetil-amonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible.

Reactivos

- ◆ Solución de detergente ácido al 1 % p/v. (a un litro de ácido sulfúrico 1 N adicionarle 20g de bromuro de cetil-trimetil-amonio).
- ◆ Acetona.

Materiales y Equipo

- ◆ El necesario de laboratorio
- ◆ Extractor de fibra cruda
- ◆ Estufa de desecación
- ◆ Bomba de vacío

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se les realizó un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El cálculo del porcentaje de fibra cruda se realiza mediante la siguiente ecuación:

Cálculos

$$\% \text{de fibra insoluble} = \frac{\text{Peso del residuo (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} * 100$$

Objetivo particular 2

Actividad 2.1: Definir la temperatura y tiempo en el escaldado de nopal verdura

Para estandarizar las condiciones de escaldado se utilizó nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) de tamaño uniforme aproximadamente 20cm de longitud, con apariencia fresca y libre de daños físicos y defectos. Se utilizó un lote de 20 nopales se lavaron con agua potable y se desinfectaron por inmersión con microdyn (8 gotas x litro) durante 15 min. Posteriormente el lote se dividió en fracciones de 5 nopales y se cortaron en cuadros de 2cm². Cada fracción llevó el siguiente tratamiento por separado: inmersión en solución Na₂CO₃ al 2% a 25°C y 70°C, inmersión en solución de ácido ascórbico 0.5M a 25°C y 70°C, la última fracción se utilizó como control. Ver cuadro 9.

Cuadro 9. Condiciones de escaldado del nopal

Muestra	Antioxidante	[]	Tº Inmersión	Θ Inmersión
1	Ácido ascórbico	0.5M	25°C	2min
2	Ácido ascórbico	0.5M	70°C	2min
3	Carbonato de sodio	2%	70°C	2min
4	Carbonato de sodio	2%	25°C	2min
5	Control	---	---	---

Análisis de datos

La muestra que se eligió fue la que presento características de color a nopal fresco.

Actividad 2.2: Definir la temperatura y tiempo en el secado de nopal verdura

La muestra elegida de la actividad 2.1 se seco en estufa convencional a 50°C, 60°C y 70°C, Ver cuadro 10, hasta obtener una humedad final del 7% y posteriormente se molió.

Cuadro 10. Condiciones de secado de nopal

Muestra	T° Secado	T° Secado	T° Secado*	Θ Secado
Muestra elegida en el escaldado	50°C	60°C	70°C	Humedad 7%

Análisis de datos

Cada una de las condiciones de secado se representaran gráficamente en una curva de secado temperatura vs tiempo, la muestra que se eligió fue la que presentó una humedad final del 7%, y que sensorialmente cuente con un aspecto a polvo fino verde cremoso, libre de partículas extrañas y olor característico a nopal fresco.

Objetivo particular 3.

Actividad 3.1: Definir la temperatura y tiempo en el tostado del cereal de nopal.

Una vez obtenida la harina de nopal se elaboró el cereal con harina de nopal y se tostó bajo las condiciones del cuadro 11, hasta obtener una humedad final de aproximadamente el 3%:

Cuadro 11. Condiciones de tostado del cereal

Temperatura (° C)	Tiempo (min.)		
150	5	20	35
180	20	35	5
230	35	5	20

Se propusieron estas temperaturas y tiempos de tostado de acuerdo al trabajo realizado por Chavez Reyes "Elaboración de Alimentos a Base de Fibra de Zanahoria por el Proceso de Extrusión., y bibliográficamente estas son las temperaturas en las que se lleva a cabo un tostado.

Análisis de datos

Las condiciones elegidas fueron las que presentaron una humedad final del 3% y un cereal bien cocido, de textura crujiente y fácil de masticar.

Objetivo particular 4.

Actividad 4.1: Proponer diferentes formulaciones a través de diseño experimental de mezclas a nivel laboratorio para el desarrollo del cereal de nopal

Se elaboraron diferentes formulaciones de cereal laminado en cuadritos variando: harina de nopal, harina de maíz y extracto de malta. Las formulaciones se ajustaron al 40% de humedad. Se utilizó un extrusor para pastas marca maccato. Donde la temperatura y tiempo de secado para la obtención de la harina de nopal fue la seleccionada en la actividad 2.2 y la temperatura y tiempo de tostado para la elaboración del cereal de la actividades 3.1

El diseño de mezclas se generó utilizando el paquete estadístico Statistica (versión 7), para obtener un diseño con restricciones en los límites inferior y superior de las proporciones de los componentes de la mezcla, el método que utiliza el paquete es el D-optimal. Las restricciones fueron:

Componente	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
Harina de nopal	5	15
Harina de maíz	35	45
Extracto de malta	1.5	3.5
Azúcar	10	10
Almidón	1	1
Bicarbonato de sodio	1	1
Agua	40	40
BHT	0.01	0.01

Se considero el porcentaje total de harina de nopal, harina de maíz y extracto de malta como 48%. El diseño de mezclas arrojado se muestra en el cuadro 15 de la sección de resultados y análisis.

El proceso a nivel piloto se realizó de la siguiente manera:

