



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Extracción de fibra de cáscara de jaca por
método químico y enzimático para su
aplicación en un cereal de desayuno.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
GARCÍA RODRÍGUEZ MELISSA JAZMÍN

ASESORA:

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CO ASESORA:

M. en C. SELENE PASCUAL BUSTAMANTE

CUAUTITLAN IZACALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2023.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE



ASISTENTE VOTO APROBATORIO

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefe del Departamento de Titulación
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Extracción de fibra de cáscara de jaca por método químico y enzimático para su aplicación en un cereal de desayuno.

Que presenta la pasante: **Melissa Jazmín García Rodríguez**

Con número de cuenta: **416021646** para obtener el título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 17 de Mayo de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Susana Patricia Miranda Castro	
VOCAL	Dra. Carolina Moreno Ramos	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Dr. Enrique Martínez Manrique	
2do. SUPLENTE	Dr. Ricardo Moisés González Reza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/cga*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por concederme la dicha de culminar esta etapa, gracias a mi universidad por permitir convertirme en profesional, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso, y principalmente gracias a mis asesoras por su dedicación y paciencia ya que sin sus palabras no hubiese podido llegar a esta instancia tan anhelada.

Gracias a mi mamá, por darme todo lo que necesité, porque en el transcurso de mi vida me ha inculcado valores, confía en mi persona y en mis deseos de superación. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi capacidad. Es por ella, lo que soy ahora.

A mi compañero de vida, por no dejarme bajar la guardia, apoyarme y confiar en mí.

Gracias hermano, familia y amigos, por formar parte de esto tan importante para mí, y alentarme a lograrlo siempre.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT (IT202419) “Aplicación de tratamientos de ultrasonido, campos eléctricos y cocción solar en el procesamiento de productos hortofrutícolas típicos d México” de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM y la cátedra CI2246, FESC-UNAM.



ÍNDICE DE FIGURAS.	IV
ÍNDICE DE TABLAS.	VII
RESUMEN	1
I INTRODUCCIÓN	2
II ANTECEDENTES	4
2.1 GENERALIDADES DE LA JACA	4
2.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.....	5
2.1.2 PARTES QUE CONFORMAN A LA JACA	6
2.1.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA.	7
2.1.3.1 PRODUCCION MUNDIAL.....	7
2.1.3.2 PRODUCCIÓN EN MÉXICO.....	8
2.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA	10
2.1.5 INDUSTRIALIZACIÓN DE JACA	11
2.2 GENERALIDADES DE FIBRA	13
2.2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN	13
2.2.2 COMPONENTES DE LA FIBRA	14
2.2.3 CLASIFICACIÓN DE FIBRA	19
2.2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA FIBRA	25
2.2.5 BENEFICIOS A LA SALUD POR CONSUMO DE FIBRA	26
2.2.5.1 RECOMENDACIONES DE INGESTA DIARIA RECOMENDADA. ...	28
2.2.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.	29
2.2.7 APLICACIONES DE FIBRA	31
2.3 CEREALES PARA DESAYUNO	34



2.3.1 DEFINICIÓN.....	34
2.3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN INDUSTRIAL	34
2.3.3 NUTRICIÓN, COMPOSICIÓN Y NORMATIVIDAD.....	36
2.3.3.1 NORMATIVIDAD DE CEREAL.	37
III OBJETIVOS	37
IV METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	39
4.1 MATERIAL BIOLÓGICO.....	40
4.2 EXTRACCION DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA.....	40
4.2.1. MÉTODO QUÍMICO	40
4.2.2. MÉTODO ENZIMÁTICO.....	42
4.3 CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA.....	44
4.4 FORMULACIÓN DE UN CEREAL PARA DESAYUNO ADICIONADO DE FIBRA DE JACA	44
4.5. APLICACIÓN DE FIBRA DE JACA.....	44
4.6 CARACTERIZACIÓN DE CEREAL PARA DESAYUNO ADICIONADO DE FIBRA DE JACA	46
4.7. TÉCNICAS ANALÍTICAS	46
4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	50
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1. CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA EXTRAÍDA POR MÉTODO QUÍMICO EN DOS ESTADOS DE MADUREZ.	51
5.2. CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA EXTRAÍDA POR MÉTODOS ENZIMÁTICOS.	60



5.3. COMPARACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA POR LOS MÉTODOS QUÍMICOS Y ENZIMÁTICO.....	68
5.4. EVALUACIÓN SENSORIAL Y QUÍMICA DEL CEREAL PARA DESAYUNO A BASE DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA.....	71
6. CONCLUSIONES.....	79
7. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFIA	81



ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Jaca madura.

Figura 2. Partes de la jaca mostrando fruto, látex y cáscara.

Figura 3. Fuente de producción mundial de jaca.

Figura 4. Representación a nivel nacional de estado productor de jaca.

Figura 5. Exportación de jaca en México representada en volumen.

Figura 6. Tepache de piña

Figura 7. Clasificación de la fibra dietética.

Figura 8. Estructura básica de las sustancias pépticas.

Figura 9. Estructura de la celulosa.

Figura 10. Estructura de hemicelulosa.

Figura 11. Estructura de fenilpropanoides.

Figura 12. Clasificación de la fibra según grado de fermentabilidad.

Figura 13. Producción de cereales para el desayuno por cocción por extrusión con expansión directa.

Figura 14. Producción de cereales para el desayuno por cocción del grado entero.

Figura 15. Diagrama de proceso de extracción de fibra por método químico.

Figura 16. Diagrama de proceso de extracción de fibra por método enzimático.

Figura 17. Diagrama de proceso para la elaboración de un cereal de desayuno con fibra de jaca

Figura 18. Evaluación del rendimiento de fibra de cáscara de jaca por el método químico. Las letras iguales en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por estado de maduración.

Figura 19. Cuantificación de la fibra cruda presente en la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método químico.

Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 20. Cuantificación de azúcares directos (A) y totales (B) en la fibra de jaca en dos estados de madurez por el método químico.

Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Figura 21. Comparación de capacidad de hinchamiento de la extracción de fibra de cáscara de jaca de la extracción por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 22. Comparación de capacidad de retención de agua de fibra de cáscara de jaca extraída por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 23. Capacidad de retención de aceite de la fibra de cáscara de jaca extraída por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 24. Rendimiento del proceso de extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimático empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 25. Comparación de % de fibra, para la extracción de fibra de cáscara de jaca, por el método enzimático, empleando Macerex y Zymapect. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 26. Contenido de azúcares reductores directos (A) y totales (B) de fibra de cáscara de jaca extraída por el método enzimático, empleando Macerex y Zymapect. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 27. Comparación de capacidad de hinchamiento para la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimáticos empleando Macerex y Zymapect. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 28. Comparación de capacidad de retención de agua para la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimático empleando Macerex y Zymapect



. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 29. Comparación de capacidad de retención de aceite, para la extracción de fibra de cáscara de jaca, por el método enzimático, empleando Macerex y Zymapect. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

Figura 31. Comparación del color en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante.

Figura 32. Comparación del olor en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante.

Figura 33. Comparación del sabor en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante.

Figura 34. Comparación de textura en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante.

Figura 45. Comparación de la aceptabilidad en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante.



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación botánica de la jaca.

Tabla 2. Aporte nutricional del fruto y semillas cd *A. heterophyllus lam.*

Tabla 3. Polisacáridos no almidón.

Tabla 4. Oligosacáridos resistentes.

Tabla 5. Clasificación de la fibra según grado de hidrosolubilidad.

Tabla 6. Beneficios a la salud por consumo de fibra.

Tabla 7. Métodos de obtención de fibra.

Tabla 8. Métodos de extracción de fibra por método convencional y enzimático.

Tabla 9. Descripción de variables y técnicas.

Tabla 10. Formulación propuesta para la elaboración de un cereal de desayuno, con fibra de jaca.

Tabla 11. Tabla 11: comparación de mejores condiciones de extracción de fibra.

Tabla 12. Comparación de humedad en cereal con fibra de jaca y cereal comercial.



RESUMEN

A nivel mundial, la preocupación acerca del aprovechamiento de residuos ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a nivel industrial, en donde los procesos de transformación generan desechos y subproductos que pueden ser útiles en otros procesos y que representan una fuente de aprovechamiento o transformación para generar otro producto de interés comercial. Una alternativa para estos subproductos serían los residuos vegetales que son una fuente rica de compuestos bioactivos como la fibra dietética, está constituida principalmente de biopolímeros, como lo es la hemicelulosa, celulosa, lignina, pectina y otras gomas que varían en proporción dependiendo de la fuente. El objetivo de este trabajo es la extracción de fibra proveniente de la cáscara de jaca para su aprovechamiento y aplicación en un cereal integral. Para la extracción se trabajó únicamente con la cáscara de jaca en dos estados de fisiológicos, verde y madura; la cual fue molida, filtrada y precipitada. La extracción de fibra fue mediante dos métodos químico con HCl a 0.1M durante 10 min y enzimático empleando Macerex® y Zymapect®. En la extracción química el mayor porcentaje de fibra se obtuvo de la jaca madura con 13.54 g por cada 100 g de cáscara y con una retención de agua 71%; mientras que para el método enzimático Macerex empleado en cáscara verde se registró un mayor porcentaje de fibra obteniendo 16.62 g por cada 100 g de cáscara y 62%. Una vez obtenida la fibra, se diseñó la formulación de un cereal integral a la cual se le evaluó contenido de humedad, y se realizó un análisis sensorial.

Así podemos concluir que, utilizando la cáscara de jaca madura, obtenida por el método químico se considera como la mejor opción, pues además de los resultados mencionados anteriormente, la jaca se puede aprovechar desde el fruto hasta la cáscara, en un estado madurez comercial.



I INTRODUCCIÓN

Los residuos vegetales son una fuente rica de compuestos bioactivos como la fibra dietética, está constituida principalmente de biopolímeros, como lo es la hemicelulosa, celulosa, lignina, pectina y otras gomas que varían en proporción dependiendo de la fuente.

A la fibra se le atribuyen propiedades tan diversas como: ser un regulador intestinal al actuar como laxante; representa un factor preventivo del cáncer de colon: es un absorbente de ácidos biliares y retarda la absorción intestinal, también favorece la disminución del colesterol y de la glucosa en la sangre (Bach, 2001).

México, se encuentra ubicado geográficamente en un lugar privilegiado, climas de todo tipo y por consecuente una vegetación muy variada, que pocos países en el mundo poseen, a su vez por este distintivo a nuestro país han arribado a través de los años un sinfín de frutas y hortalizas de lugares muy lejanos. El sur, el sureste y la costa del pacífico del país se caracterizan por tener climas tropicales y es por ello por lo que se han podido adaptar con mayor facilidad estos alimentos en comparación al resto de las regiones del país (Azizur Rahman *et al.*, 1999).

Las frutas exóticas que han arribado y llevan poco tiempo en México no son apreciadas y por consecuente aprovechadas, esto debido a que a las personas les surge un temor a que su sabor no sea agradable o por simple desconocimiento de su existencia, ocasiona que las ventajas y algunos beneficios no sean aprovechados.

La jaca es una fruta exótica traída del sur de Bangladesh y la India y poco apreciada en nuestro país, que de darle la importancia necesaria podría cambiar de cierta forma la vida de la sociedad en general, respecto a que sus características nutritivas son muy completas y mejores que muchas otras frutas empleadas en la dieta del mexicano, podría considerarse funcional debido a que cumple con ciertas características, es una fruta que se puede explotar de un sin fin de maneras y gastronómicamente, se puede utilizar en productos alimenticios que pueden ser del agrado de una sociedad y que esto a la vez repercutiría en una mejora en su alimentación y que haría mucho énfasis en la nutrición, y no menos importante en



la economía jugaría un papel atractivo, puesto que las personas que cosechan esta fruta podrían comercializarla con mayor demanda e incluso estas mismas personas pueden explotar sus beneficios creando sus propios productos a partir de esta magnífica fruta (Azizur Rahman *et al.*, 1999).

Sabiendo esto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el método de extracción (químico y enzimático) de fibra a partir de la cáscara de jaca en dos estados fisiológicos (verde y madura), evaluando el rendimiento, y que permita seleccionar aquella con las mejores propiedades físicas y químicas, adecuadas para su aplicación en el desarrollo de un cereal para desayuno.



II ANTECEDENTES

2.1 GENERALIDADES DE LA JACA

La *Artocarpus heterophyllus* L. comúnmente conocida como yaca pertenece a la familia Moraceae es un árbol de tamaño bastante grande y tiene la fruta más grande entre las frutas

comestibles. El árbol de la jaca ("Jackfruit" en inglés) es originario de India y popular en varios países tropicales y subtropicales, y la fruta se conoce como la 'fruta del hombre pobre' en las partes este y sur de la India. Las semillas generalmente se comen en forma hervida o asada o se usan en muchas preparaciones culinarias, ya que contienen composiciones similares a las de los granos.



Figura 1. Jaca madura (Abedin et al., 2012).

La fruta madura normalmente es fibrosa y está compuesta de azúcares como glucosa, fructosa, xilosa, ramnosa, arabinosa y galactosa. Una sola semilla de jaca está encerrada en un arilo blanco que rodea un espermodermo marrón delgado, que cubre el cotiledón blanco carnoso. Los cotiledones de yaca son bastante ricos en almidón y proteínas (Swami *et al.*, 2012). Las semillas representan alrededor del 10-15% del peso total de la fruta (Abedin *et al.*, 2012).



India es uno de los principales productores de frutas. Hay una pérdida de alrededor del 40% por año. Las razones se pueden atribuir a los métodos inadecuados posteriores a la cosecha y a la subutilización de frutas para productos de valor agregado (Sharma *et al.*, 2013).

En la India, la semilla de gato es un ingrediente importante en la preparación de antidotos para los grandes bebedores. El látex de la corteza contiene resina que a veces se usa para tapar agujeros en tanques de barro y en otros productos. La jacalina, la proteína principal de las semillas de jaca ha demostrado ser una herramienta útil para la evaluación del estado inmune de pacientes infectados con VIH. También se ha informado que la yaca contiene prenylflavonas antioxidantes (Gupta *et al.*, 2011). Sin embargo; no contiene grasas saturadas ni colesterol, por lo que es una de las frutas saludables para saborear. La pulpa de la jaca madura se puede comer fresca o incorporada a la ensalada de frutas. Las semillas se comen hervidas o asadas (Ejiofor y Owuno, 2013) Los residuos de yaca, un subproducto de la industria de procesamiento, representan aproximadamente el 2% de la carne recién rallada con un bajo valor de mercado. Mejorar el uso de residuos de jaca de alimento para animales a alimentos funcionales será de gran beneficio para satisfacer las demandas de alimentos (Feili *et al.*, 2013).

La fruta está hecha de carne (bulbos) suave y fácilmente digerible con azúcares simples como fructosa y sacarosa. La fruta fresca tiene pequeñas cantidades de vitamina A y pigmentos flavonoides como caroteno- β , xantina, luteína y criptoxantina- β . Juntos, estos compuestos juegan papeles vitales en las funciones antioxidantes y de visión. La fruta fresca es una buena fuente de potasio, magnesio, manganeso y hierro (Feili *et al.*, 2013).

2.1.1 CLASIFICACIÓN BOTANICA.

El jackfruit, jaca o yaca (*Artocarpus heterophyllus*), también conocido como jack tree, es una especie de árbol de la familia de los higos, moras y árboles



de pan (*Moraceae*). Su origen se encuentra en la región entre los Ghats occidentales del sur de la India y las selvas tropicales de Malasia . En la tabla 1, se describe la taxonomía de esta fruta.

Tabla 1. Clasificación botánica de jaca Carreón (2014).