PROCESO DE ELABORACIÓN DE CEREAL DE NOPAL

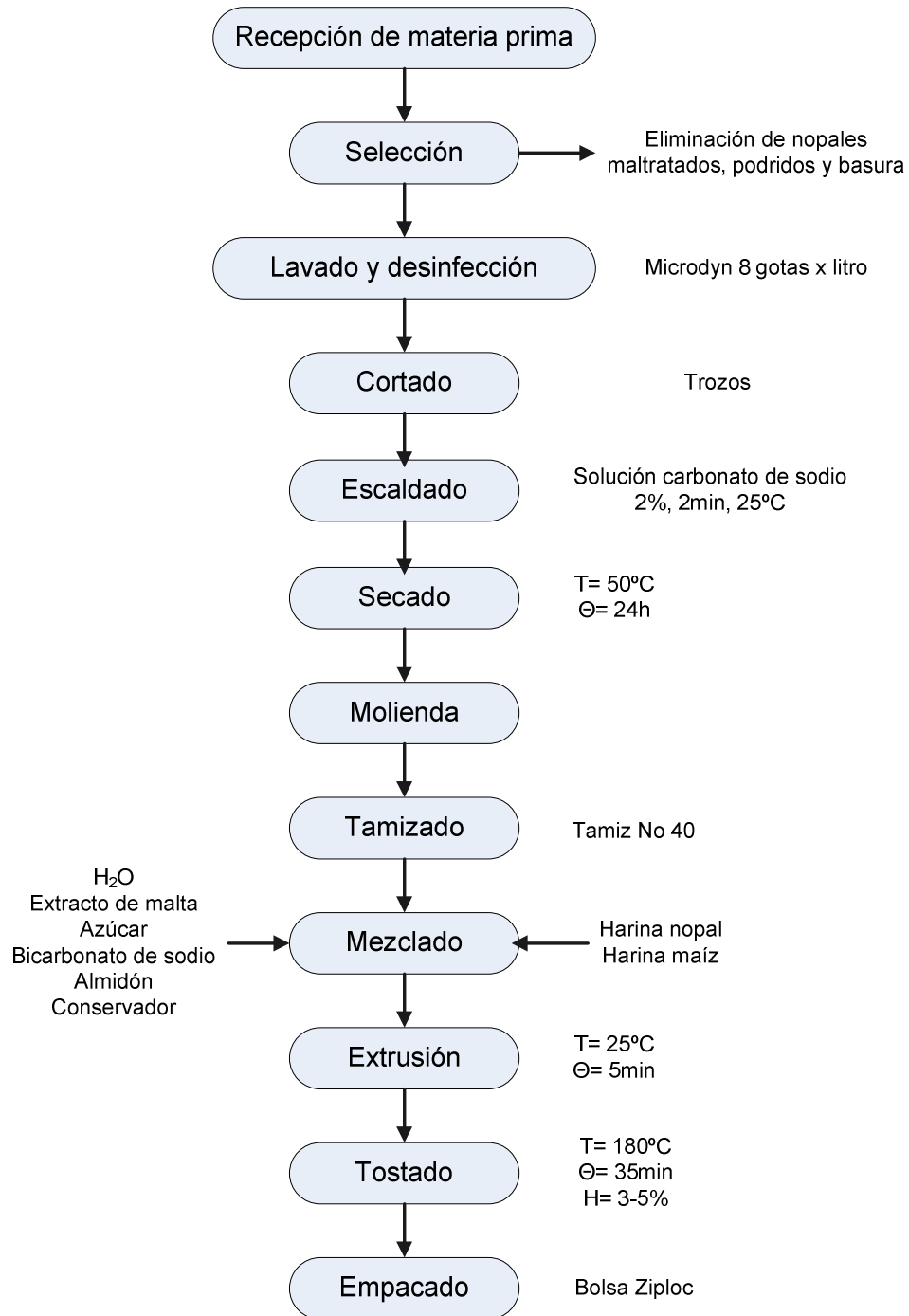


Figura 6. Proceso de elaboración de cereal de nopal

Actividad 4.2: Evaluación sensorial del cereal de nopal

Una vez obtenidas las formulaciones se realizó una evaluación sensorial a través de pruebas hedónicas evaluando los siguientes parámetros sensoriales: color, olor, sabor y textura, entre jueces de 20 a 26 años de edad de sexo femenino y masculino de la facultad de estudios superiores cuautitlan y de esta manera seleccionar la una opción en base a la evaluación sensorial realizada.

Se eligieron jueces de este rango de edad pues hoy en día los cereales, son la base del desayuno de jóvenes, y constituyen un buen complemento en la dieta, son una de las formas más completas de consumir cereales y suelen venir complementados con vitaminas y minerales, de tal forma que 30g suministra aproximadamente el 25% de todos los requerimientos diarios de vitaminas y minerales en solo 114 Kcal. Contienen poca grasa, poco sodio y bastante fibra (Escribano, 2000)

Para llevar a cabo la prueba se codificó cada muestra con un número de tres dígitos, se sirvieron muestras en bolsas de aproximadamente 3g de cada formulación; se les presentó un cuestionario (pág. 36). Se colocó a cada muestra un número de tres dígitos aleatorios para evitar que el número influya en la decisión del juez.

El cuestionario consta de 4 preguntas relacionadas a las características sensoriales del cereal con una escala de 7 puntos, debido al número de muestras.

CUESTIONARIO EVALUACION SENSORIAL

NOMBRE: _____ EDAD _____ FECHA: _____

PRODUCTO: CEREAL CON FIBRA DE NOPAL

Indique que tanto le gustan o disgustan las muestras, según la siguiente escala:

- 1.- Me desagrada mucho.
- 2.- Me desagrada.
- 3.- Me desagrada ligeramente.
- 4.- Ni me agrada ni me desagrada.
- 5.- Me agrada ligeramente
- 6.- Me agrada.
- 7.- Me agrada mucho

Asigne la calificación correspondiente a cada propiedad.

	101	212	323	434
COLOR	_____	_____	_____	_____
OLOR	_____	_____	_____	_____
SABOR	_____	_____	_____	_____
TEXTURA	_____	_____	_____	_____

Análisis de datos

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial fueron analizados a través de la prueba no paramétrica de Friedman. Esta prueba es la equivalente no paramétrica al análisis de varianza de un experimento de un factor y diseño en bloques completos aleatorizados en este caso cada juez forma un bloque.

Objetivo particular 5.

Actividad 5.1: Análisis microbiológico al cereal de nopal con mayor aceptación

Al cereal con mayor aceptación se le realizaron los siguientes análisis microbiológicos:

- ♦ **Mohos y levaduras (NOM-111-SSA1-1994)**

Fundamento

El método se basa en inocular una cantidad conocida de muestra de prueba en un medio selectivo específico, acidificado a un pH 3.5 e incubado a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, dando como resultado el crecimiento de colonias características para este tipo de microorganismos.

Medio de cultivo

- ♦ Agar papa dextrosa

Materiales

- ♦ Pipetas bacteriológicas 10 y 1 ml con tapón de algodón
- ♦ Cajas petri
- ♦ Frasco de vidrio de 500 ml con tapón de rosca
- ♦ Tubos de 16x150mm con tapón de rosca
- ♦ Espátula

Todo el material e instrumentos que tengan contacto con las muestras bajo estudio, deben esterilizarse mediante horno durante 2 horas de $170-175^\circ\text{C}$ ó por 1 hora a 180°C ó autoclave durante 15 minutos como mínimo a $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$.

Aparatos e instrumentos

- ♦ Horno para esterilizar que alcance una temperatura mínima de 170°C
- ♦ Incubadora con termostato a $25 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (GCA Corporacion, modelo 4)
- ♦ Autoclave que alcance una temperatura mínima de $121 \pm 1.0^\circ\text{C}$. (Presto steele, modelo 21)
- ♦ Baño de agua que mantenga la temperatura a $45^\circ \pm 1.0^\circ\text{C}$.

Análisis de datos

Se contaron todas las colonias desarrolladas en las placas, después de contabilizar las colonias en las placas se multiplicó por el inverso de la dilución para obtener el número de UFC por gramo de muestra. Los resultados se reportan como unidades formadoras de colonias UFC/g

- ◆ **Coliformes totales (NOM-113-SSA1-1994)**

Fundamento:

El método permite determinar el número de microorganismos coniformes presentes en una muestra, utilizando un medio selectivo (agar rojo violeta bilis) en el que se desarrollan bacterias a 35° C en aproximadamente 24h, dando como resultado la producción de gas y ácidos orgánicos, los cuales viran el indicador de ph y precipitan las sales biliares.

Medio de cultivo

- ◆ Agar rojo violeta-bilis-lactosa (RVBA)

Materiales

- ◆ El material aplica como en mohos y levaduras

Aparatos e instrumentos

- ◆ Incubadora con termostato a $35 \pm 1.0^\circ$ C
- ◆ Autoclave que alcance una temperatura mínima de $121 \pm 1.0^\circ$ C.(Presto steele, modelo 21)

Análisis de datos

- ◆ El análisis de datos es aplicado como en mohos y levaduras

- ◆ **Bacterias aerobias (NOM-092-SSA1-1994)**

Fundamento: consiste en controlar las colonias que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. El método admite numerosas fuentes de variación algunas de ellas controlables, pero sujetas a la influencia de varios factores.

Medio de cultivo

- ◆ Agar triptona – Extracto de levadura (agar para cuenta estándar)

Materiales

- ◆ El material aplica como en mohos y levaduras

Aparatos e instrumentos

- ◆ Incubadora con termostato a $35 \pm 1.0^\circ$ C
- ◆ Autoclave que alcance una temperatura mínima de $121 \pm 1.0^\circ$ C.(Presto steele, modelo 21)

Análisis de datos

- ◆ El análisis de datos es aplicado como en mohos y levaduras.

- ◆ **Preparación de la muestra y diluciones NOM-110-SSA1-1994**

Fundamento: Se basa en la preparación de diluciones primarias para obtener una distribución lo más uniforme posible de los microorganismos presentes en la porción de muestra.

Actividad 5.2: Análisis químicos al cereal de nopal con mayor aceptación

Al prototipo con mayor aceptación por la población encuestada, se le determinaron los siguientes análisis químicos, realizándose 3 repeticiones por determinación:

- ◆ **Humedad: Termobalanza (NMX-F-428-1982)**

Fundamento de la técnica

La humedad es tomada como la pérdida de peso al secado, usando un instrumento de humedad, el cual emplea una balanza de torsión sensible para pasar la muestra y una lámpara infrarroja para secar.

Aparatos y materiales

- Termobalanza
- Espátula
- Charolas para termobalanza

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se realizó un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

La determinación de humedad se lee directamente de la termobalanza.

- ◆ **Fibra cruda: método Kennedy (Método 7.050. AOAC, 1984)**

- ◆ Ver actividad 1.1

- ◆ **Fibra insoluble: método Detergente ácido (Método 7.055. AOAC, 1984; Morfin, 1997)**

- ◆ Ver actividad 1.2

- ◆ **Cenizas Klemm (Osborne, 1986)**

Fundamento de la técnica

El método se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo inorgánico.

Aparatos y materiales

- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Crisoles de porcelana
- Pinzas de crisol
- Mechero
- Papel filtro de peso conocido y libre de cenizas

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se realizó un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El porcentaje de cenizas se calcula de acuerdo a la siguiente igualdad:

$$\%C = \frac{m_2 - m_1}{P} 100$$

m_2 = Masa en gramos del crisol con la muestra tras la incineración

m_1 = Masa en gramos del crisol vacío

P = peso muestra (g)

♦ **Proteína: Micro-Kjeldahl (Método 47.021. AOAC, 1984),**

Fundamento de la técnica

La sustancia a investigar se somete a un tratamiento oxidativo con ácido sulfúrico concentrado en presencia de una mezcla catalizadora. Del sulfato amónico formado se libera el amoníaco por tratamiento alcalino y este se transporta con ayuda de una destilación en corriente de vapor a un recipiente con ácido bórico y se realiza una titulación con una disolución valorada de ácido clorhídrico. El contenido en proteína de la muestra se calcula teniendo en cuenta el contenido medio de nitrógeno de la proteína en cuestión.

Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado
- Mezcla catalizadora
- Hidróxido de sodio 60% con Na₂S₂O₃ AL 5%
- Ácido bórico 4%
- Ácido clorhídrico 0.02N
- Solución indicadora

Aparatos y materiales

- Digestor microkjeldahl (Labconco, modelo 60300)
- Destilador microkjeldahl (Figursa, modelo DMK-650)
- Matraz microkjeldahl 30ml
- Matraz erlenmeyer 50 y 250ml
- Bureta 50ml
- Probeta 10ml
- Pipeta 10ml
- Parilla con agitador
- Soporte universal

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se les realizara un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El porcentaje de proteína se calcula de acuerdo a la siguiente igualdad:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(m_{\text{HCl}} - m_{\text{blanco}}) \times \text{NHCl} \times 14.007}{m_{\text{muestra}}} 100$$

$$\% \text{Proteína} = \% \text{Nitrogeno} \times \text{Factor} (6.25)$$

♦ Grasa: Soxhlet (Matissek, 1998)

Fundamento de la técnica

La muestra anhidra se extrae con éter dietílico y con éter de petróleo y después se determina gravimétricamente el extracto seco, del que se habrán eliminado los disolventes.

Reactivos

- Éter dietílico
- Éter de petróleo

Aparatos y materiales

- Dispositivo de extracción soxhlet
- Matraz de fondo redondo/ plano 250ml
- Cartuchos de extracción
- Algodón
- Balanza (Sartorius, modelo (L2200S)

Análisis de datos

A los resultados obtenidos de las tres repeticiones se les realizará un promedio, determinando también la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El porcentaje de grasa se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%G = \frac{m_2 - m_1}{M} 100$$

m_1 = masa en gramos del matraz vacío

m_2 = masa en gramos del matraz tras el secado

M = peso de la muestra

♦ Carbohidratos (Composición total)

Estos se obtienen una vez que se determinan todos los demás componentes (proteínas, grasa, cenizas, humedad y fibra)

100 - la suma de los componentes es la cantidad de CHOS obtenidos

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Actividad preliminar 1: Cuantificar el contenido de humedad a nopal verdura *Opuntia ficus* indica a través de determinación gravimétrica de la sustancia seca por el método de la estufa de aire.

El contenido de humedad que se cuantificó al nopal en estado fresco se muestra en el cuadro 12:

Cuadro 12. % de Humedad en Nopal fresco

Muestra	1	2	3	Humedad(%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Nopal fresco	92	92.63	92.16	92.26	0.32	0.33

La humedad del nopal verdura *Opuntia ficus* indica en estado fresco cuantificada por el método gravimétrico de la sustancia seca o por el método de estufa fue de 92.26%, Según Helia Bravo (1978) en el libro las cactáceas de México presenta una recopilación de varios autores sobre la composición química del nopal de la misma especie en donde los valores de humedad oscilan entre 91.8-92.2%. Durante la experimentación se encontró que el porcentaje de humedad determinado es semejante al reportado por estos autores, concluyéndose de esta manera que los resultados obtenidos son confiables pues concuerdan con la especificación presentada por estos autores.

Objetivo particular 1.

Actividad 1.1: Cuantificar el contenido de fibra cruda a través del método de Kennedy en el nopal verdura con espinas y sin espinas en base seca.

En el cuadro 13, se muestran los resultados obtenidos de la determinación de fibra cruda en el nopal con y sin espinas por el método de Kennedy. Se puede observar que no existe diferencia en el contenido de fibra cruda entre el nopal con y sin espinas. Esto nos indica que la presencia de espinas en el nopal no influye de manera significativa en los resultados por lo tanto se puede llevar a cabo el aprovechamiento integral del nopal verdura y no sería necesario desespinar el nopal.

Cuadro 13. % de Fibra Cruda en el Nopal Con/Sin espinas

Muestra	1	2	3	Fibra cruda (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Nopal sin espinas	6.20	6.80	6.60	6.53	0.30	0.046
Nopal con espinas	6.78	6.12	6.76	6.55	0.37	0.056

Varios autores reportan el contenido de fibra de nopal como celulosa, pectina, lignina, pero no como un dato de fibra cruda, los datos presentados por autores como Helia Bravo (1978) reporta un valor de 11.38% como celulosa, y De la Rosa (2000) presenta un valor de 6.5% como celulosa, estos datos son muy variados, pues los valores que reportan tienen una diferencia del 4.8%. Es importante mencionar que en el nopal varía la concentración de sus componentes químicos de acuerdo con la época del año (Bravo H. 1978), sin embargo el porcentaje de fibra cruda obtenido experimentalmente está dentro de los parámetros reportados por estos autores.

Actividad 1.2: Cuantificar el contenido de fibra insoluble a través del método detergente ácido en el nopal verdura con espinas y sin espinas en base seca.

En el cuadro 14 se reportan los datos obtenidos de la determinación de fibra insoluble en el nopal con y sin espinas por el método detergente ácido. Se observa que el contenido de fibra

insoluble es prácticamente el mismo para ambas presentaciones, pues la variación no es significativa, Es decir que la presencia de espinas en el nopal verdura no afecta para su aprovechamiento integral y que el nopal pudiera utilizarse con espinas o sin espinas en el desarrollo del producto.

Cuadro 14. % de Fibra Insoluble en el Nopal Con/Sin espinas

Muestra	1	2	3	Fibra insoluble (%)	Desviación estándar	Coficiente de variación
Nopal sin espinas	10.2	10.3	10.5	10.33	0.15	0.014
Nopal con espinas	10.6	10.25	10.1	10.31	0.25	0.024

Al estimar la relación fibra insoluble/fibra cruda en el nopal con espinas y sin espinas, se encontró que los valores se encuentran entre 6.5 a 10.3 respectivamente. Siendo el contenido en fibra insoluble mucho mayor que el contenido de fibra cruda, tanto para el nopal con espinas como sin espinas. El contenido de fibra insoluble para ambas presentaciones resultó prácticamente en el mismo porcentaje. Y con respecto a la fibra cruda el contenido de ésta no varía para ambas presentaciones, esto se puede ver claramente en la figura 6, donde se representan gráficamente los resultados obtenidos de fibra cruda e insoluble para el nopal con y sin espinas. Aquí también se puede observar que con respecto a la muestra de nopal utilizada, una con espinas y otra sin espinas se puede decir que la presencia de espinas no influye, pues al momento de realizar la determinación de fibra cruda ó fibra insoluble, ya que el contenido de éstas resultó ser el mismo para cada una de las respectivas técnicas utilizadas.