REINO:	<i>Plantae</i>
DIVISIÓN:	<i>Magnoliophyta</i>
CLASE:	<i>Magnoliopsida</i>
ORDEN:	<i>Rosales</i>
FAMILIA:	<i>Moraceae</i>
TRIBU:	<i>Artocarpeae</i>
GÉNERO:	<i>Artocarpus</i>
ESPECIE:	<i>heterophyllus Lam</i>

2.1.2 PARTES QUE CONFORMAN A LA JACA

Es un árbol que alcanza un tamaño de 10-15 m de alto con copa densa. Tronco de 3-4 m de circunferencia, con corteza de color marrón rojizo, lisa, ramitas jóvenes glabras (sin presencia de pelos o glándulas). Hojas con 2-3 cm de largo; elípticas a obovadas de 8-15 cm de largo, 4-10 cm de ancho, coriáceas, enteras ó 3 lóbulos en los brotes jóvenes, de color verde oscuro y brillante en el haz. La inflorescencia masculina es terminal o axilar, cilíndrica a claviforme, 3-8 cm de largo, 1-2.5 cm de ancho; pedúnculos de hasta 6 cm de largo. Inflorescencia femenina en el tronco principal y las ramas viejas, cilíndrica u oblonga, tuberculada y de mayor tamaño que la masculina. Sin carpo oblongo-globoso, colgando en el tronco, masivo, 25-100 cm de largo, 20-25 cm de diámetro, carnosa, tubérculos, marrón externamente, pulpa de que van del rojo al anaranjado, así como del amarillo a blanco. Semillas más o menos reniforme, de 2-3 cm de largo, Embebido en la pulpa. Entre sus



propiedades organolépticas se percibe un sabor semejante al mango y a la piña. El fruto puede llegar a pesar desde los 30 hasta los 50 kilogramos. Se considera una fruta exótica y tropical, por lo que necesita de cuidados, pero sobre todo buenas condiciones climáticas. Puede producir todo el año, estando como ya se mencionó en constante cuidado y regando continuamente (Figura 2).



Figura 2. Partes de la jaca, mostrando fruto, el látex, y la cáscara (Abedin et al., 2012).

2.1.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA.

2.1.3.1 PRODUCCION MUNDIAL.

Por las características que posee la jaca, este no se produce en ciertas zonas del mundo, es nativa de la India en donde se ha plantado desde hace siglos en Ghats Occidental. Se planta a bajas altitudes especialmente en selvas tropicales; presenta mayor calidad en países asiático, por ser una fruta muy apreciada, especialmente al sur de China, Malasia y las Indias Orientales (Figura 3) en donde esta fruta es tan común como el mango y el plátano, es común en Filipinas (Simba-Casa,2004).

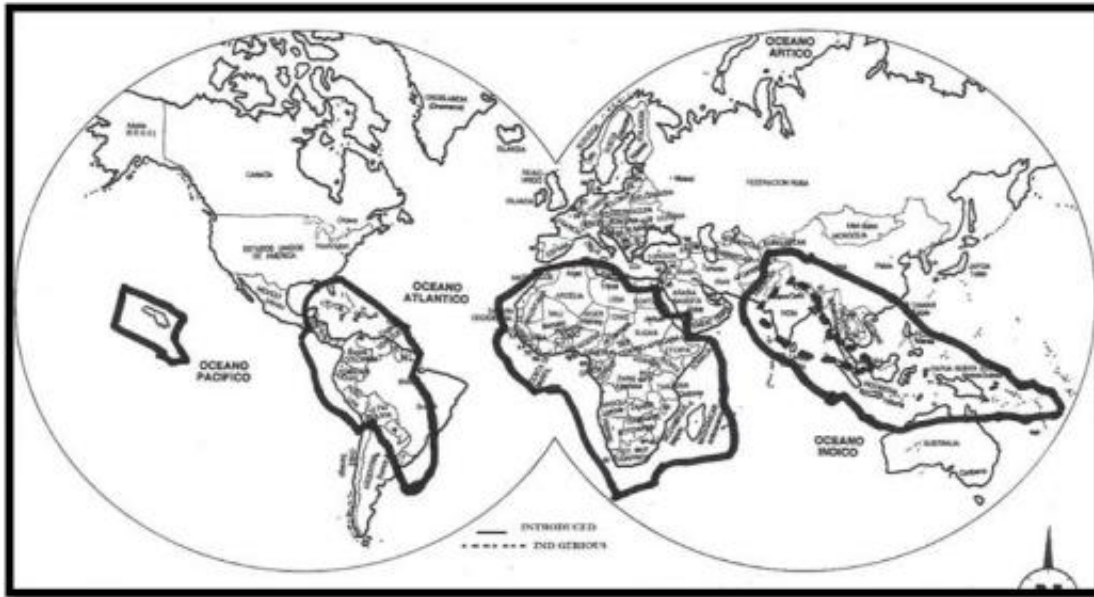


Figura 3. Fuente de producción mundial de jaca (Simba- Casa., 2004).

La jaca se considera a partir de un estudio sobre patrones respiratorios de frutos tropicales, como de tipo intermedio entre climatérico y no climatérico; sin embargo, puede ser consumido como vegetal en estado inmaduro y como fruta al madurar (Piña-Dumoulin *et al.*, 2010).

2.1.3.2 PRODUCCIÓN EN MÉXICO.

En México, el cultivo de jaca es de reciente introducción y cuenta con una superficie establecida de 962 ha, así como una producción anual de 14,118 toneladas. Por volumen y extensión, Nayarit es el principal productor al centrar más del 80% de la producción nacional con 13.221 toneladas distribuidas en 855 ha. En la actualidad este cultivo puede ser considerado como una alternativa adecuada y comercialmente rentable que aporta rendimiento y beneficios económicos a los productores de Nayarit: al cultivo están asociadas diversas plagas, destacando varias especies de insectos como escamas, cochinillas y pulgones el cual eso afecta la producción (Rodríguez-Palomera *et al.*, 2015).



En la figura 4 se muestra la producción por estados de las principales frutas exóticas.



Figura 4. Representación a nivel Nacional del estado productor de jaca (SIAP., 2017).

En 2017, México exportó 16 mil 798 toneladas de jaca de las cuales 9 de cada 10 Toneladas de fruta se comercializan con el exterior, principalmente con Estados Unidos de América.

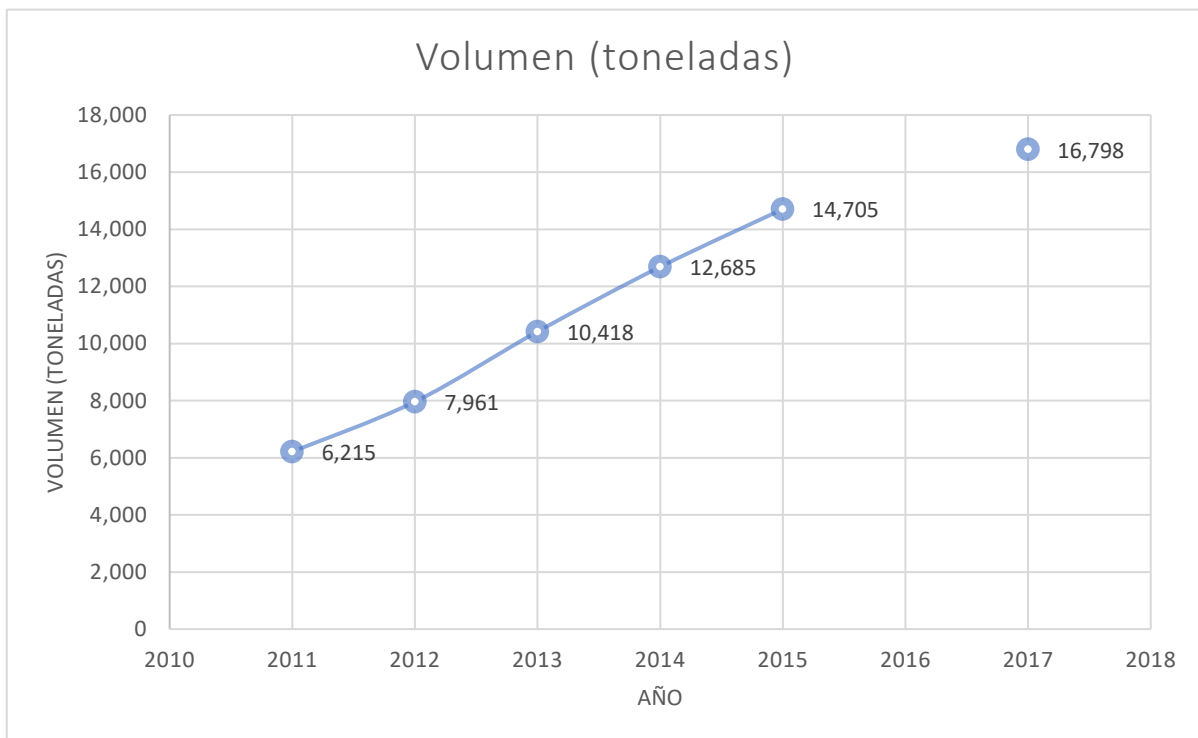


Figura 5. Exportación de jaca en México representada en volumen (toneladas) (SIAP, 2017).

2.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La capacidad nutritiva y medicinal de esta fruta es sorprendente. Esto se debe al aporte nutricional de la Jaca. En la tabla 2, se muestra la composición química de la jaca.



Tabla 2. Aporte nutricional del fruto y semillas de *A. heterophyllus* Lam (Simba-Casa, 2004).

Aportes nutricionales	Pulpa (madura y fresca)	Semillas (frescas)	Semillas (secas)
Calorías	98	-	-
Humedad	72.0-77.2 g	51.6-57.77	-
Proteína	1.3-1.9 g	6.6 g	-
Grasa	0.1-0.3 g	0.4 g	-
Hidratos de carbono	18.9-25.4 g	38.4 g	-
Fibra	1.0-1.1 g	1.5 g	-
Ceniza	0.8-1.0 g	1.25-1.50 g	2.96 %
Calcio	22 mg	0.05-0.55 mg	0.13 %
Fosforo	38 mg	0.13-0.23 mg	0.54 %
Hierro	0.5 mg	0.002-1.2 mg	0.01 %
Sodio	2 mg	-	-
Potasio	407 mg	-	-
Vitamina A	540 IU	-	-
Tiamina	0.03mg	-	-
Niacina	4 mg	-	-
Ácido Ascórbico	8-10mg	-	-

2.1.5 INDUSTRIALIZACIÓN DE JACA

De los árboles de esta especie se aprovecha prácticamente todo; del tronco y las ramas, se obtiene madera; las hojas se usan como forraje de ganado y para cocinar; las semillas secas se utilizan en dulces o hervidas como aperitivo; los frutos se consumen en fresco, cocinados o procesados en jugo, helados o rodajas fritas (Love y Paull, 2011). También se reportan beneficios nutracéuticos, toda vez que las hojas y la corteza se utilizan para tratar anemia, asma, dermatosis, diarrea, catarro y como expectorante (Love y Paull, 2011). Los frutos tienen diversos compuestos, como



carotenoides, flavonoides, taninos, esteroides, entre otros, que le confieren propiedades anticancerígenas, además de que aliviar úlceras e indigestión. Las hojuelas de frutos maduros tienen 0.8% de minerales, 30 IU de vitamina A y 0.25 mg100 g⁻¹ de tiamina y valor energético alto pues se ha calculado que la pulpa provee energía de hasta 2 MJ kg⁻¹ en peso húmedo (APAARI, 2012). Entonces, la jaca se aprovecha en todas sus presentaciones que se acaban de mencionar, sin embargo y para efectos del aprovechamiento de residuos en este escrito, se centra la atención en la cáscara y de acuerdo con Pedro (2015), un periodista interesado en el tema afirma en sus entrevistas que lo más importante de la cáscara de jaca es solamente el tepache que se produce con dicha cáscara.



Figura 6. Tepache de piña (Robin & Grose,2019).

“podemos hacer tepache, como el que se elabora de piña, es muy bueno para refrescarse y ayuda para quitar la migraña”.

Este estudio se refiere a las personas que viven en Nayarit, que es donde existe la mayor producción de esta fruta.

Por dicha razón se buscan más alternativas para industrializar la cáscara de jaca, que es un residuo en la industria.



Importancia: En México existen diversas fuentes naturales con alto porcentaje de fibra que no han sido explotadas (Álvarez, 1995), pero debido a la considerable producción de jaca en México (18,611 ton/año) se busca una alternativa de los subproductos que ellos generan, como lo es la cáscara, que es de alrededor de 50% a 60% del fruto; una de esta alternativa es obtener fibra y así disminuir el impacto ambiental que originan los desperdicios industriales (SIA, 2013).

2.2 GENERALIDADES DE FIBRA

2.2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN

La fibra dietética se reconoce hoy, como un elemento importante para la nutrición sana. No es una entidad homogénea y probablemente con los conocimientos actuales tal vez sería más adecuado hablar de fibras en plural. No existe una definición universal ni tampoco un método analítico que mida todos los componentes alimentarios que ejercen los efectos fisiológicos de la fibra (Rojas Hidalgo, 1994).

Según Rojas Hidalgo (1994): *“la fibra no es una sustancia, sino un concepto, más aún, una serie de conceptos diferentes en la mente del botánico, químico, fisiólogo, nutriólogo o gastroenterólogo”*.

Tras la definición de Trowel *et al.* (1976), se han considerado fibras dietéticas a los polisacáridos vegetales y la lignina, que son resistentes a la hidrólisis por los enzimas digestivos del ser humano. A medida que han ido aumentando los conocimientos sobre la fibra tanto a nivel estructural como en sus efectos fisiológicos, se han dado otras definiciones que amplían el concepto de fibra.

La American Association of Cereal Chemist (2001) define: *“la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos*



beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre”.

Una definición más reciente, añade a la definición previa de fibra dietética el concepto nuevo de fibra funcional o añadida que incluye otros hidratos de carbono absorbibles como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa (American Association of Cereal Chemist, 2001).

Entonces se hablaría de fibra total como la suma de fibra dietética más fibra funcional. Desde un punto de vista clínico, probablemente son los efectos fisiológicos o biológicos de la fibra y por tanto su aplicación preventiva o terapéutica los que van a tener mayor importancia. Resumiríamos diciendo que son sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos excepto la lignina que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos humanos y llegan intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la flora colónica (American Association of Cereal Chemist, 2001).

2.2.2 COMPONENTES DE LA FIBRA

Con las nuevas definiciones, el número de sustancias que se incluyen en el concepto de fibra ha aumentado, entonces la clasificación propuesta por Ha MA *et al.* (2000) recoge de forma global los conocimientos actuales que permiten una ordenación conceptual (figura 7). Los principales componentes serían:



Figura 7. Clasificación de la fibra dietética (Ha MA et al., 2000).

- Polisacáridos no almidón: Los polisacáridos son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos veinte residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no almidón para aquellos que llegan al colon y poseen los efectos fisiológicos de la fibra. Podríamos clasificarlos en celulosa, β -glucanos, hemicelulosas, pectinas y análogos, gomas y mucilagos (Ha MA et al., 2000) (tabla 3).



Tabla 3. Polisacáridos no almidón. (Ha MA et al., 2000).

Polisacáridos no almidón	
Celulosa	Compuesto más abundante de las paredes vegetales
	Fuente: verduras, frutas, frutos secos y cereales (salvado)
B-glucanos	Fuente: vegetales
hemicelulosa	Se encuentran asociados a la celulosa como constituyente de las paredes.
	Fuente: vegetales y salvado
Pectina	Se encuentra en la laminilla media de la pared de las células vegetales
	Fuente: cítricos y la manzana
Gomas	Proviene de la transformación de los polisacáridos de la pared celular
	Fuente: Arábica, karaya, tragacanto, gelana
Mucilagos	Constituyentes celulares normales y con capacidad de retención hídrica
	Fuente: semillas de plantago, flores de malva, semillas de lino y algas.

- Oligosacáridos resistentes: Hidratos de carbono con un nivel de polimerización menor, tienen de tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en fructooligosacáridos (FOS) e inulina, galactooligosacáridos (GOS), xilooligosacáridos (XOS), isomaltooligosacáridos (IMOS) (tabla 4).



Tabla 4. Oligosacáridos resistentes (Ha MA et al., 2000).