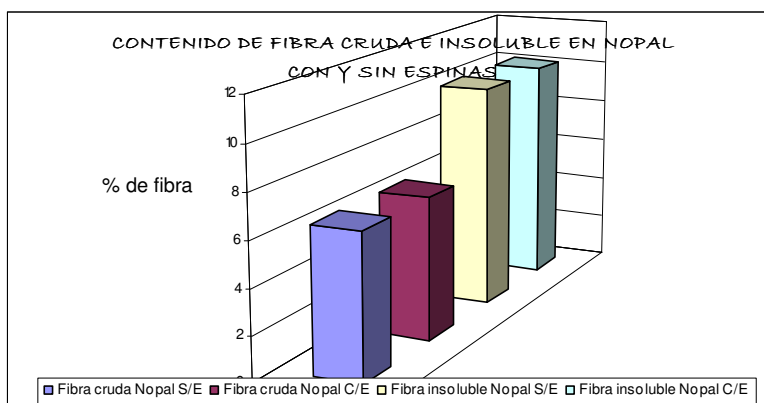


Figura 7. Relación fibra cruda y fibra insoluble en nopal con y sin espinas

En cuanto a la variación del contenido de fibra cruda y fibra insoluble en el nopal verdura (*Opuntia ficus Indica*), se debe primordialmente a que la fibra cruda es el residuo obtenido tras el tratamiento de los vegetales con ácidos y álcalis. Es decir, es un concepto más químico que biológico, y la fibra dietética se encuentra en una relación 30:70 en base seca de fibra soluble a insoluble (Dela Rosa, 2000). El alto contenido de fibra insoluble es la principal causa de los aportes medicinales del nopal, pues la fibra insoluble absorbe agua y acelera el paso de los alimentos por el tracto digestivos. La fibra insoluble que contiene el nopal, crea una sensación de saciedad ayudando a una buena digestión en el organismo. Mientras que la fibra cruda representa la porción no digerible de los alimentos y por consiguiente mientras mayor sea su concentración, menor será su valor alimenticio, aunque es importante recomendarlo para el buen funcionamiento del intestino

Objetivo particular 2.

Actividad 2.1: Definir la temperatura y tiempo en el escaldado de nopal verdura.

Este tratamiento también conocido como blanqueo, persigue la inhibición de la actividad enzimática, para asegurar la conservación del alimento, el escaldado también puede llevarse a acabo como operación previa a la deshidratación (Aguado, 2002). En el cuadro 15 se muestran

los resultados obtenidos del escaldado de nopal a diferentes condiciones de temperatura y tiempo y diferentes concentraciones de ácido ascórbico y carbonato de sodio:

Cuadro 15. Condiciones de escaldado del nopal

Muestra	Antioxidante	[]	T° Inmersión	⊖ Inmersión	Color
1	Acido ascórbico	0.5M	25°C	2min	Café
2	Acido ascórbico	0.5M	70°C	2min	Café
3	Carbonato de sodio	2%	70°C	2min	Verde olivo
4	Carbonato de sodio	2%	25°C	2min	Verde claro
5	Control	---	----	----	Verde claro

De las condiciones establecidas para el escaldado de nopal se eligió la que presentó un color característico a nopal fresco y de manera uniforme, las muestras 1 y 2 escaldadas con ácido ascórbico a una concentración de 0.5M a temperaturas de 25 y 70°C, presentaron un color casi café después del escaldado, esto puede atribuirse a que el ácido ascórbico se oxida con la presencia de luz y calor y al someterlo a una temperatura de 70°C en este caso en particular cambie sus propiedades químicas.

La muestra 3 escaldada con carbonato de sodio al 2% a 70°C presentó un color verde olivo, la muestra elegida para elaborar la harina de nopal es la muestra 4 escaldada con carbonato de sodio al 2% a temperatura de 25°C que presentó un color característico a nopal fresco y de color uniforme después del escaldado, preservando de esta manera la clorofila, es decir el color, químicamente, las clorofilas se pueden alterar de muchas formas pero en el procesado de alimentos es la feofitización, es decir el desplazamiento del color verde de las clorofilas al color verde mate de las feofitinas (Badui, 1999).

Actividad 2.2: Definir la temperatura y tiempo en el secado de nopal verdura

En la figura 8 se representa gráficamente el tiempo de secado del nopal escaldado con carbonato de sodio al 2% y a 25°C, las muestras se sometieron a tres temperaturas 50, 60 y 70° C, la muestra sometida a una temperatura de secado de 70°C en un tiempo de 7 horas presentó quemaduras sobre toda la superficie y en especial en las orillas, y con una humedad final por encima de lo requerido, la muestra que se sometió a una temperatura de secado de 60°C en un tiempo de 14 horas, sin embargo a este tiempo y esta temperatura la muestra presentó quemaduras sobre las orillas no lográndose el secado hasta la humedad y características deseadas, la muestra que se sometió a un secado de 50°C fue la que presentó las características sensoriales deseadas y una humedad final de aproximadamente el 7% en un tiempo de 24horas, siendo estas las condiciones adecuadas para la obtención de la harina de nopal con un color verde cremoso, libre de partículas extrañas y con una humedad final del 7%.

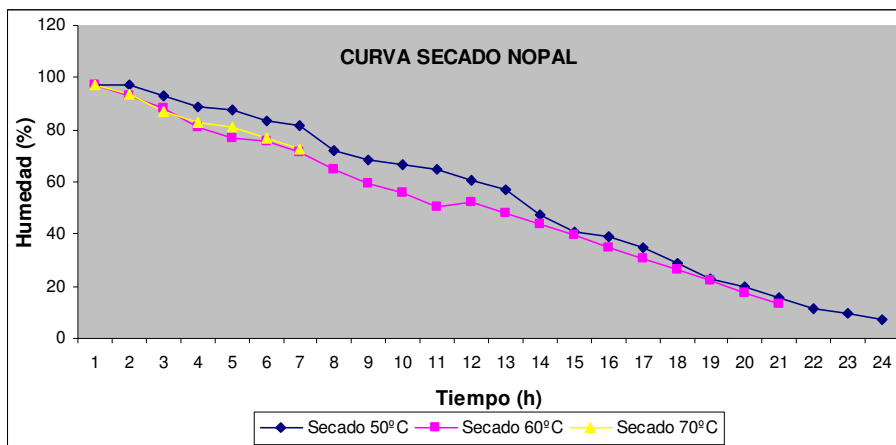


Figura 8. Curva de secado de nopal fresco

Objetivo particular 3.

Actividad 3.1: Definir la temperatura y tiempo en el tostado del cereal de nopal.

Bajo las condiciones descritas en el cuadro 9, el cereal que presentó las características deseadas fue a 180°C en un tiempo de 35min, el cereal obtenido fue de una textura crujiente y fácil de masticar, bajo las condiciones de temperatura de 150°C en un tiempo de 5, 20 y 35 min., el cereal presentó una textura no crujiente y quebradiza el cual resultó crudo. En las condiciones de temperatura de 230°C, en un tiempo de 35 y 20min, el cereal presentó una textura crujiente pero demasiado dura para masticar, incluso el producto se dañó obteniéndose superficies quemadas, a la temperatura de 230°C en un tiempo de 5min el cereal quedó crudo.

En la figura 6 se presenta el diagrama de bloques para la elaboración de cereal de nopal, bajo condiciones de escaldado con carbonato de sodio al 2% a una temperatura de 25°C, tiempo de secado para la obtención de harina de nopal de 50°C por 23horas y condiciones de tostado de 180°C por 35 min para la obtención del cereal a base de harina de nopal.

Objetivo particular 4.

Actividad 4.1 Proponer diferentes formulaciones para el desarrollo del cereal de nopal a través de diseño experimental de mezclas a nivel laboratorio.

Se elaboraran diferentes prototipos de cereal laminado en cuadritos variando: harina de nopal harina de maíz y extracto de malta, las formulaciones se ajustaron a 40% de humedad.

Las formulaciones se realizaron en el orden que arrojó el diseño experimental de mezclas de acuerdo al cuadro 16, realizándose por duplicado la quinta formulación. Se encontró que el prototipo con 12.5% de harina de nopal y 34.0% de harina de maíz correspondiente a la formulación 2, no se logró extruir, obteniéndose una pasta extremadamente viscosa al tacto, no logrando pasar a través del extrusor para darle la forma deseada, esto se puede atribuir a las condiciones del proceso pues no se logra ejercer tanta presión en el equipo utilizado para lograr la extrusión.

Cuadro 16. Formulaciones para elaboración de cereal de nopal

Prototipo	Formulación	%							
		Harina nopal	Harina maíz	Extracto de malta	Almidón	Azúcar	Bicarbonato de sodio	BHT	Agua
101	1	5.0	41.5	1.5	1.0	10	1.0	0.01	40
---	2	12.5	34.0	1.5	1.0	10	1.0	0.01	40
212	3	5.0	39.5	3.5	1.0	10	1.0	0.01	40
323	4	10.5	34.0	3.5	1.0	10	1.0	0.01	40
434	5	8.25	37.25	2.5	1.0	10	1.0	0.01	40

Las formulaciones 1, 3, 4 y 5 se elaboraron a través de este proceso de extrusión y se obtuvo la pasta formada en tiras laminadas, las cuales fueron cortadas en cuadros de aproximadamente 1cm², y posteriormente tostadas en un horno a 180°C durante 35min, bajo las condiciones de proceso ya establecidas en el diagrama de bloques (ver figura 6) el cereal se dejó enfriar y se empacó en bolsas de cierre hermético para su posterior evaluación.

Actividad 4.2 Evaluación sensorial del cereal de nopal (Sancho, 2002)

Los resultados de la prueba realizada se muestran en las gráficas 9-12, los parámetros que se evaluaron en el cereal obtenido fueron color, olor, sabor y textura. La evaluación sensorial se realizó a 34 jóvenes entre 20 y 26 años de edad, se utilizó el formato descrito en el objetivo 4 correspondiente a la actividad 4.2.

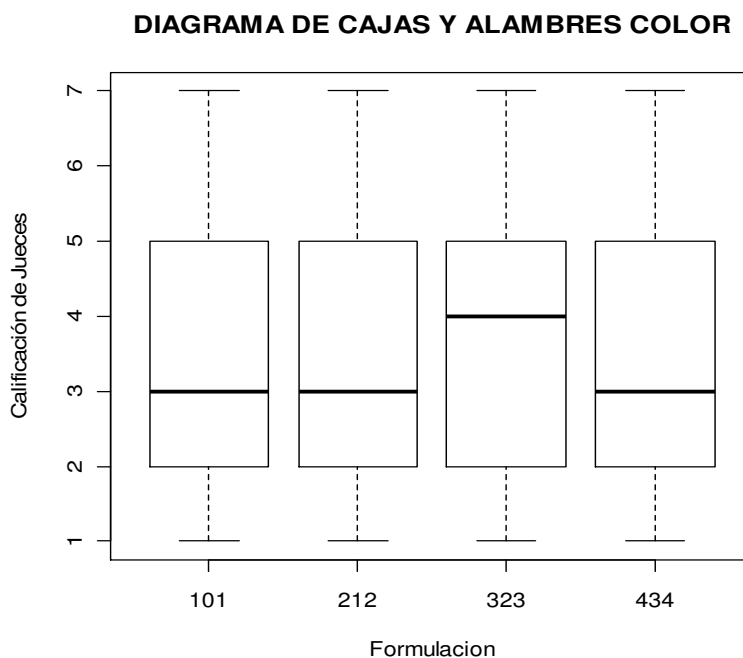


Figura 9. Representación gráfica aceptación de color

En la figura 9 correspondiente a la evaluación sensorial de color, se pueden observar las medianas de cada una de las muestras, claramente se observa que la formulación de mayor aceptación fue la 323, que es el que contiene 10.5% de harina de nopal y 34.0% de harina de maíz en su formulación, seguido por las formulaciones 434 relación 8.25% de harina de nopal y 37.25 de harina de maíz, la formulación 212 con un 5.0% de harina de nopal y 39.5% de harina de maíz y la formulación 101 con un 5.0% de harina de nopal y 41.5 de harina de maíz.

Con respecto al olor (ver figura 10), se puede ver no existe inclinación hacia alguna de las muestras evaluadas pues no hay diferencia entre las medianas, se puede observar que para la muestra 323 existe mayor dispersión de los datos catalogándolo desde me desagrada ligeramente hasta me agrada ligeramente, esta formulación es la que contiene mayor cantidad de nopal predomina el olor a nopal fresco, el cual como cereal no esta familiarizado con el agrada de la población.

DIAGRAMA DE CAJAS Y ALAMBRES OLOR

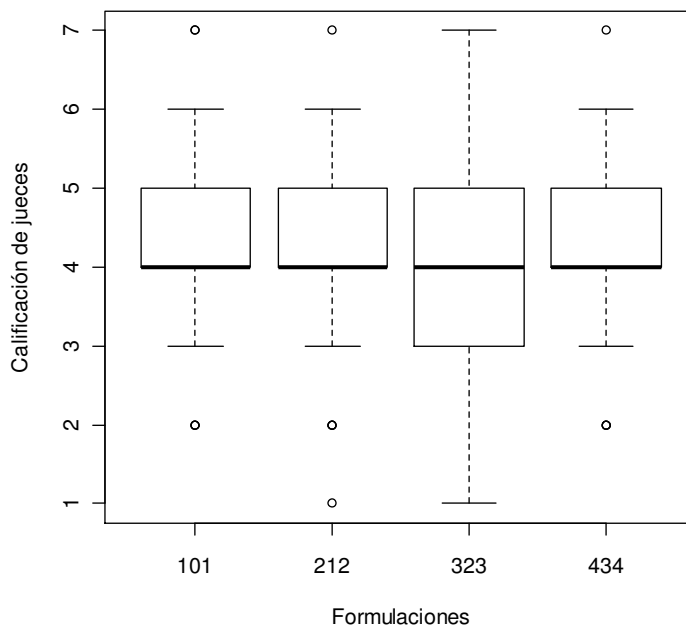


Figura 10. Representación gráfica aceptación de olor

En la figura 11 se representa gráficamente la aceptación del sabor del cereal de nopal, esta nos muestra que no hay una diferencia significativa entre cada una de las medianas de las cuatro formulaciones, pues entre las formulaciones 212, 323, 434 la mediana es la misma para todas muestras, para la muestra 101 que es la que contiene 5% de harina de nopal la mediana es diferente más no significativa.

DIAGRAMA DE CAJAS Y ALAMBRES SABOR

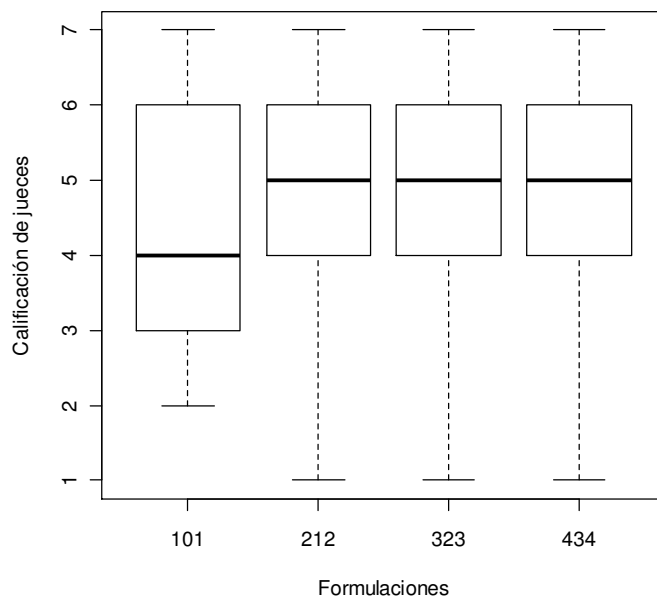


Figura 11. Representación gráfica aceptación de sabor

Con respecto al parámetro de textura, el diagrama nos muestra que la mediana es la misma para las muestras 212, 323, y 434, para la muestra 101 es diferente sin embargo, no existe una diferencia significativa para este parámetro evaluado.