Fructooligosacáridos (FOS): _Levanos. Fuente: producido por bacterias _Inulina (contiene más de 10 monómeros) Fuente: Achicón, Cebolla, Ajo, alcachofa.
Galactooligosacáridos (GOS) Fuente: leche de vaca, legumbres.
Xigooligosacáridos (XOS) Fuente: frutas, verduras, miel y leche
Isomaltosoligosacáridos (IMOS) Fuente: salsa de soja, sake, miel.

- Ligninas: No es un polisacárido sino polímeros que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos; contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignificación de los tejidos también permite mayor resistencia al ataque de los microorganismos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado. La lignina es un componente alimentario menor. Muchas verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3% de lignina, en especial en estado de maduración. El salvado de cereales puede llegar a un 3% de contenido en lignina (Mateu, 2004).
- Sustancias asociadas a polisacáridos no almidón Poliésteres de ácidos grasos e hidroxiácidos de cadena larga y fenoles. Los más importantes son la suberina y la cutina. Se encuentran en la parte externa de los



vegetales, junto con las ceras, como cubierta hidrófoba (Mateu de Antocio, 2004).

- Almidones resistentes Son la suma del almidón y de sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de los individuos sanos Se dividen en cuatro tipos (Englyst y Cummings, 1990).
 - Tipo 1 o AR1 (atrapado): se encuentran en los granos de cereales y en las legumbres.
 - Tipo 2 o AR2 (cristalizado): no puede ser atacado enzimáticamente si antes no se gelatiniza. Sus fuentes son las patatas crudas, plátano verde y la harina de maíz.
 - Tipo 3 o AR3 (retrogradado): almidón que cambia su conformación ante fenómenos como el calor o el frío. Al calentar el almidón en presencia de agua se produce una distorsión de las cadenas polisacáridos adquiriendo una conformación al azar, este proceso se denomina gelatinización. Al enfriarse comienza un proceso de recristalización, llamado retrogradación. Este fenómeno es responsable por ejemplo del endurecimiento del pan. Sus fuentes son pan, copos de cereales, patatas cocidas y enfriadas y alimentos precocinados.
 - Tipo 4 o AR4 (modificado): almidón modificado químicamente de forma industrial. Se encuentra en los alimentos procesados como pasteles, aliños industriales y alimentos infantiles. Estudios recientes señalan que la cantidad de almidón que alcanza el intestino grueso puede ser de 4 a 5 g/día, aunque en países donde la ingesta de hidratos de carbono es mayor, esta cantidad puede ser más elevada. Este almidón se comporta en el colon como un sustrato importante para la fermentación bacteriana colónica.



- Hidratos de carbono sintéticos: Son hidratos de carbono sintetizados artificialmente pero que tienen características de fibra dietética. Serían:
 - Polidextrosa.
 - Metilcelulosa, Carboximetilcelulosa, Hidroximetilpropilcelulosa y otros derivados de la celulosa.
 - Curdlan, Escleroglucano y análogos.
 - Oligosacáridos sintéticos.
- Fibras de origen animal: Sustancias análogas a los hidratos de carbono que se encuentran principalmente en alimentos de origen animal. Serían:
 - Quitina y Quitosán: forman parte del esqueleto de los crustáceos y de la membrana celular de ciertos hongos.
 - Colágeno.
 - Condroitina. Algunas sustancias que pueden ser incluidas como fibra dietética pero que todavía resultan controvertidas serían:
 - polioles no absorbibles (manitol, sorbitol);
 - algunos disacáridos y análogos no absorbibles;
 - algunas sustancias vegetales (taninos, ácido fítico, saponinas)

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE FIBRA

La clasificación de la fibra puede darse desde diferentes enfoques por ejemplo (Moreno *et al.*, 2013):

- Según su relación con la estructura de las paredes celulares.
- Según su naturaleza química (polisacáridos no relacionados con el almidón y polisacáridos no relacionados con la celulosa).
- Por su solubilidad en el agua.

Desde el punto de vista de la nutrición humana, que es el principal uso que se le destinará a la fibra extraída, la clasificación más importante es la última mencionada, que es a partir de su solubilidad, del cual se distinguen la fibra soluble y la insoluble.



1. La fibra Soluble (FS): incluye pectinas, gomas, mucílagos y ciertos tipos de hemicelulosa solubles, se caracteriza porque gran parte de ella sufre un proceso de fermentación en el colon, con producción de hidrógeno, metano, dióxido de carbono y ácidos grasos de cadena corta (Periago y Ros, 1992).
2. La fibra Insoluble (FI): formada por la celulosa, lignina y hemicelulosa, apenas sufre procesos fermentativos, tiene un efecto más marcado en la regulación intestinal, con reducción de tiempo, en el tránsito de los alimentos y aumento de la excreción (Bach, 2001).

Tabla 5. Clasificación de la fibra según grado de hidrosolubilidad (Periago y Ros., 1992).

Fibra	Lignina		insoluble en agua ("fibra insoluble")
	polisacáridos no almidónicos	Celulosa	
		hemicelulosa (tipo B)	
		hemicelulosa (tipo A)	
		Pectinas	soluble en agua ("fibra soluble")
		Gomas	
		Mucilagos	
otros polisacáridos			
Sustancias análogas a la fibra	inulina / fructooligosacáridos		en su mayoría solubles en agua
	almidón resistente		
	azúcares no digestibles		

- Pectinas: Son sustancias intersticiales, de efecto cementador o conjuntivo intercelular, en los vegetales. De ahí su principal propiedad de dar con agua geles elásticos, están formadas esencialmente por enlaces beta 1:4 entre unidades de ácido galacturónico, que pueden presentar sus grupos carboxilos parcialmente esterificados como metoxilos (Figura 8).



En cambio, en las cadenas laterales se pueden encontrar también unidades de galactosa, ramnosa y arabinosa (Bello, 2000).

En las frutas, la mayoría de los grupos ácidos del ácido galacturónico están esterificados por metanol. Este metanol puede perderse con relativa facilidad por hidrólisis ácida o enzimática, dejando el grupo ácido libre.

En función del porcentaje de restos de ácido galacturónico esterificado, las pectinas se clasifican como "de alto metoxilo", cuando este porcentaje es superior al 50%, y "de bajo metoxilo", cuando es inferior (Bello, 2000).

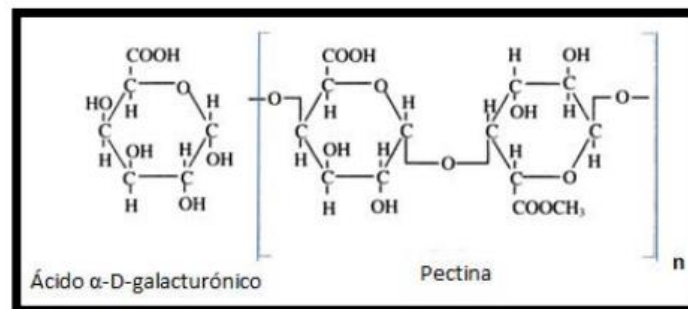


Figura 8. Estructura básica de las sustancias pépticas (Bello, 2000).

- Gomas: Las gomas son polisacáridos complejos, siempre heterogéneos y ramificados, que contienen diversos azúcares neutros y ácidos úronicos, que pueden estar metilados o acetilados. Proviene de la transformación de polisacáridos de la pared celular. La mayoría de las gomas se disuelven en agua, formando disoluciones viscosas. Son insolubles en disolventes orgánicos y se solidifica por desecación. Se incluyen en este grupo componentes que no suelen ingerirse con los alimentos naturales, sino que son el exudado que fluye naturalmente o por incisiones del tronco y las ramas de diversas plantas (Hernández y Sánchez, 2010).

De entre las diversas gomas destacan las siguientes:

- Goma arábiga, que se obtiene de las acacias (*Acacia senegal*).
- Goma de tragacanto de *Astragalus gummifer*.
- Goma esterculia de *Sterculia tomentosa*



- Mucílago: Son polisacáridos complejos en cuya composición entran, al igual que en las gomas, azúcares, como arabinosa y manosa, junto con ácidos urónicos, especialmente ácido galacturónico. Son agentes de retención hídrica, que desempeñan un papel muy importante en la germinación (Hernández y Sánchez, 2010).

Entre las principales fuentes de obtención de mucílagos, cabe destacar las siguientes:

- Diversas especies del género *Plantago*.
- Las flores de malva (*Malva silvestris*) y la raíz de altea (*Althaea officinalis*).
- La semilla del lino (*Linum usitaissimun*).

- Celulosa: Es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno+ entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua (Figura 9).

De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez (Soriano, 2006).

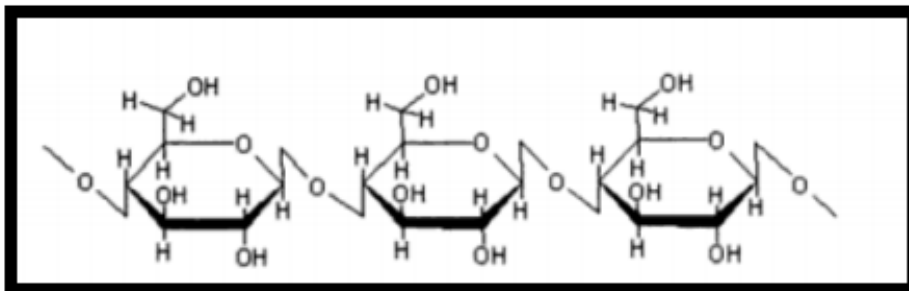


Figura 9. Estructura de la celulosa (Bello, 2000).



- Las hemicelulosas: forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas. La estructura química de las hemicelulosas consiste en cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos úronicos (Figura 10). Estos polisacáridos se encuentran en frutas, tallos de plantas, y las cáscaras de granos. Y se pueden extraer con soluciones alcalinas diluidas. Aunque las hemicelulosas no son digeribles, pueden ser fermentadas por levaduras y bacterias (Soriano, 2006).

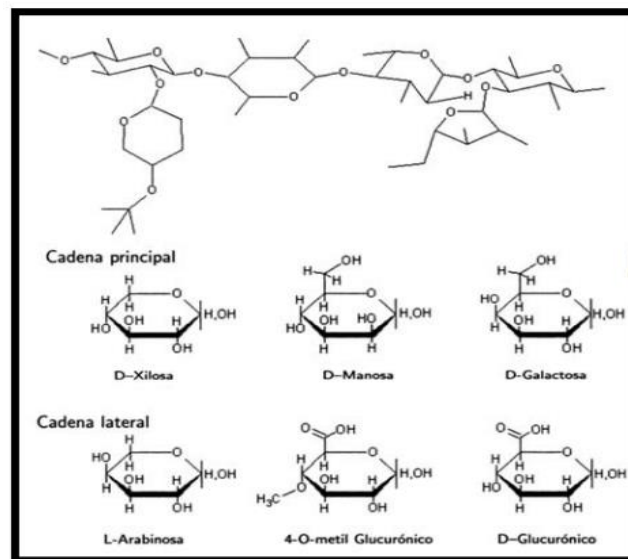


Figura 10. Estructura de hemicelulosa (Bello., 2000).

- Lignina: La lignina es el constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Se concentra en la lámela media y funciona prácticamente como relleno para impartir rigidez al tallo de la planta (Hernández y Sastre, 1999). La definición estructural de la lignina No es tan clara, debido a la complejidad que afecta su aislamiento, análisis de la composición, y la caracterización estructural, debido a que se encuentra covalentemente unida a la celulosa y otros polisacáridos de la pared celular.



Este polímero es altamente ramificado de los grupos fenilpropanoides (Figura 11) (Chávez y Domine, 2013).

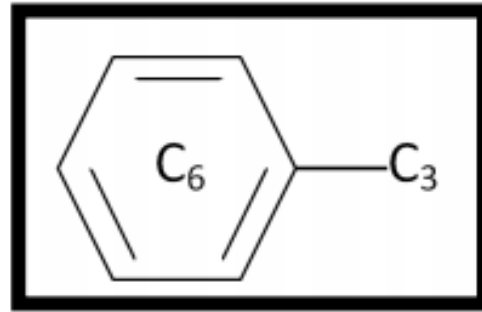


Figura 11. Estructura de fenilpropanoides (Taiz y Geiger, 2006).

Dependiendo de la composición de la fibra, será las propiedades funcionales que puede presentar, estas propiedades modifican algunas características de los alimentos, contribuyendo directamente en la calidad del producto final.

Por su parte, desde un punto de vista práctico sería una clasificación apropiada, tal como lo plantea García y Álvarez de Frutos (2000); derivándose conceptos ampliamente aceptados como: fibra fermentable, soluble y viscosa y fibras escasamente fermentables, insolubles y no viscosas.

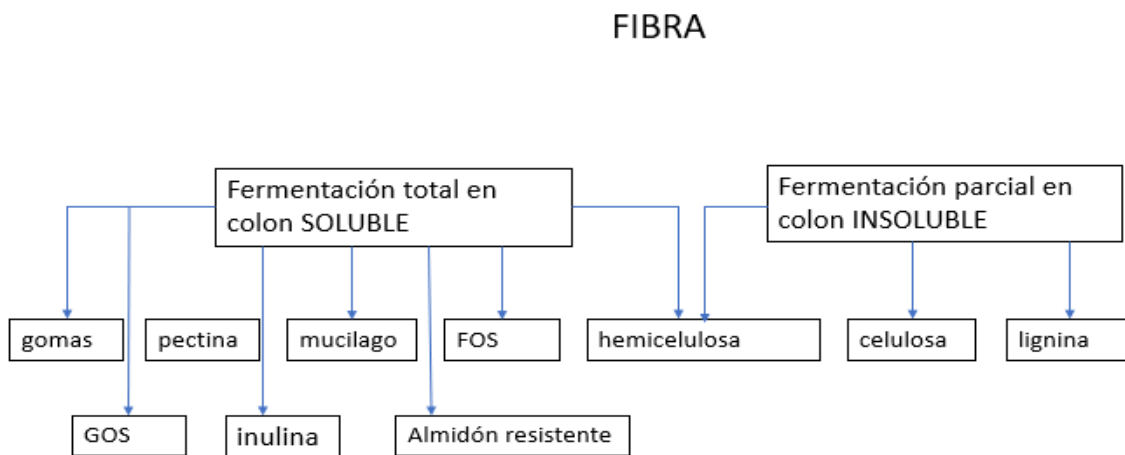


Figura 12. Clasificación de la fibra según grado de fermentabilidad (García Peris y Álvarez de Frutos, 2000).



Estas propiedades dependen de la composición de la fibra concreta que estemos administrando, no de la fibra en general. El grado de solubilidad en agua es muy variable para las distintas fibras (figura 13).

Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico.

Las fibras insolubles o poco solubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon (Kin, 2000).

2.2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA FIBRA

Las propiedades funcionales están vinculadas a la capacidad de las macromoléculas para fijar en sus estructuras una cierta cantidad de moléculas de agua y aceite. De este modo, tales macromoléculas presentarán unas propiedades muy específicas, dependientes tanto de su conformación estructural como de las interacciones con el agua o el aceite, estas propiedades se reflejan en parámetros como la capacidad de retención de agua y aceite, la capacidad de hinchamiento (Bello, 2000).

La expresión “capacidad de retención de agua” generalmente se emplea para hacer referencia a la cantidad de agua que una proteína o un hidrato de carbono (macromoléculas en general) puede retener sin que haya liberación del líquido. Dicha capacidad depende de factores intrínsecos (tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc.) y de factores extrínsecos (pH, fuerza iónica, temperatura, presencia



de ciertos cationes, etc.). La retención de agua puede causar la formación de un gel; tal es el caso de los producidos por las carrageninas y las pectinas. Las macromoléculas actúan entre sí y forman una red tridimensional en la que queda atrapada el agua debido a una fuerte hidratación de polímero (Badui, 2006).

La capacidad de retención de aceite está relacionada con la capacidad para absorber grasa bajo la acción de una fuerza mecánica; cuando esta retención es baja proporciona una sensación no grasosa en los productos fritos, cuando es alta, imparte a los productos jugosidad y mejor textura (Peraza, 2000).