De los parámetros sensoriales evaluados por la población encuestada, se puede observar en las graficas anteriores que no existe una diferencia significativa entre cada una de las medianas de las muestras evaluadas.

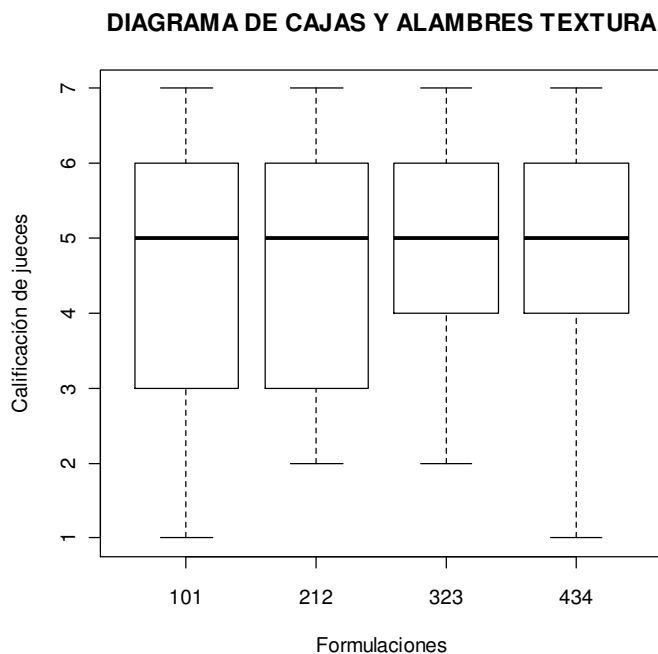


Figura 12. Representación gráfica aceptación de textura

En las figuras anteriores se presentan a través del diagramas de cajas y alambres el grado de aceptación de la textura, sabor, olor y color de las cuatro formulaciones evaluadas de cereal de nopal, la representación gráfica de los parámetros evaluados nos dicen que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre cada una de las medianas de las muestras para los parámetros evaluados, es decir que al no haber una diferencia significativa entre cada una de las muestras evaluadas sensorialmente, todos los prototipos son de gusto aceptable hacia la población encuestada.

Como los resultados para esta evaluación indican que no existe una diferencia significativa entre cada una de las formulaciones evaluadas, para cada uno de los parámetros (color, olor, sabor y textura), se eligió el prototipo 323, debido a que contiene mayor cantidad de harina de nopal en la formulación, pues el objetivo planteado fue que el cereal contenga fibra proveniente de nopal.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de la prueba de Friedman obtenidos con el paquete estadístico R (Equipo de desarrollo de R 2009-04-17) para probar la hipótesis nula de que para las variables olor, color, sabor y textura las medianas de las calificaciones de los cuatro prototipos son iguales.

Cuadro 17. Prueba de Friedman

Parámetro	Valor P
Color	0.4224
Olor	0.1168
Sabor	0.3133
Textura	0.3531

Objetivo particular 5.

Actividad 5.1: Análisis microbiológico al cereal de nopal con mayor aceptación

En el cuadro 18 se reportan los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados al cereal de nopal con un 10.5% de harina de nopal correspondiente al prototipo 323, como se puede observar el producto cumple con la NOM-147-SSA-1996, ya que el conteo de unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g), se encuentra dentro de las especificaciones reportadas en la citada norma. Por lo tanto se garantiza que el producto es inocuo y puede ser consumido sin riesgo para la salud

Cuadro 18. Análisis microbiológico cereal de nopal

Parámetro	Especificación (NOM-147-SSA-1996)	Resultado
MICROBIOLÓGICOS		
◆ Cuenta total estándar	10, 000 UFC/g	1, 000 UFC/g
◆ Mohos y levaduras	300 UFC/g	<100 UFC/g
◆ Coliformes	≤ 30 UFC/g	Negativo

Actividad 5.2: Análisis químicos al cereal de nopal con mayor aceptación

En el Cuadro 19 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico proximal realizado al prototipo elegido de la evaluación sensorial, Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 19. Parámetros sensoriales y químicos del cereal con harina de nopal

Parámetro	Resultado
SENSORIAL	
◆ Color	Verde cremoso Dulce, ligeramente a nopal Ligeramente a nopal Crujiente
◆ Olor	
◆ Sabor	
◆ Textura	
QUÍMICOS	
◆ Humedad	3.0%
◆ Fibra	
- Cruda	7.0
- insoluble	4.5
◆ Grasas	1.6
◆ Cenizas	4.9
◆ Proteína	10.9
◆ Carbohidratos	68.1

El cereal evaluado contiene 7.0% de fibra cruda, para una formulación con un 10.5% de harina de nopal y 34% de harina de maíz, la mezcla de harina de maíz con nopal *Opuntia ficus indica*, aporta de una manera considerable fibra, esta puede ser aprovechada por el organismo para las funciones que teóricamente están descritas, y que por lo tanto aportaría a los jóvenes fibra en un producto que es de consumo fácil y rápido.

Por otra parte si el proceso se realiza con extrusores a los cuales se pueda controlar presión y temperatura, cabe la posibilidad de tener un mayor contenido de harina de nopal en la formulación, que pudiera aportar más fibra al consumidor, lo cual lo convierte en un producto con alto contenido en fibra.

En el cuadro 20 tomada de (Barraza, 1993), se presenta la composición química de cereales presentes en el mercado de diferentes marcas.

Cuadro 20. Análisis proximal de alimentos industrializados (g/100g producto)

Producto	Tipo	Nombre comercial	Energía (Kcal)	Humedad	CHO`S	Grasa	Proteína	Fibra cruda	Cenizas
Cereal	Desayuno	All bran	347	3.6	66.9	2.2	13.0	7.6	6.7
		Cerelac	404	1.1	78.1	5.0	13.5	0	2.3
		Corn -flakes	375	4.9	82.4	0.6	7.9	0.8	3.4
		Rice Krispi	381	4.4	81.5	1.4	8.1	0.8	3.8
		Corn Pops	392	2.9	89.8	0.3	4.4	0.6	2.0

Fuente: Mendoza, M. E., Bourges, R. N., Morales, J.

Composición de alimentos industrializados. "Tablas de uso práctico". I. N. N. 1987

Como se puede observar los parámetros de fibra cruda van desde un 0-7.6% siendo el cereal con mayor contenido de fibra cruda el de marca all bran con un 7.6%, comparando este cereal con el cereal con harina de nopal éste presentó un contenido de fibra cruda del 7.0%, en cuanto a la humedad los parámetros reportados en este análisis proximal de estas marcas son desde un 1.1-4.9%, el cereal de nopal resultó con un contenido de humedad del 3.0%, acercándose nuevamente a la humedad del all bran, y si se observan los demás parámetros químicos evaluados se puede ver que el cereal de nopal es muy similar al de marca all bran, tanto en fibra, humedad, carbohidratos, cenizas, grasas y proteína, de esta manera se puede decir que el cereal a con harina de nopal y mezclado con harina de maíz es una opción para competir dentro del mercado con este tipo de marca, y que además se tiene el desarrollo de un cereal con alto contenido en fibra, utilizando como materia prima nopal verdura *Opuntia ficus* indica, que es endémico de nuestro país.