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

Las propiedades funcionales de la fibra son las responsables de los efectos fisiológicos que desarrolla y están influenciadas por la matriz estructural de la fibra, la relación fibra soluble/fibra insoluble, el tamaño de partícula, la fuente, así como por el grado y el tipo de procesamiento llevado a cabo (Figuerola *et al.*, 2005; Saura *et al.*, 2003). Estos efectos fisiológicos traen consigo numerosos beneficios para la salud.

2.2.5 BENEFICIOS A LA SALUD POR CONSUMO DE FIBRA

Desde la publicación de los trabajos de Burkitt *et al.* (1976) diversos estudios epidemiológicos, han llamado la atención sobre los beneficios que el consumo habitual de fibra tiene sobre distintas enfermedades (Tabla 6).



Tabla 6. Beneficios a la salud por consumo de fibra.

BENEFICIOS DE CONSUMO DE FIBRA	
<p>Reducción del estreñimiento (Meier y Gassull,2004).</p>	<p>El consumo de fibra mejora el estreñimiento leve y moderado, debido al incremento de la masa fecal. Esto es así tanto con la fibra soluble como con la insoluble.</p> <p>La fibra insoluble, poco fermentable, es la que aumenta en mayor grado la masa fecal debido a los restos de fibra no digeridos y a su capacidad para retener agua.</p> <p>La fibra soluble, y en general fermentable, aumenta la biomasa bacteriana y la retención de agua.</p> <p>El aumento del volumen fecal y el consiguiente estiramiento de la pared intestinal, estimulan los mecano-receptores y se producen los reflejos de propulsión y evacuación.</p>
<p>Disminuye la diarrea (Zopf, 1996).</p>	<p>La fibra altamente fermentable, implica que al ser absorbidos se arrastre también sodio y agua. Se demuestra útil en los casos de diarrea, contribuyendo al mantenimiento de la función de barrera intestinal.</p> <p>La toma de antibióticos, se rompe el equilibrio entre los diferentes tipos de bacterias del intestino causando un descenso de los lactobacilos y bifidobacterias. Éstos son los que protegen de la colonización por patógenos, produciéndose infecciones por gérmenes oportunistas (fundamentalmente <i>Clostridium difficile</i>) provocando diarrea. Parece que el asociar a la dieta fibra fermentable, esencialmente FOS e inulina, juega un papel importante a la hora de controlar este tipo de diarrea.</p>
<p>Ayuda a controlar colitis (Roediger, 1980)</p>	<p>La colitis ulcerosa es una enfermedad inflamatoria del intestino que afecta a la capa mucosa del colon. La fibra ayuda a desinflamar.</p>



Tabla 6. Beneficios a la salud por consumo de fibra (Continuación)

<p>Diverticulosis (Aldoori, 1998)</p>	<p>La enfermedad diverticular es muy frecuente en los países occidentales y esto se ha asociado con una baja ingestión de fibra. Cuando existe un residuo insuficiente, el colon responde con la generación de contracciones más fuertes para poder propulsar distalmente el pequeño volumen de contenido intestinal. La fibra ayudaría a disminuir la presión intraluminal del colon, evitando la formación sacular a través de la pared intestinal. La fibra insoluble más útil en la enfermedad diverticular parece ser la proveniente de frutas y verduras y en menor grado la procedente de los cereales integrales.</p>
<p>Ayuda al control de azúcar en diabéticos (ADA, 2020)</p>	<p>En los últimos 30 años múltiples estudios han demostrado que la administración de fibra dietética podía reducir los niveles de glucemia en pacientes con diabetes tanto tipo 1 como tipo 2. La Asociación Americana de Diabetes (ADA) sigue recomendando un consumo de fibra entre 20-35 g/día tanto soluble como insoluble para mantener un mejor control glucémico e insulínico.</p>

2.2.5.1 RECOMENDACIONES DE INGESTA DIARIA RECOMENDADA.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingestión para los adultos diaria de 27 a 40 gramos de fibra dietética, mientras que la Food Drug and Administration (FDA), propone a individuos adultos un consumo de 25 gramos de fibra por día cada 2000 kcal/día. Por otra parte, el National Cancer Institute (NCI; Estados Unidos), considera un consumo óptimo entre 20-30 gramos al día para la prevención de cáncer de colon, sugiriendo no excederse de los 35 gramos al día de fibra dietaría.



La American Dietetic Association (ADA; Estados Unidos), recomienda a los adultos consumir una dieta que contenga de 20-30 gramos al día de fibra dietaría, de la cual 3-10 gramos deben ser de fibra soluble procedente de diversas fuentes vegetales. En el año 2002, la National Academy of Sciences (NAS; Estados Unidos), y Food Nutrition Board de los Estados Unidos estableció las nuevas recomendaciones de fibra dietética para los diferentes grupos biológicos, donde se propone en la ingesta adecuada (AI- Adequate Intake) una ingestión de fibra dietaría de 25-38 gramos al día para hombres y mujeres respectivamente (a partir de los 4 años), basándose en la observación de los niveles de ingestión que ejercen una protección de enfermedades coronarias. Para los niños de 1 a 3 años, la AI se situó en 19 gramos al día.

La American Health Foundation (AHF; Estados Unidos), aconseja para niños adolescentes, entre 3 y 20 años, una ingestión diaria de fibra de 5 a 10 gramos por día. La recomendación nutricional de fructanos, inulina y oligofructosa, posee diferencias actualmente. En Estados Unidos el consumo diario recomendado es de 1 a 4 gramos al día, mientras que en Europa se sugiere un consumo de 3 a 11 gramos al día.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. Información comercial y sanitaria, la IDR para fibra dietética en México es de 30 g.

2.2.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.

Los métodos tradicionales para la obtención de la fibra involucran operaciones como trituración para disminuir tamaño de partícula, lavado para eliminar carga microbiana, residuos y azúcares simples; filtración y secado para prolongar su vida útil y finalmente, la molienda y el envasado (Pérez, 2003).

Aunque actualmente también son empleados tratamiento como la extrusión, esterilización e hidrólisis en medios ácidos o alcalinos que se aplican en fuentes con alto contenido de fibra dietética insoluble con el fin de hidrolizar parte de esta fracción para obtener una mejor relación fibra dietética soluble con la fibra dietética



insoluble y para inducir a los residuos fibrosos propiedades funcionales deseables para un sistema alimenticio específico (Priego, 2007).

En forma más general Castells (2000) agrupa los tratamientos empleados para la solubilización y separación de uno o más de los componentes de los residuos en tres categorías: físico, químico, biológico (Tabla 7).

Tabla 7. Métodos de obtención de fibra (Zapata et al., 2008).

	<p>Tratamientos físicos</p>	<p>su principal uso es en el denominado pretratamiento de los residuos. No obstante, algunas veces tales técnicas se pueden usar como complemento a los métodos químicos y biológicos. Algunas operaciones de este tratamiento son: la absorción, adsorción, decantación, flotación, centrifugación, filtración, destilación entre otros.</p>
	<p>Tratamientos químicos</p>	<p>Consisten en provocar alteraciones en la naturaleza química de los mismos, mediante el uso de equipos y reactivos, se provocan reacciones, para convertirlos en otras sustancias que no sean perjudiciales para el medio ambiente o bien que permitan su reutilización en algún proceso industrial.</p>
	<p>Tratamientos biológicos</p>	<p>Aplican para ciertos productos orgánicos que pueden ser degradados en productos relativamente inocuos por la acción biológica de microorganismos. Los procesos que se usan en este tratamiento son: Fangos activados, tratamientos por bacterias, compostaje, complejos enzimáticos</p>



Existen diferentes técnicas para la extracción de fibra a partir de tejidos vegetales, en las cuales pueden utilizarse procedimientos fisicoquímicos, o enzimáticos (Zapata *et al.*, 2008).

Tabla 8. Métodos de extracción de fibra por método convencional y enzimático

Método	Condiciones	Referencia
Extracción de fibra por el método convencional	La muestra se homogeniza y se eliminó el jugo excedente, se toman 450 gramos de muestra que se sumerge en una solución de ácido/alcalino 1y 2% a 50 y 70°C durante 15 minutos y se somete a un secado por microondas por 15 min y se aplicó una reducción de tamaño en molino de cuchillas.	Aquino <i>et al.</i> (2012).
Extracción enzimática	Se basa en gelatinizar con α -amilasa termoestable, y luego digeridos enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón y se filtra y lava con etanol y acetona.	Sanchez Falcon (2018)

2.2.7 APLICACIONES DE FIBRA

Las fibras dietéticas pueden proporcionar una multitud de propiedades funcionales cuando se incorporan en los sistemas alimentarios. Además, contribuye a la modificación y mejora de la textura, las características sensoriales y la vida útil de los alimentos debido a su capacidad de absorción de agua, la capacidad de formación de gel, sustituto de grasa, antiadherente, contra la formación de grumos, de texturización y efectos espesantes (Dello *et al.*, 2004; Gelroth & Ranhotra, 2001; Thebaudin y Lefebvre 1997). La literatura contiene muchos informes acerca de las adiciones de fibra dietética a productos alimenticios tales como productos



horneados, bebidas, confitería, productos lácteos, productos lácteos congelados, carnes, pastas y sopas.

Desde una perspectiva de la funcionalidad, la fibra proveniente de cítricos puede desempeñar una serie de funciones, puede ser utilizado como una herramienta para mejorar la textura, como un agente de carga en aplicaciones de reducción de azúcar, para controlar la humedad en la sustitución de grasa, para añadir color, y como antioxidante natural (Viuda Martos *et al.*, 2010;

- **Bebidas.** En el caso de las bebidas, la adición de fibra dietética aumenta su viscosidad y la estabilidad, la fibra soluble sigue siendo la más utilizada porque es más dispersable en agua que la fibra insoluble. Algunos ejemplos de estas fibras solubles son aquéllos a partir de fracciones de granos y frutas (Bollinger, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006), pectinas (Bjerrum, 1993); β -glucanos, celulosa de remolacha fibra de la raíz (Nelson, 2001), povidextrosa (Mitchell, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006), etc.
- **Cárnicos.** La fibra dietética y preparaciones de proteína de soya, debido a sus propiedades funcionales son ampliamente utilizados en muchas ramas de la industria de alimentos, incluido el sector de la carne (Bilska *et al.*, 2011); La fibra de cítricos se puede incorporar en una amplia gama de productos. Por ejemplo, productos cárnicos (Alesón Carbonell *et al.*, 2005. Fernández-López *et al.*, 2007), peces (Sánchez -Zapata *et al.*, 2008; Viuda - Martos *et al.*, 2010).
- **Lácteos.** El uso de fibras en los productos lácteos también está muy extendido: por ejemplo, inulina introduce numerosas mejoras en productos lácteos. Mejora cuerpo y sensación en la boca de los análogos de queso o helado, y reduce la sinéresis en el yogur y otros productos lácteos fermentados (Blecker *et al.*, 2001).

La fibra de cítricos se puede incorporar en una amplia gama de productos. Por ejemplo, productos lácteos (Sendra *et al.*, 2008; Viuda Martos *et al.*, 2010). Aunque la fibra de cítricos en sí puede ser invisible en los productos



alimenticios, se está convirtiendo en uno de los ingredientes más apreciados en el mercado actual.

- **Confituras y mermeladas.** Para la elaboración de confituras y mermeladas, las fibras añadidas más comunes son aquellas que consisten en pectinas con diferente grado de esterificación, que proviene principalmente de frutas y son un factor en el mantenimiento de la estabilidad del producto final (Grigelmo - Miguel & Martina - Belloso, 1999; Rodríguez *et al.*, 2006).
- **Chocolates.** En el caso de chocolates bajos en calorías y derivados, compuestos de fibra, tales como la inulina y la oligofruktosa se usan como sustitutos de azúcar (Gonze & Van der Schueren, 1997; Rodríguez *et al.*, 2006).
- **Productos de panificación.** Más comúnmente, las fibras dietéticas se incorporan en productos de panadería para prolongar la frescura, gracias a su capacidad para retener el agua, reduciendo de este modo pérdidas económicas. Las fibras pueden modificar el volumen del pan, su elasticidad, la suavidad de la miga de pan y la firmeza de la barra de pan (Sangnark & Noomhorm, 2004; Wang *et al.*, 2002). Además, la introducción de la fibra dietética en productos cárnicos se ha demostrado que mejora el rendimiento de la cocción, la unión del agua, la unión de grasa, y la textura (Cofrades *et al.*, 2000).

Las fibras dietéticas de diferentes fuentes se han utilizado para sustituir a la harina de trigo en la preparación de productos de panadería utilizan la celulosa, el salvado de trigo y salvado de avena en la elaboración del pan. La cáscara de papa, un subproducto de la industria de la papa, rica en fibra dietética, se utilizó como fuente de fibra dietética en la elaboración de pan (Pomeranz *et al.*, 1977)

Entre los alimentos enriquecidos en fibra, los más conocidos y consumidos son el desayuno de cereales y productos de panadería tales como: panes integrales y



galletas (Cho & Prosky, 1999; Nelson, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006), así como la leche y los productos cárnicos derivados.

El enriquecimiento de productos de panadería ha consistido tradicionalmente en la adición de los cereales no refinados, pero se está empezando a utilizar otras fuentes de fibra dietaria, principalmente frutas, que presentan mejor calidad nutricional, una mayor cantidad de fibra total y soluble, menor contenido calórico, la capacidad antioxidante más fuerte y una mayor grado de fermentación y la retención de agua (Grigeldo - Miguel & Martina -Belloso, 1999; Larrauri *et al.*, 1996; Saura - Calixto, 1998; Rodríguez *et al.*, 2006). La adición de fibra dietaria a los productos de panadería que también mejora su calidad nutricional, ya que hace posible disminuir el contenido de grasa, mediante el uso de fibra dietaria como sustitutiva de la grasa sin pérdida de calidad Rodríguez *et al.*, 2006).

Componentes de fibra aislados tales como almidón resistente y β -glucanos también se utilizan para aumentar el contenido de fibra en bollería, cereales para el desayuno, etc. (Knuckles *et al.*, 1997 Rodríguez *et al.*, 2006).

2.3 CEREALES PARA DESAYUNO

2.3.1 DEFINICIÓN

Cereales de desayuno son los cereales en copos o expandidos elaborados a base de granos de cereales sanos, limpios y de buena calidad. En su elaboración se pueden incluir los cereales enteros o sus partes, y en algunos casos producto de molienda, siempre que hayan sido preparados mediante alguna técnica descrita en la reglamentación sanitaria que regula la elaboración y comercialización de cereales de desayuno (Velázquez, 2008).

2.3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN INDUSTRIAL

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 (Velázquez, 2008). En la figura 13 Y 14 se muestra la producción de cereales para desayuno por cocción del grano.