CONCLUSIONES

- ❖ Los resultados obtenidos de la determinación de fibra cruda y fibra dietética insoluble en el nopal con y sin espinas como materia prima son favorables para su transformación en productos con contenido en fibra.
- ❖ No existe diferencia en el contenido de fibra cruda entre el nopal con y sin espinas. Esto nos indica que la presencia de espinas en el nopal no influye de manera significativa en los resultados por lo tanto se puede llevar a cabo el aprovechamiento integral del nopal verdura y no sería necesario desespinar el nopal.
- ❖ El contenido de fibra insoluble es prácticamente el mismo para el nopal con espinas y sin espinas, pues la variación no es significativa,
- ❖ Por su contenido de fibra el nopal es adecuada para la salud humana, es accesible para todo tipo de persona.
- ❖ La muestra escaldada con carbonato de sodio al 2% a temperatura de 25°C por 2min., fue la que presentó un color característico a nopal fresco y de manera uniforme después del escaldado.
- ❖ La muestra que se sometió a un secado de 50°C fue la que presentó las características sensoriales deseadas en un tiempo de 24 horas, siendo estas las condiciones adecuadas para la obtención de la harina de nopal con un color verde cremoso, libre de partículas extrañas y con una humedad final aproximada del 7%.
- ❖ El cereal que presentó las características deseadas se obtuvo a 180°C en un tiempo de 35min, el cual tuvo una textura crujiente y fácil de masticar,
- ❖ Las condiciones finales para la elaboración de cereal de nopal fueron escaldado con carbonato de sodio al 2% a una temperatura de 25°C, tiempo de secado para la obtención de harina de nopal de 50°C por 24horas y condiciones de tostado de 180°C por 35 min. Ver figura 6
- ❖ La formulación que se eligió fue la que contiene 10.5% de harina de nopal, 34.0% de harina de maíz y 3.5% de extracto de malta.
- ❖ Los resultados arrojados de la evaluación sensorial indican que no existe una diferencia significativa entre cada uno de los prototipos evaluados, para cada uno de los parámetros (color, olor, sabor y textura), de acuerdo a la prueba de Friedman pues P es mayor a 0.05, se eligió el prototipo 323, debido a que contiene mayor cantidad de harina de nopal en la formulación, de los cuatro prototipos evaluados, pues el objetivo planteado fue que el cereal contenga fibra proveniente de nopal como materia prima.
- ❖ El producto cumple con la NOM-147-SSA-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. ya que el conteo de unidades formadoras de colonias por gramo de muestro (UFC/g), se encuentra dentro de las especificaciones reportadas
- ❖ El cereal evaluado contiene 7.0% de fibra cruda, para una formulación con un 10.5% de harina de nopal y 34% de harina de maíz, por lo cual se puede decir que el nopal *Opuntia ficus indica* mezclado con harina de maíz, aporta de una manera considerable fibra, y que por lo tanto puede ser aprovechada por el organismo para las funciones que teóricamente están descritas, y que por lo tanto aportaría a los jóvenes fibra en un producto que es de consumo fácil y rápido
- ❖ En las condiciones experimentales utilizadas, se logró desarrollar un cereal con harina de nopal mezclado con harina de maíz con un contenido en fibra cruda del 7.0%, similar al cereal de la marca all bran, convirtiéndolo en un producto con alto contenido en fibra.

- ❖ Los cereales son una parte importante en la dieta de los jóvenes, pues actualmente México ocupa el 2º lugar en obesidad, el paso agigantado de comida rápida es un problema serio, ya que se prefiere consumir estos productos que alimentos que en realidad aportan energía y son indispensables en el organismo para realizar funciones que son primordiales.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se pueden obtener tiempos de secado menores si este se realiza en equipos donde permita conservar las características organolépticas de nopal.
- ❖ La posibilidad de lograr un cereal con mejores características es considerable, pues la utilización de extrusores que permiten realizar pruebas piloto, siempre son más convenientes, ya que se logran controlar un mayor número de condiciones en el proceso.
- ❖ Si el proceso se realiza con extrusores a los cuales se pueda controlar presión y temperatura, cabe la posibilidad de tener un mayor contenido de harina de nopal en la formulación que estaría aportando más fibra al consumidor, lo cual lo convierte en un producto con alto contenido en fibra.
- ❖ Se puede someter a procesos por los que se consiguen que los cereales estallen, se expandan, se hinchen o se aplasten, de manera que estén listos para consumir, sin tener que llevarlos a una operación extra como lo es el tostado y así conseguir conservar su valor nutricional. El cereal puede enriquecerse con vitaminas y minerales como un extra al proceso.
- ❖ La rentabilidad del producto resulta costosa debido a que el rendimiento de la harina de nopal es muy bajo, se obtuvo el 7% de sólidos por cada 100g de nopal fresco.
- ❖ Enriquecer la investigación con estudio de mercado
- ❖ Se puede aprovechar industrialmente el nopal que es endémico de México, pues en la industria solo se utiliza el 3% del total de la producción, la mayoría es consumido en estado fresco.
- ❖ El color se puede cambiar con la adición de colores naturales más atractivos o aceptados.

PERSPECTIVAS

El nopal verdura forma parte de la cultura alimenticia nacional y su consumo tiende a crecer en otros países debido a su versatilidad de consumo.

México es el país que presenta el mayor desarrollo de la pequeña y mediana industria de productos derivados del nopal. La gran diversidad de los nopales y la costumbre de consumirlos en diversas formas es una ventaja para seguir desarrollando y aumentando el aprovechamiento de esta especie en el país, pues solo se utiliza el 3% de la producción total en la industria.

En México se producen varios productos a partir de nopal pero no existe hasta ahora un cereal que contenga harina de nopal, elaborar un cereal con estas características es significativo, pues se pueden aprovechar las propiedades nutricionales que nos brinda el nopal en un producto como lo son los cereales para desayuno de consumo fácil y rápido.

APENDICE 1

RESULTADOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL

PROPIEDAD

COLOR					OLOR				SABOR				TEXTURA			
Muestra					Muestra				Muestra				Muestra			
Juez	101	212	323	434	101	212	323	434	101	212	323	434	101	212	323	434
1	7	7	7	7	6	4	4	4	7	6	6	7	5	5	5	5
2	1	2	1	2	4	4	4	4	5	1	1	5	5	5	5	5
3	1	1	1	1	4	4	4	4	6	5	6	1	5	5	5	3
4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6
5	7	7	7	7	7	6	6	5	7	6	7	6	6	6	7	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	5	3	6	4	4	4	3	4	6	6	5	6	5	5	5	6
8	5	3	3	3	5	3	3	3	3	4	6	4	3	4	5	4
9	6	5	5	6	6	5	5	6	4	5	6	5	4	5	6	5
10	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6	6	6	6
11	2	2	2	2	4	4	4	4	3	6	6	6	3	3	5	6
12	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	6	5	3	6	5
13	4	3	4	4	4	3	2	4	3	5	5	5	3	3	3	4
14	2	7	4	6	4	5	6	6	6	4	3	6	6	4	4	5
15	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4	3	3
16	2	2	2	2	3	3	3	3	7	4	4	4	2	2	2	2
17	2	2	2	3	5	3	5	4	5	3	4	4	6	2	3	4
18	4	4	4	4	2	2	2	2	2	5	2	2	3	3	3	3
19	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
20	4	4	4	4	6	5	4	4	3	6	6	4	4	5	4	4
21	3	5	3	5	4	4	4	4	6	2	5	5	4	7	3	4
22	5	3	3	3	4	4	3	5	2	5	5	2	3	6	4	5
23	3	3	4	3	4	4	4	4	3	7	4	6	6	7	6	6
24	4	4	2	4	4	2	6	5	7	6	4	7	7	2	6	7
25	2	2	3	2	2	4	2	2	6	4	5	6	1	4	4	1
26	3	3	1	3	4	4	4	4	3	3	5	5	3	2	4	4
27	1	1	1	1	4	2	1	4	3	6	5	4	4	6	4	4
28	1	1	3	1	2	5	2	2	4	6	5	5	6	7	6	6
29	3	3	3	2	5	1	5	5	4	6	6	6	6	5	7	6
30	2	3	4	3	3	5	2	3	5	3	6	6	5	5	5	5
31	4	2	5	2	4	4	4	4	2	6	5	2	2	3	5	4
32	3	1	4	1	4	4	4	4	2	3	5	2	5	3	5	3
33	3	2	4	3	5	4	4	4	4	3	5	5	3	4	5	5
34	6	3	5	3	5	5	5	6	4	4	7	5	3	5	7	7

APENDICE 2

RESULTADOS PRUEBA DE FRIEDMAN

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de la prueba de Friedman obtenidos con el paquete estadístico R (Equipo de desarrollo de R. (2009-04-17)) para probar la hipótesis nula de que para las variables olor, color, sabor y textura las medianas de las calificaciones de los cuatro prototipos son iguales.

Color Prueba de Friedman Datos: color y proto y juez Friedman chi-squared = 2.8065, df = 3, p-value = 0.4224
Olor Prueba de Friedman Datos: olor y proto y juez Friedman chi-squared = 5.8958, df = 3, p-value = 0.1168
Sabor Prueba de Friedman Datos: sabor y proto y juez Friedman chi-squared = 3.5581, df = 3, p-value = 0.3133
Textura Prueba de Friedman Datos: textura y proto y juez Friedman chi-squared = 3.2609, df = 3, p-value = 0.3531

BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Aguado, A. J. 2003. Ingeniería de la industria alimentaria. Volumen 1. Conceptos básicos. Síntesis. España.
- ◆ AOAC. (1984). "Oficial Methods Of Análisis". Official Anal. Chem. 14 ed. USA, D.C
- ◆ Badui D. [1999]. Química de los alimentos. Editorial Longman de México editores, S.A. de C.V.
- ◆ Barraza S. E. (1993) Facultad de estudios superiores cuautitlan. "El proceso de extrusión una alternativa tecnológica aplicada en la elaboración de productos alimentarios". Tesis de licenciatura en Ingeniería en Alimentos. UNAM
- ◆ Borrego E. F. (1986). "El Nopal. Nopal forrajero, Usos e industrialización y Microbiología". Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- ◆ Bravo H. H. (1978) Las cactáceas de México. UNAM. México.
- ◆ Casp, J, Abril. (2003). "Tecnología de alimentos: Procesos de conservación de alimentos". 2ªed. Mundi-Prensa. España.
- ◆ Chávez R. Y. "Elaboración de alimentos a base de fibra de zanahoria por el proceso de extrusión". Departamento de graduados e investigación de Alimentos. Instituto politécnico nacional. Ciencias biológicas. VII Congreso nacional de ciencia de los alimentos.
- ◆ Cornejo, R. L. (2007). "Desarrollo competitivo de alimentos" 8ª semana temas de actualidad de alimentos, 30 aniversario Ingeniería en Alimentos. FESC UNAM.
- ◆ Daniel, W. W. Applied nonparametric statistics. (1990) PWS-KENT, USA.
- ◆ De la Rosa H. J. P. Santana D. A. (2000). "El Nopal: Usos, manejo agronómico y costos de producción en México". Conaza-Uach-Ciestaam. México.
- ◆ Diario de México. (2007) "Desarrollan técnica que conserva el color, sabor y textura del nopal". Edición 14666.
- ◆ Dirección General de Comunicación Social. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA).
- ◆ Escribano L. D, Martín V. E, Pino P. D. (2000). Química y Análisis de los Alimentos Cereales para el desayuno.
- ◆ Equipo de desarrollo de R. (2009-04-17). R installation and administration. Disponible en: cran.r-project.org
- ◆ Equipo de desarrollo de R. (2009-04-17). Introducción a R. Disponible en: cran.r-project.org/doc/contrib/R-intro-1.1.0-espanol.1.pdf
- ◆ Flores S. M. D. (1995) "Fibra dietética". Tesis de licenciatura en Ingeniería en Alimentos. UNAM.
- ◆ Granados S. D. (1996). "El Nopal: Historia, fisiología, genética e importancia frutícola". Trillas. México.
- ◆ Hernández U. A. (2006). "Alimentación y Nutrición: Nopal sabroso, benéfico y barato". Consejo del Nopal y Tuna del D. F. INIFAP •
- ◆ Hernández Uresti Adriana. Nopal, sabroso, benéfico y barato. Alimentación y nutrición. Fuentes Entrevistas con Javier Montes de Oca, presidente del Consejo del Nopal y Tuna del D. F.; con la nutrióloga Cecilia Sommer, con el doctor Candelario Mondragón Jacobo, del INIFAP • El poder curativo del nopal, de Guillermo Murray Prisant, Editorial Selector, 2000
- ◆ Martínez M. J. (2005). "Nutrición humana". Alfaomega. México.
- ◆ Matissek R. (1998). "Análisis de los alimentos". 2ª ed. Acribia. España
- ◆ Mendoza, M. E., Bourges, R. N., Morales, J. (1987). "Composición de alimentos industrializados". "Tablas de uso práctico". I. N. N.
- ◆ Miranda, F (2000): "La gestión del proceso de diseño y desarrollo de productos", [en línea] [5campus.com](http://www.5campus.com), Economía de la Empresa <<http://www.5campus.com/leccion/desapro>>
- ◆ Morfin L. L. (1997). "Manual de Laboratorio de Bromatología". División de Ciencias Pecuarias. Departamento M.V.Z.
- ◆ Münstermann M. (1998). Lo nuevo en fibra dietética. Industria alimentaria. 20(1): 42-44
- ◆ Murray P. G. (2000). "El poder curativo del nopal", Selector. México

- ◆ NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- ◆ NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
- ◆ NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. preparación y diluciones de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
- ◆ NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- ◆ NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (método rápido termobalanza).
- ◆ Olguín A. A. L (2008). "Propiedades funcionales de un cereal para desayuno a base de harina y cascarilla de maíz". Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A. c. (CIAD), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Facultad de ciencias químicas (UACH). XXXII premio nacional en ciencias y tecnología de alimentos 2008.
- ◆ Osborne D. R. (1986). "Análisis de los nutrientes de los Alimentos". Acribia. España.
- ◆ Othon S. S. (2003). Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. Agt editor S- A. México
- ◆ PAK D. N. (2000) "Fibra dietética en verduras cultivadas en Chile". ALAN, mar. 50(1): 97-101. ISSN 0004-0622.
- ◆ Pearson D. (1998). "Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos". Acribia. Zaragoza España.
- ◆ Pérez M. F. J. (1998). "Tecnología para el Procesamiento del nopal. Equipo para el desespinado del nopal verdura". Industria Alimentaria. 20(1): 10-11
- ◆ Reza N. S., Flores E. A. L, Alonso N. M y Ramírez B. P. (2002). "Evaluación de Textura, Color y Aceptación del Nopalito variedad Milpa alta Escaldado, a Diferentes Tiempos de Inmersión en Solución de NaCl y CaCl₂, y Empacado a Vacío". Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango.
- ◆ Robin G. (2001). "Extrusión de los alimentos". Acribia. Zaragoza España.
- ◆ Robles, L. L del C. "Efecto del escaldado y la adición del quitosano sobre la calidad del nopal" (opuntia ficus-indica).
- ◆ Rojas H. E. (1994). "La fibra dietética". In: Rojas Hidalgo E (ed.). Los carbohidratos en nutrición humana. Madrid: Grupo Aula Médica.
- ◆ Sancho J. Bota E. (2002). "Introducción al análisis sensorial de los alimentos". Alfaomega. México.
- ◆ Vollmer S. (1999). Elementos de bromatología descriptiva. Acribia. España.
- ◆ <http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/cereales/granos-y-harinas/harina-de-maiz.html>
- ◆ Zavala S. M. A (1993). "Industrialización del Nopal". Industria Alimentaria. 28(4): 42-43