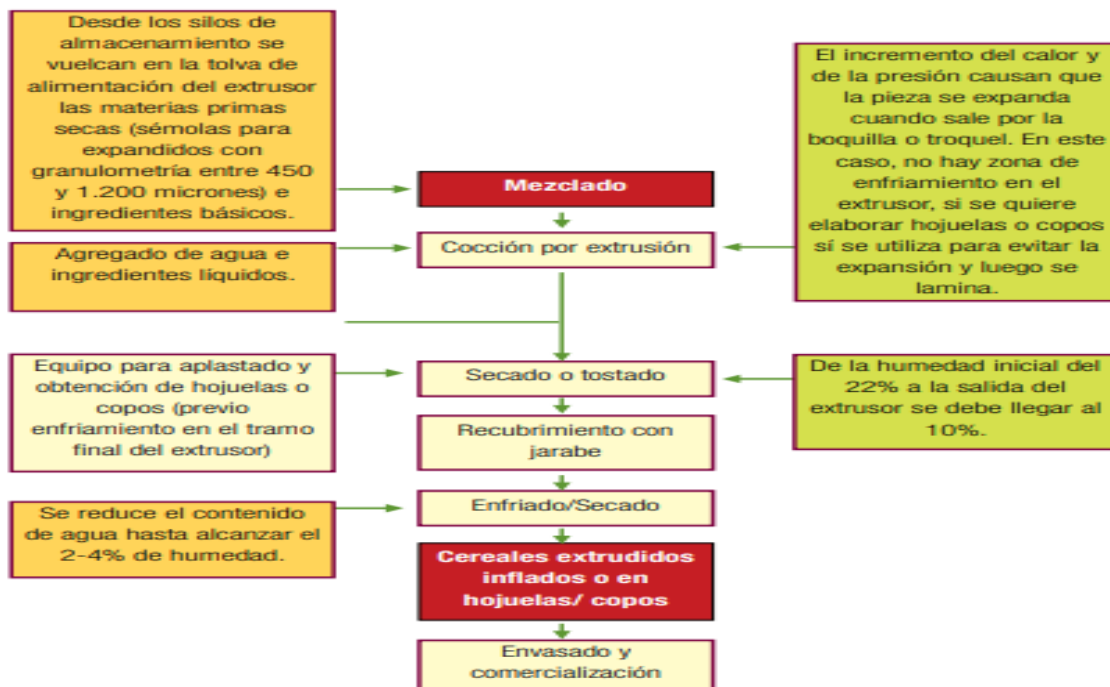


Figura 13. Producción de cereales para el desayuno por cocción por extrusión con expansión directa (SAGARPA., 2010).

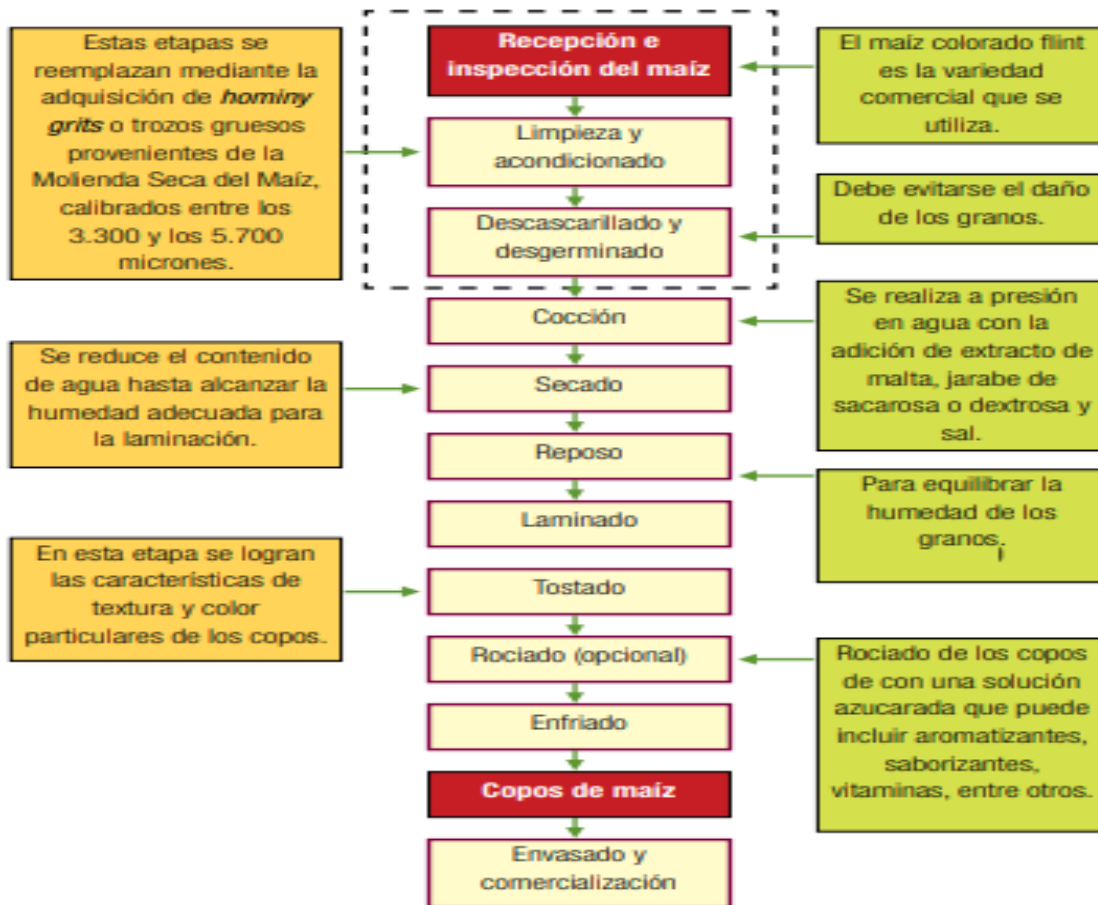


Figura 14. Producción de cereales para el desayuno por cocción del grano entero (SAGARPA., 2010).

2.3.3 NUTRICIÓN, COMPOSICIÓN Y NORMATIVIDAD.

- Los cereales y sus derivados son ricos en carbohidratos tanto de absorción rápida (tras la ingestión pasan a la sangre en poco tiempo) como de absorción lenta (fibra). El contenido de la fibra varía según el proceso industrial de preparación (Escribano *et al.*, 2013)



- El contenido proteico de los cereales es muy variable, entre un 6 y un 16% del peso, dependiendo del tipo de cereal y del procesamiento industrial. La composición en aminoácidos de las proteínas de los cereales depende de la especie y variedad; en general son pobres en aminoácidos esenciales, por lo que se las cataloga de proteínas de moderada calidad biológica (Escribano *et al.*, 2013).
- El contenido en grasas de los cereales naturales es muy bajo; algo más en el caso del maíz cuyo contenido en grasa es del 4% aproximadamente y por ello se utiliza para obtener aceite.
- Los granos de los cereales contienen muy poca agua, de ahí su facilidad de conservación.

Hoy en día los cereales expandidos, son la base del desayuno de niños, jóvenes y adultos, y constituyen por sí mismos un buen alimento, completo y recomendable, son una de las formas más completas de consumir cereales y suelen venir complementados con vitaminas y minerales, de tal forma que 30 gr 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 *et al.*, 2013)

2.3.3.1 NORMATIVIDAD DE CEREAL.

Dentro de las normas se encuentran las siguientes:

Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

NMX-F-350-S-1980. Alimentos. Cereales precocidos para infantes y niños de corta edad, hojuelas y/o granulados de harina de maíz con chocolate. Foods - pre-cokked



cereal for infants and children - corn flour flakes and/or granulates with chocolate normas mexicanas. Dirección general de normas.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, semolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.



III OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Determinar el método de extracción (químico y enzimático) de fibra a partir de la cáscara de jaca en dos estados fisiológicos (verde y madura), evaluando el rendimiento, y que permita seleccionar aquella con las mejores propiedades físicas y químicas adecuadas para su aplicación en un cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 1. Extraer fibra mediante el método químico variando estado de madurez (verde y maduro) de cáscara de jaca, evaluando, las propiedades químicas (fibra, azúcares) y propiedades funcionales (capacidad de: hinchamiento, retención de agua y retención de aceite) seleccionando el estado de madurez que permita obtener el mayor rendimiento y las propiedades adecuadas para el desarrollo de un cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 2. Evaluar el efecto del método enzimático variando el complejo enzimático (macrerex® y zymapect®) y el estado de madurez (verde y maduro) para la extracción de fibra de cáscara de jaca, evaluando, las propiedades químicas (fibra, azúcares) y propiedades funcionales (capacidad de: hinchamiento, retención de agua y retención de aceite), seleccionando el estado de madurez que permita obtener el mayor rendimiento y las propiedades adecuadas para el desarrollo de un cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 3. Seleccionar el método de extracción de fibra de la cáscara de jaca (enzimático y químico), en donde se obtenga un mayor rendimiento y mayor capacidad de retención de agua, para su aplicación en el desarrollo de un cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 4. Formular un cereal para desayuno adicionado con fibra de jaca variando la concentración de texturizador (1.5 y 2.0%) y el saborizante (cocoa y café), que sea de agrado para el consumidor a partir de una prueba sensorial.



OBJETIVO PARTICULAR 5. Caracterizar un cereal para desayuno adicionado de fibra de jaca, evaluando los parámetros químicos (humedad), y parámetros sensoriales (sabor, color, textura).



IV METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

EXTRACCIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA POR DIFERENTES MÉTODOS, PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

Determinar el método de extracción (químico y enzimático) de fibra a partir de la cáscara de jaca en dos estados fisiológicos (verde y madura), evaluando el rendimiento, y que permita seleccionar aquella con las mejores propiedades físicas y químicas adecuadas para su aplicación en un cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 1: Extraer fibra mediante el método químico variando estado de madurez (verde y maduro) de cáscara de jaca, evaluando, las propiedades químicas (fibra, azúcares) y propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento, retención de agua y retención de aceite) seleccionando el estado de madurez que permita obtener el mayor rendimiento y las propiedades adecuadas para el desarrollo de un cereal para desayuno.

Actividades experimentales:
Para la extracción se tomo jaca en estado verde y madura, para realizar una hidrólisis con una solución de HCl a 0.1 M a 65 °C, una vez obtenida se procedió a secar. A la fibra obtenida se evaluó las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, aceite y capacidad de hinchamiento) así como el rendimiento.

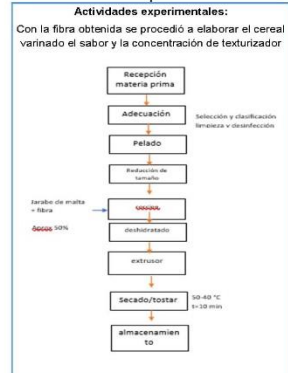
OBJETIVO PARTICULAR 2: Evaluar el efecto del método enzimático variando el complejo enzimático (macerox® y zymapect®) y el estado de madurez (verde y maduro) para la extracción de fibra de cáscara de jaca, evaluando, las propiedades químicas (fibra, azúcares) y propiedades funcionales (capacidad de: hinchamiento, retención de agua y retención de aceite), seleccionando el estado de madurez que permita obtener el mayor rendimiento y las propiedades adecuadas para el desarrollo de un cereal para desayuno.

Actividades experimentales:
Para la extracción enzimática se emplearon dos complejos enzimáticos (Macerex y Zimapect), los cuales se aplicaron en jaca madura y jaca verde, la fibra obtenida fue secada para posteriormente evaluar el rendimiento así como propiedades químicas y funcionales.

OBJETIVO PARTICULAR 3: Seleccionar el método de extracción de fibra de la cáscara de jaca (enzimático y químico), en donde se obtenga un mayor rendimiento y mayor capacidad de retención de agua, para su aplicación en el desarrollo de un cereal para desayuno.

Actividades experimentales:
Una vez obtenidas las condiciones tanto del método químico como del enzimático, se procedió a comparar ambos métodos para determinar aquel que permita desarrollar el cereal para desayuno.

OBJETIVO PARTICULAR 4: Formular un cereal para desayuno adicionado con fibra de jaca variando la concentración de texturizador (1.5 y 2.0%) y el saborizante (cocoa y café), que sea de agrado para el consumidor a partir de una prueba sensorial.



OBJETIVO PARTICULAR 5: Caracterizar un cereal para desayuno adicionado de fibra de jaca, evaluando los parámetros químicos (humedad), y parámetros sensoriales (sabor, color, textura).

Actividades experimentales:
El cereal obtenido fue evaluado sensorialmente, para establecer que formulación es la más aceptada por panelistas no entrenados.

PRUEBA SENSORIAL

EDAD: _____ SEXO: _____ FECHA: _____

INSTRUCCIONES: Frente a cada uno de los atributos de sabor, color y textura, indique el grado en que le gusta o disgusta a cada atributo de muestra, escribiendo el número correspondiente a cada atributo.

	COLORES	COLOR	COLORES	SABOR	TEXTURA	ACEPTABILIDAD
500						
451						
750						
157						

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES



4.1 MATERIAL BIOLÓGICO.

Para el experimento se emplearon jacas frescas las cuales fueron adquiridas en la Central de Abastos de la Ciudad de México, las cuales fueron seleccionadas, lavadas, peladas y separadas en fruto y cáscara, para posteriormente almacenar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso.

4.2 EXTRACCION DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA.

Para la extracción de fibra fue necesario realizar un pretratamiento de la cáscara de jaca en donde se cortó en pequeños trozos aproximadamente de $10 \times 10\text{ cm}$, y se almacenó a temperatura de -20°C .

La cáscara de jaca almacenada fue descongelada a temperatura ambiente, para posteriormente cortarla en trozos de aproximadamente $5 \times 5\text{ cm}$ para su procesamiento. Una vez obtenidas las cáscaras se procedió a obtener la fibra por los diferentes métodos propuestos.

4.2.1. MÉTODO QUÍMICO

Para la extracción de fibra de la cáscara de jaca por el método químico se tomó una muestra de jaca de 100 g la cual se mezcló con 250 mL de ácido clorhídrico al 0.1 mol y se molió; posteriormente se procedió a agitar manualmente la mezcla por 10 minutos a una temperatura de $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez transcurrido el tiempo la mezcla se precipitó con 500 mL de alcohol al 96% agitando manualmente por 30 minutos ; el precipitado se llevó a secar a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un horno de convección marca Luzeren por un tiempo de 4 horas ; la muestra seca se molió nuevamente y se almacenó en recipientes herméticos a temperatura ambiente.



A continuación, se muestra el diagrama de bloques, para la extracción de fibra por el método químico.

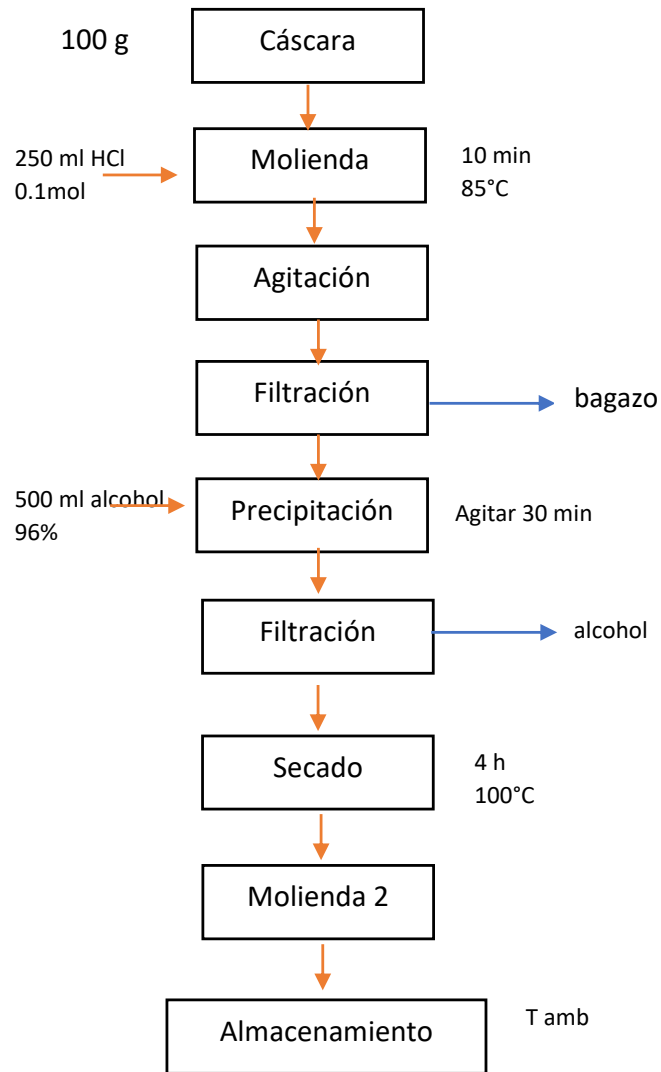


Figura 15. Diagrama de proceso de extracción de fibra por método químico.



4.2.2. MÉTODO ENZIMÁTICO

Para la extracción de fibra de la cáscara de jaca por el método enzimático, se propuso tomar una muestra de jaca de 100 g; la cual fue molida con 250 mL de ácido clorhídrico al 0.1 mol; para posteriormente agregar unas mezclas enzimáticas denominadas Macerex (Macerex ®PM) es un sistema enzimático estandarizado de actividades de pectinasa y celulasa, obtenido por fermentación controlada de

Aspergillus niger y *Trichoderma reesei*, producto diseñado para maceración o licuefacción de fruta). y se comparó con otro complejo denominado Zimapect (ZYMAPECT®PR es un sistema de enzimas pectinolíticas grado alimenticio obtenido de la fermentación controlada de *Aspergillus niger*), para dejar reposar la mezcla por 10 minutos, una vez terminada la hidrólisis enzimática, se procedió a la inactivación de las enzimas incrementando la temperatura de la muestra hasta 90 °C por 2 minutos; posterior se precipitó la fibra contenida en la mezcla con 500 mL de alcohol al 96% agitando manualmente por 30 minutos. El precipitado se secó en un horno de convección a 100 °C por 4 horas para su posterior una molienda y finalmente su almacenamiento a temperatura ambiente, en recipientes herméticos.

A continuación, se muestra el diagrama de bloques, para la extracción de fibra por el método químico enzimático.

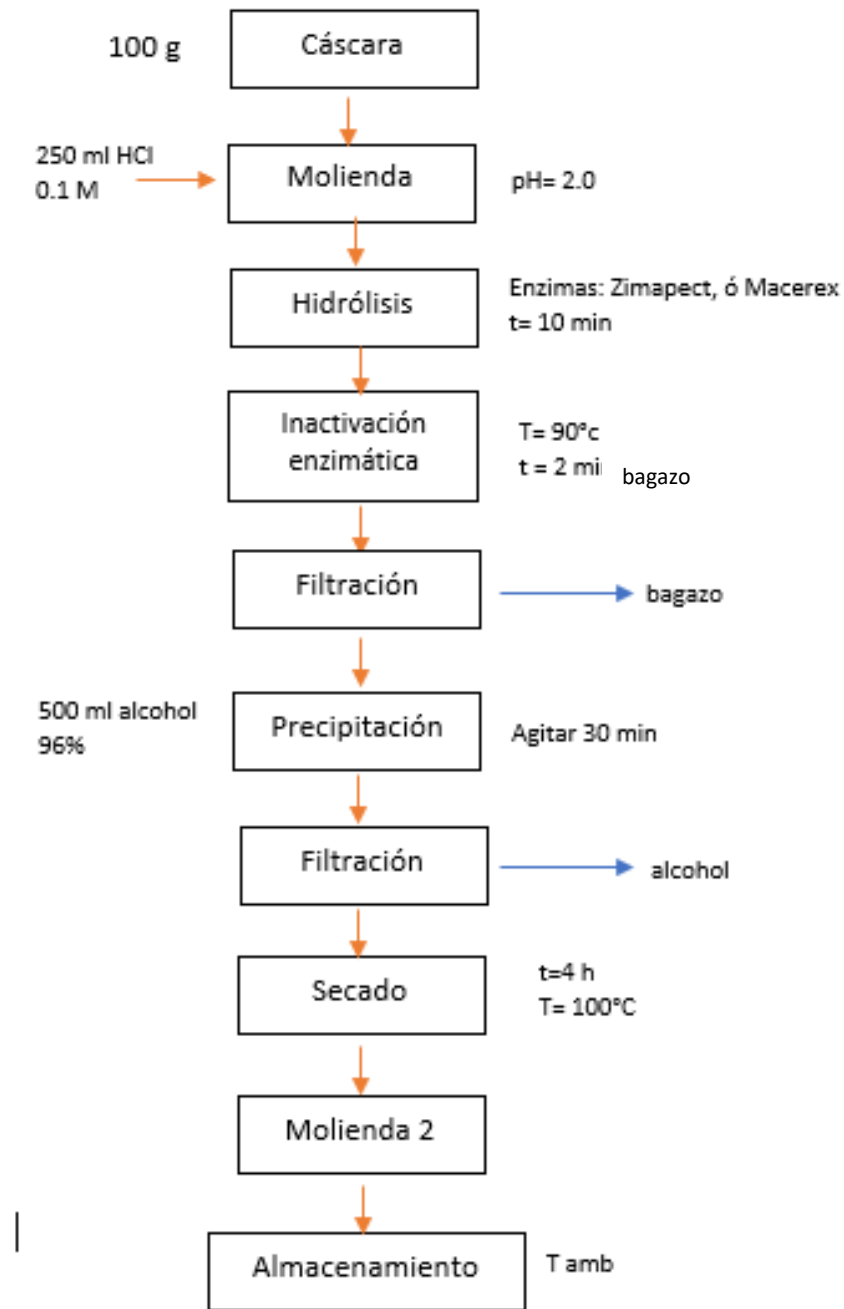


Figura 16. Diagrama de proceso de extracción de fibra por método enzimático.



4.3 CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA

Una vez obtenida la fibra por los diferentes métodos se procedió a caracterizar cada una de ellas para establecer cuales eran las propiedades funcionales de cada una de ellas, evaluando capacidad de hinchamiento, retención de agua y retención de aceite, así como el rendimiento obtenido por cada tratamiento. Las técnicas empleadas se describen en el apartado 4.6.

4.4 FORMULACIÓN DE UN CEREAL PARA DESAYUNO ADICIONADO DE FIBRA DE JACA

Una vez seleccionadas las condiciones de extracción de fibra de la cáscara de jaca, se procedió a aplicarla en la elaboración de un producto, el cual fue un cereal para desayuno. En la Tabla 10 se muestra la formulación propuesta para la elaboración.

Tabla 10. Formulación propuesta para la elaboración de para un cereal de desayuno con fibra de jaca.

Ingrediente	%
Fibra de jaca	6.10
Harina de maíz	27.28
Miel	12.69
Sal	0.41
Cocoa	2.54
Agua	48.63
Texturizador	2.36
Total	100

4.5. APLICACIÓN DE FIBRA DE JACA

Para la elaboración de cereal, primeramente, se toman todos los ingredientes de la formulación anteriormente mostrada, se pesaron y acondicionaron, después se mezcló todo, hasta crear una mezcla uniforme, posteriormente se llevaron a una



cocción, en donde ya se agregó la fibra de cáscara de jaca y la mezcla anterior, se llevó a una deshidratación y posteriormente a un proceso de extrusión, y una vez teniendo el cereal en forma deseada, se tostó y secó, posteriormente se almacenó a temperatura ambiente. En la figura 17 se muestra el diagrama de proceso.

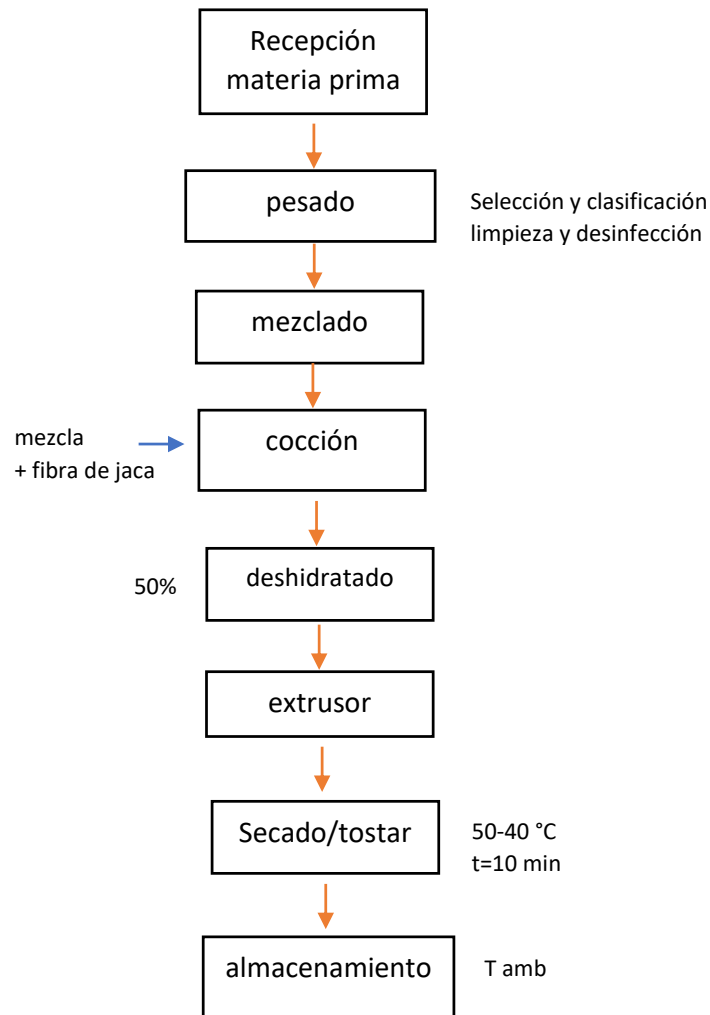


Figura 17. Diagrama de proceso para la elaboración de un cereal de desayuno con fibra de jaca.



4.6 CARACTERIZACIÓN DE CEREAL PARA DESAYUNO ADICIONADO DE FIBRA DE JACA

Una vez obtenido el cereal de desayuno adicionado con la fibra de jaca, se procedió a caracterizar químicamente el producto evaluando:

Análisis sensorial: prueba hedónica y la Humedad (NMX-F-428-1982) de acuerdo con las técnicas descritas en el apartado 4.7.

4.7. TÉCNICAS ANALÍTICAS

- **RENDIMIENTO**

Para determinar los rendimientos de cada condición de extracción (temperatura y concentración) fue necesario registrar el peso de la muestra inicial (peso de cáscara de base húmeda) de las muestras y al final de cada tratamiento (fibra polvo). El rendimiento muestra la relación que hay entre el peso final y la inicial, se expresa en porcentaje.

El rendimiento de la fibra extraída se calculó en base seca de materia prima, por duplicado, de acuerdo con el método de Seggiani et al. (2009):

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{fibra polvo (g)}}{\text{peso de cascara de base humeda}} \dots\dots \text{Ec. 1}$$

- **PORCENTAJE DE FIBRA.**

Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina fibra cruda (NMX-F-090-S-1978).

Para determinar el contenido de fibra cruda de las muestras, se pesó 1 g de la muestra, la cual fue sometida a una hidrólisis ácida empleando ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 0.255 N, una vez terminada la hidrólisis se filtró y se recuperaron los sólidos; lo cuales se sometieron a una segunda hidrólisis alcalina con NaOH a 0.313 N, para nuevamente filtrar y enjuagar los residuos, los cuales se llevaron a peso



constante para posteriormente incinerarlos y llevar nuevamente a peso constante. Los resultados se expresaron en porcentaje de fibra.

- **AZÚCARES DIRECTOS Y TOTALES**

Se basa en la propiedad que tienen los monosacáridos y otras sustancias reductoras presentes en soluciones de azúcar, en reducir el cobre en estado cúprico a óxido cuproso; donde la cantidad de cobre reducido está en proporción con los azúcares reductores, comúnmente expresados como azúcar invertido (NMX-F-278-SCFI-2012)

Este método utiliza los reactivos de Fehling A y B que serán estandarizados con la dilución de glucosa 1 % en una bureta, que es la solución patrón. Así añadiendo gotas de la solución de azul de metileno, diluir con agua destilada y llevar a ebullición. Se le agrega la solución de nuestra muestra de la cáscara de jaca, hasta que desaparezca la coloración azul del metileno. En el momento que desaparece el color del indicador se podrá observar un color rojo, esto quiere decir que existen azúcares reductores en la fibra de cáscara de jaca.

El resultado se muestra en porcentaje.

- **CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO**

Indica la capacidad de la fibra para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua; se determinó colocando 0.2 g de la fibra de jaca en una probeta graduada, se adicionaron 20 mL de agua destilada registrando su volumen inicial (Vi) luego se agitó suavemente y se dejó en reposo durante 18 horas a temperatura ambiente, posteriormente se midió el volumen que ocupó la muestra (Vf). La capacidad de hinchamiento se reportó como la relación del volumen ocupado por la muestra entre el peso de la muestra seca (Robertson *et al.*, 2000).

$$CH = \frac{\text{Volumen inicial} - \text{volumen final}}{\text{muestra g}} (100) \dots \text{Ec. 2}$$



- **CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA**

La capacidad de absorción de agua se expresa como la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de muestra seca en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza externa como la centrifugación. Para su determinación se pesó 0.1 g de muestra seca en tubos para centrifuga, se adicionaron 2.5 mL agua destilada y se agitaron. Luego se dejó reposar a temperatura ambiente por 18 horas para después centrifugarlos a 3000 rpm durante 20 minutos, en una centrifuga (marca Daigger 4350). A las muestras centrifugadas se les eliminó el sobrenadante. El residuo fresco se pesó, se secó (2 h, 120 °C) y se volvió a pesar. La capacidad de retención de agua se reportó como los gramos de agua retenida por gramo de residuo seco (Robertson *et al.*, 2000).

$$CRAgua = \frac{\text{peso de residuo de centrifuga} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} (100) \dots \text{Ec. 3}$$

- **CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE ACEITE.**

La capacidad de absorción de aceite indica la máxima cantidad de aceite que puede ser retenida por gramo de muestra seca en presencia de un exceso de aceite, después de ser sometida a una fuerza externa que es la centrifugación. Para su evaluación se pesaron 0.1 g de muestra en tubos de centrifuga y se le adicionaron 2.5 mL de aceite de maíz. Se agitaron durante 30 minutos (30 segundos cada 5 minutos). Posteriormente se centrifugó los tubos a 2000 rpm durante 25 minutos y se eliminó el sobrenadante, en una centrifuga (marca Daigger 4350). El aceite absorbido de las muestras se determinó por diferencia de peso. La capacidad de absorción de aceite se expresó como gramos de aceite absorbidos por gramo de muestra seca (Abdul, 2000).

$$CRAceite = \frac{\text{peso de residuo de centrifuga}}{\text{muestra}} (100) \dots \text{Ec. 4}$$



- **Humedad. (Termobalanza).**

La técnica se basa en colocar una porción de muestra en la termobalanza, la cual se pesa de manera inicial, se expone a una temperatura establecida dependiendo del tipo de alimento y se deja durante un periodo de tiempo. Para determinar la cantidad de agua perdida, el peso del alimento deberá ser estable durante 2 minutos variando en 0,002 g su peso (NMX-F-428-1982).

- **Análisis sensorial.**

Para el análisis sensorial se realizó la prueba a 13 panelistas no entrenados (A causa de la pandemia y el cierre de la FESC solamente se pudieron aplicar este número de evaluaciones), donde la escala hedónica utilizada fue la siguiente:

1. Me gusta mucho
2. Me gusta
3. Me es indiferente
4. Me disgusta
5. Me disgusta mucho

PRUEBA SENSORIAL

EDAD:

SEXO:

FECHA:

INTRUCCIONES: Frente a usted tiene cuatro cereales, por favor pruebe cada uno de ellos, indique el grado en que le gusta o disgusta a cada atributo de muestra, escribiendo el número correspondiente a cada atributo.

CODIGO	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA	ACEPTABILIDAD
890					
461					
739					
197					



4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar el efecto de los métodos de extracción de fibra, se realizó un análisis de varianza ANOVA por medio del programa estadístico SPSS con un intervalo de confianza del 95 %, empleando pruebas de rango múltiple Tukey.



V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La jaca es una fruta climatérica, por lo que puede seguir madurando una vez cortada del árbol. Para aprovechar los residuos que se generan a partir del uso de la pulpa, se evaluaron diferentes métodos de extracción de la fibra de la cáscara en dos estados de madurez; en el momento que alcanzó su madurez fisiológica y la cáscara es verde, y cuando se presentó una cáscara amarilla con pequeñas manchas oscuras a la que se le denominó madura (madurez comercial).

5.1. CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA EXTRAÍDA POR MÉTODO QUÍMICO EN DOS ESTADOS DE MADUREZ.

a) Porcentaje de rendimiento.

Proctor y Peng (1989) manifiestan que cuando la fruta va madurando los componentes de la pared celular y de la lámina media de la célula vegetal experimentan notables variaciones estructurales que ocasionan cambios en la textura de la fruta; las sustancias pépticas hemicelulosa y de celulosa son sometidos a proceso de despolimerización que contribuye al ablandamiento de la fruta, sin embargo, en este caso la fibra extraída en los frutos en diferente estado de madurez fue similar, lo que indica que la degradación de la pared no se ve reflejada en este componente.

En la figura 18 se observa que no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el rendimiento del proceso de extracción de la fibra obtenida utilizando la jaca en diferente estado de madurez. Los rendimientos de la extracción de la fibra por el método químico fueron en promedio para jaca verde 8% y jaca madura 8.1%.

Comparando con Aquino *et al.* (2012) en su título “extracción y caracterización de fibra de nopal, menciona que en la extracción de fibra a una condición química de



NaOH se obtuvo mayor rendimiento de 14% al aplicarlo en una concentración de 2% y temperatura de 70%, en comparación con NaOH al 1% y con 50° C de temperatura, que fue de 3.8%. Sin embargo, nuestro valor de rendimiento de fibra es del 8%, que es más bajo que su condición de NaOH al 2% y 70°C.

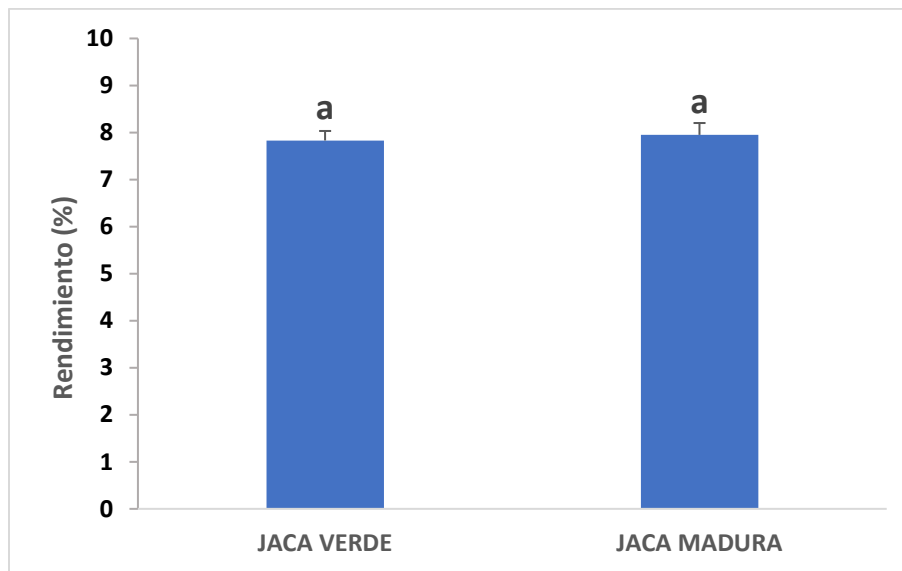


Figura 18. Evaluación del rendimiento de fibra de cáscara de jaca por el método químico. Las letras iguales en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por estado de maduración.

b) Cuantificación de fibra cruda.

Los residuos vegetales son una fuente rica de compuesto como la fibra está constituida principalmente de biopolímeros, como lo es la hemicelulosa, celulosa, lignina, pectina y otras gomas que varían en proporción dependiendo de la fuente. Proctor y Peng (1989) mencionan que, aunque la fibra cruda solo representa una parte de la fibra total de los residuos de la cáscara de jaca, este parámetro fue la característica principal para elegir el estado de madurez más óptimo para la extracción de fibra. Debido a que es información de referencia y además es una técnica rápida para aplicar .



Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 19, en donde se observó que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de fibra cruda de los extractos obtenidos por el método químico aplicado a jacas en dos estados de madurez, teniendo un promedio aproximado de 13 %.

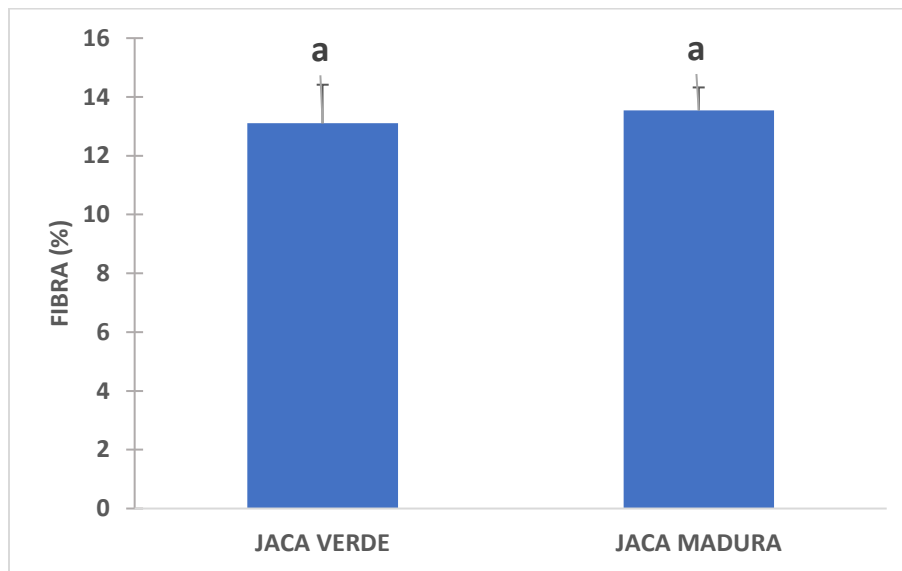


Figura 19. Cuantificación de la fibra cruda presente en la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método químico. Las letras diferentes indican que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

c) Cuantificación de azúcares directos y totales.

La fruta madura normalmente es fibrosa y está compuesta de azúcares como glucosa, fructosa, xilosa, ramnosa, arabinosa y galactosa (Swami *et al.*, 2012). En las figura 20 se muestran los resultados del porcentaje de azúcares reductores totales, en donde se registró que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de azúcares reductores directos, en donde la fibra de la jaca verde presentó 10% en comparación con la fibra extraída por la jaca madura que fue de 6%. En cuanto a los resultados obtenidos para azúcares reductores totales (figura 20 B), se observó que la jaca madura presentó mayor concentración de estos



compuestos siendo 8% más comparado con la fibra extraída de la de la cáscara del fruto verde, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

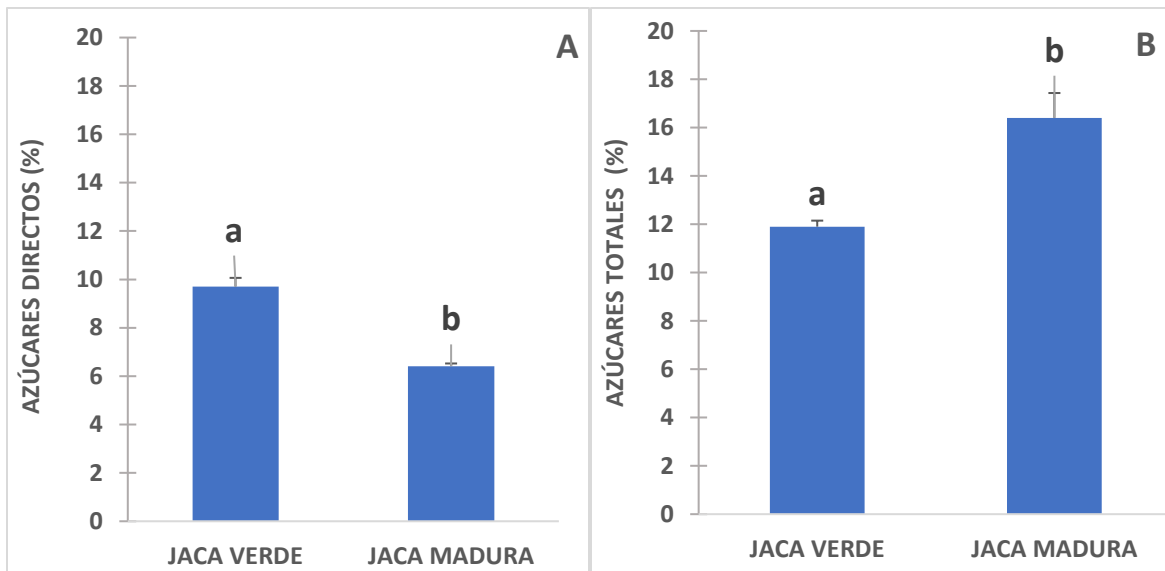


Figura 20. Cuantificación de azúcares directos (A) y totales (B) en la fibra de jaca en dos estados de madurez por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p (\leq 0.05)$.

d) Capacidad de hinchamiento.

La capacidad de hinchamiento se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de exceso de agua. Esta propiedad es influenciada por la cantidad de componentes, porosidad y tamaño de partícula de la fibra (Baena & García, 2012).

En la figura 21 se muestra que la fibra extraída por el método químico presentó 1 % mayor capacidad de hinchamiento en la cáscara de la jaca madura comparada con la cáscara de la jaca verde.

Por lo que, se observa que, en la fibra de la jaca madura, su capacidad de hinchamiento es significativamente mayor, en comparación con la fibra de la jaca verde, siendo una propiedad muy importante tecnológicamente para el desarrollo de nuevos productos, pues está ligada a la absorción de nutrientes a nivel intestino.



Unos elevados valores de capacidad de hinchamiento han sido asociados con la reducción de colesterol en sangre (Elleuch *et al.*, 2011).

Comparando este resultado con Rasgado (2016), en su trabajo de extracción de fibra residuos de piña, menciona que la fibra obtenida en la condición de Ácido Clorhídrico al 1 % y 50 °C de temperatura, se reportó una capacidad de hinchamiento de 1.51 %. y comparando con nuestros resultados, existe diferencia del 1% respecto a la fibra obtenida con la jaca madura por el método químico.

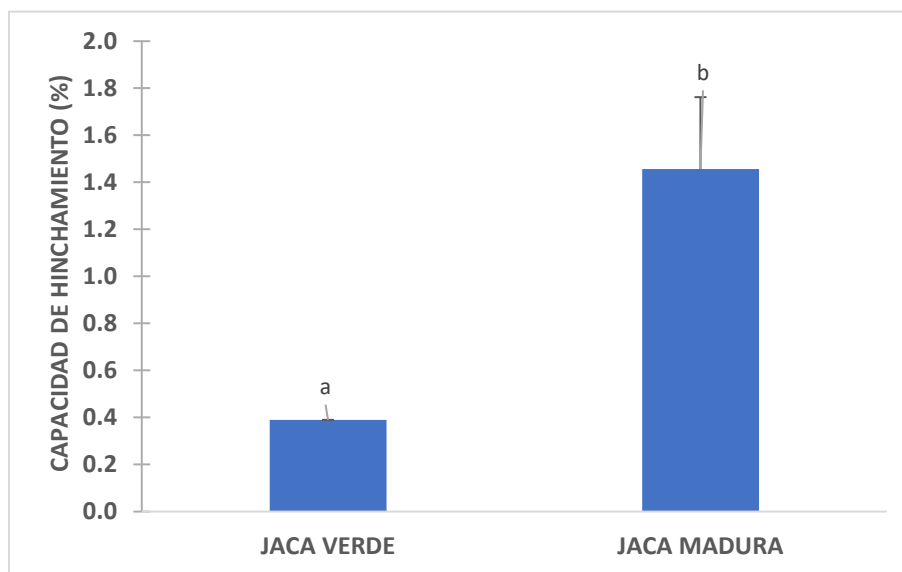


Figura 21. Comparación de capacidad de hinchamiento de la extracción de fibra de cáscara de jaca de la extracción por el método químico.

Las letras diferentes indican diferencia significativa $p (\leq 0.05)$.

e) Capacidad de retención de agua.

El objeto de evaluar la capacidad que tiene la fibra de retener agua es para predecir el aumento de peso de las heces. Esta capacidad es mucho mayor en fibras solubles que en fibras insolubles. La naturaleza de la fibra y la forma como esta se encuentra ligada a las moléculas de agua influye en la CRAg. De esto depende su grado de asociación con efectos saciantes, aumentando así el tamaño del bolo



alimenticio mejorando flujo intestinal e incrementando el volumen y peso de las heces, además de su efecto laxante (Baena & García, 2012).

En la figura 22 se observa que la fibra obtenida de la cáscara de jaca madura presentó 8.5 %, mayor retención de agua que la fibra de jaca verde, se puede decir que si existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) comparando ambas fibras extraídas.

De acuerdo con Rasgado (2016) para la fibra de piña obtenida por el tratamiento ácido la concentración y la temperatura provocaron que la retención de agua en la fibra tratada con 1% de ácido clorhídrico a 70 °C fuera de 78 %, comparando con el 71 % de retención de agua de la fibra de cáscara de jaca madura, existe diferencia.

La capacidad de retención de agua (CRAg), expresa la máxima cantidad de agua, en mL, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza patrón. Los resultados se expresan en mililitros de agua por gramo de muestra seca (Zúñiga, 2005). De esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación a un alimento. La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento.

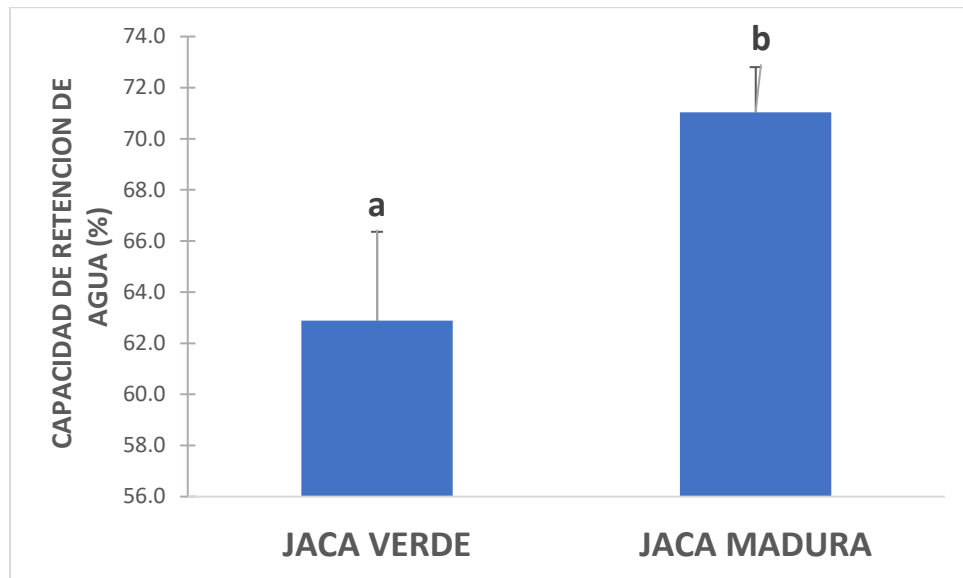


Figura 22. Comparación de capacidad de retención de agua de fibra de cáscara de jaca extraída por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p (\leq 0.05)$.

f) Capacidad de retención de aceite.

La capacidad de retención de aceite (CRAc), es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite, bajo la acción de una fuerza. Es sabido que las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa, la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de grasa que las fibras solubles, sirviendo como emulsificante. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas. La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos cárnicos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Baena & García, 2012).



En la figura 23 se muestra que la CRAc fue 1.9 % mayor en la fibra extraída de la cáscara de jaca verde comparada con la jaca madura, presentando diferencia significativa por el estado de madurez.

El resultado de Rasgado (2016) en la fibra de piña, menciona que: La capacidad de retención de aceite de la fibra de piña obtenida con el tratamiento ácido (HCl) presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la temperatura de extracción, siendo la condición de 1 % de ácido y 70 °C la que permitió obtener una fibra con la mayor capacidad de retención de aceite de 3.1 %.

Mientras que la de fibra de jaca verde es de 4.9 % y de jaca madura es de 3 %, por lo que se puede aprovechar para proporcionar una sensación no grasosa en productos fritos (Baena & García, 2012).

De esta manera se concluye que la fibra extraída por método químico a partir de las cáscaras de las jacas presentó similar rendimiento y porcentaje de fibra; por otra parte en azúcares totales directos fue mayor en la fibra extraída en el estado de madurez fisiológico (verde) y en azúcares totales reductores fue mayor en la fibra extraída de la cáscara de jaca en el estado de madurez comercial (maduro).

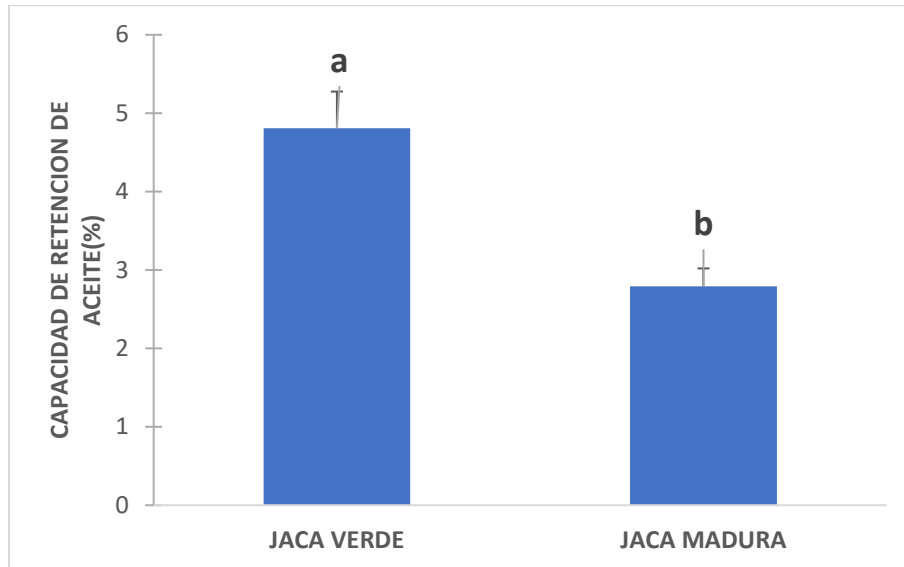


Figura 23. Capacidad de retención de aceite de la fibra de cáscara de jaca extraída por el método químico. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p (\leq 0.05)$

En cuanto a las propiedades funcionales la capacidad de hinchamiento es mayor en la fibra obtenida de la cáscara de jaca madura, la capacidad de retención de agua es mayor en la fibra obtenida de cáscara de jaca madura y en cuanto a la capacidad de retención de aceite fue mayor en la fibra procedente de la cáscara de jaca verde. Se concluye que la mejor obtención de fibra por el método químico es con la fibra de cáscara de jaca madura, debido a que tiene buen rendimiento, buen porcentaje de fibra, alta capacidad de hinchamiento, así como la capacidad de retención de agua, que son características sumamente importantes para la fibra pues ayudan a la digestión.



5.2. CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA EXTRAÍDA POR MÉTODOS ENZIMÁTICOS.

a) Porcentaje de rendimiento.

La extracción enzimática de la fibra ha sido ampliamente reconocida y aceptada debido a la alta selectividad y las condiciones de reacción han sido fácilmente medidas y controladas. Presenta la ventaja de no destruir la estructura natural de la fibra, por lo que no hay pérdida importante de fibras funcionales, dietaría y hemicelulosas (Liu, 2008).

En la figura 24 se observa que si hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el rendimiento del proceso de extracción de la fibra obtenida, utilizando la jaca en diferente estado de madurez. Los rendimientos de la extracción de la fibra por el método enzimático utilizando las enzimas Macerex y Zymapect demuestran que la fibra obtenida de la cáscara de jaca madura tiene un 2% y 4%, respectivamente más de rendimiento que la fibra obtenida de la cáscara de jaca verde.

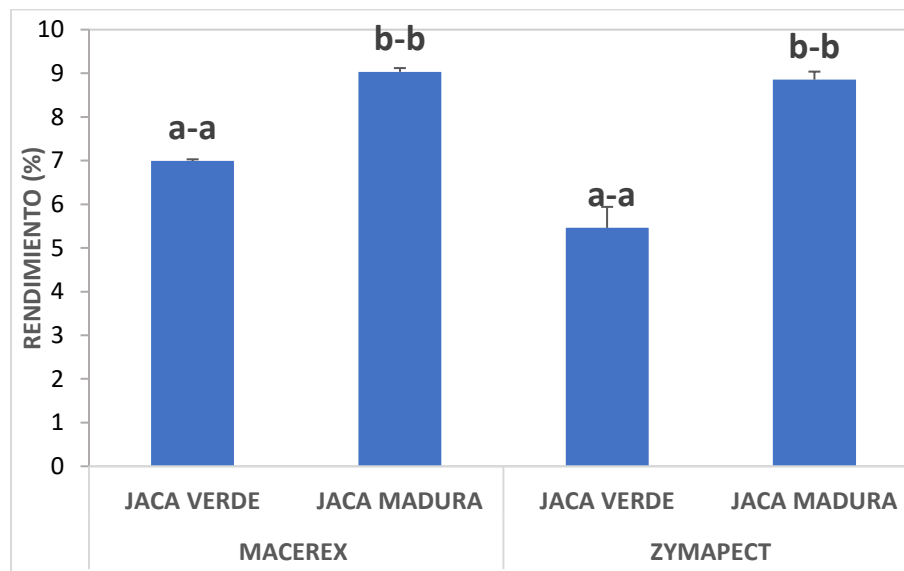


Figura 24. Rendimiento del proceso de extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimático empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa (0.05) para el estado de maduración.



b) Cuantificación de fibra.

La fibra está considerada como una clase de compuestos que incluye una mezcla de polímeros de hidratos de carbono de las plantas como son los oligosacáridos y polisacáridos, por ejemplo, celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas, gomas, almidón resistente e inulina. Estas fibras pueden ser clasificadas como solubles e insolubles, las cuales al ser integradas a los alimentos podrían dar la característica de alimentos funcionales. Se sabe que aunque la fibra cruda solo representa una parte de la fibra total de los residuos de la cáscara de jaca, este parámetro fue la característica principal para elegir el estado de madurez y la mezcla enzimática más óptima para la extracción de fibra. Debido a que es información de referencia y además es una técnica rápida para aplicar .

En la figura 25, se observa que si hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de fibra obtenido del proceso de extracción enzimático, utilizando la jaca en diferente estado de madurez.

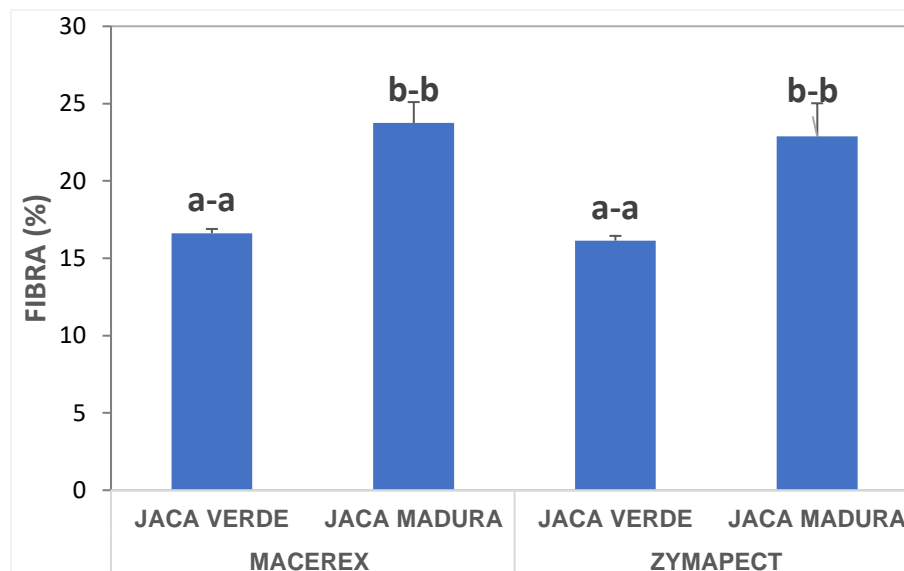


Figura 25. Comparación de % de fibra, para la extracción de fibra de cáscara de jaca, por el método enzimático, empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa (0.05) para el estado de maduración.



Los porcentajes de extracción de fibra por el método enzimático utilizando las enzimas Macerex® y Zymapect® demuestran que el porcentaje de fibra cruda obtenido de la cáscara de jaca madura tiene un 7 % y 8 %, respectivamente más de rendimiento que la fibra obtenida de la cáscara de jaca verde.

c) Cuantificación de azúcares directos y totales.

En la figura 26 se muestran los resultados del porcentaje de azúcares reductores totales, en donde se registró que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de azúcares reductores directos utilizando enzima Macerex®, donde la fibra de la jaca verde presentó 16 % en comparación con la fibra extraída por la jaca madura que fue de 15%. Por otro lado, en el contenido de azúcares reductores directos utilizando Zymapect® si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$), donde la fibra de la jaca verde presentó 13 % en comparación con la fibra extraída por la jaca madura que fue de 14 %.

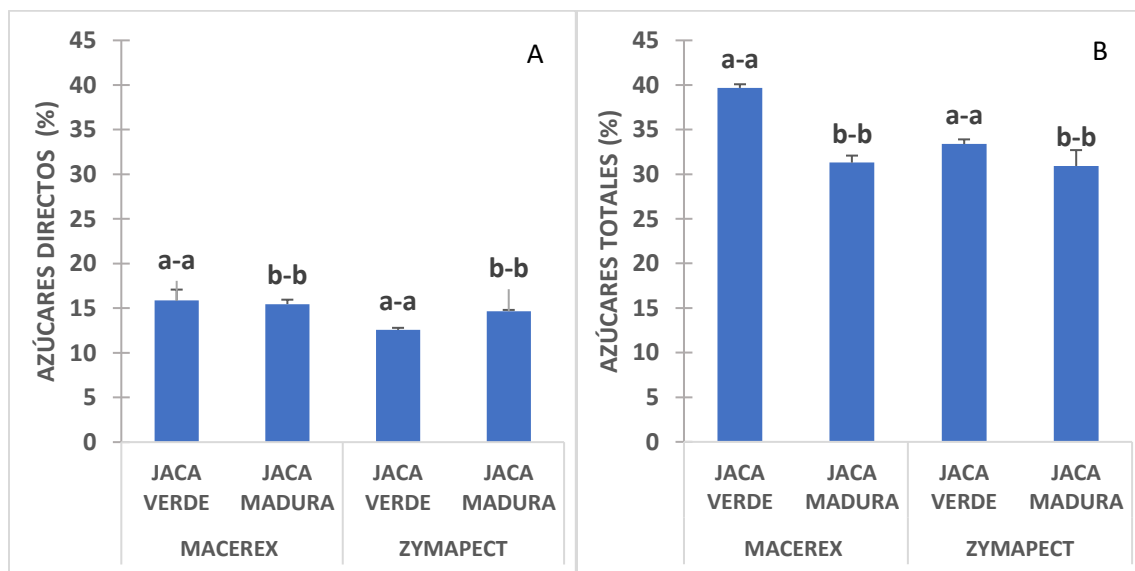


Figura 26. Contenido de azúcares reductores directos (A) y totales (B) de fibra de cáscara de jaca extraída por el método enzimático, empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa (0.05) para el estado de maduración.



En cuanto a los resultados obtenidos para azúcares reductores totales (figura 26 B), en donde se observó que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de azúcares reductores totales utilizando enzima Macerex®, donde la fibra de la jaca verde presentó 39% en comparación con la fibra extraída por la jaca madura que fue de 32%. Por otro lado, en el contenido de azúcares reductores totales utilizando Zymapect si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$), donde la fibra de la jaca verde presentó 33% en comparación con la fibra extraída por la jaca madura que fue de 30%

d) Capacidad de hinchamiento.

A mayor cantidad de fibra dietética insoluble mayor será la capacidad de hinchamiento, también influye la forma y el tamaño de las partículas. Y, por otro lado, la capacidad de hinchamiento se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de exceso de agua. Esta propiedad es influenciada por la cantidad de componentes, porosidad y tamaño de partícula de la fibra (Baena & García, 2012).

En la figura 27 se muestra que la fibra extraída por el método enzimático utilizando enzima Macerex, la capacidad de hinchamiento de la fibra de jaca verde fue 65% mayor que de la fibra de jaca madura. Con respecto a la fibra extraída por el método enzimático utilizando enzima Zymapect, la capacidad de hinchamiento de la fibra obtenida de la cáscara de jaca verde fue de 40% mayor que la fibra obtenida de la cáscara madura.

Por lo que, se observa que, en la fibra de la cáscara de jaca verde, su capacidad de hinchamiento es significativamente mayor, en comparación con la fibra de la cáscara de jaca madura, para ambos complejos enzimáticos siendo una propiedad muy importante tecnológicamente para el desarrollo de nuevos productos.

La capacidad de retención de agua, que es una propiedad de la fibra dietética que facilita el tránsito del bolo alimenticio, incrementando el volumen del residuo de la



digestión y disminuyendo la presión la presión en el tracto gastrointestinal (Hernández y Sastre, 1999).

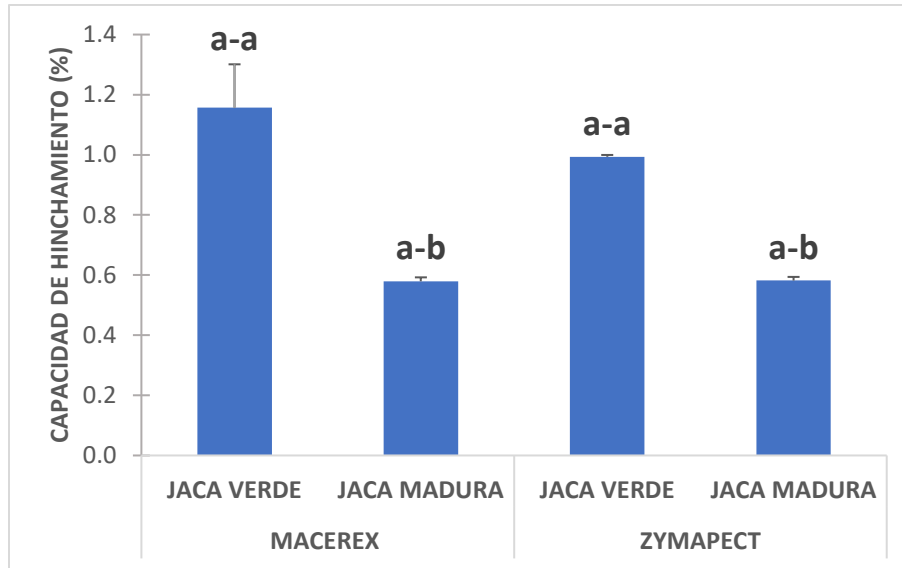


Figura 27. Comparación de capacidad de hinchamiento para la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimáticos empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa (0.05) para el estado de maduración.

e) Capacidad de retención de agua.

En la Figura 28 se observan los resultados obtenidos utilizando enzima Macerex para esta evaluación. Para la retención de agua de la fibra obtenida de la cáscara de jaca verde se observa que es de 62%, mientras que para la fibra de jaca madura es de 50%; por otro lado, la capacidad de retención de agua para la fibra obtenida utilizando enzima Zymapect en la fibra de jaca verde el resultado es de 70% y para la fibra de jaca madura es de 43%

La capacidad de retención de agua está relacionada con la cantidad de fibra soluble, a mayor cantidad de fibra soluble aumenta la capacidad de retención de agua, debido a la propiedad de formar geles (Hernández y Sastre, 1999).



Por lo tanto, se observa que, en la fibra de la cáscara de jaca verde, su capacidad de retención de agua es significativamente mayor, en comparación con la fibra de la cáscara de jaca madura, para ambos complejos enzimáticos siendo una propiedad muy importante tecnológicamente para el desarrollo de nuevos productos. Pues la capacidad de retención de agua está relacionada con la cantidad de fibra dietética soluble, a mayor cantidad de fibra soluble aumenta la capacidad de retención de agua.

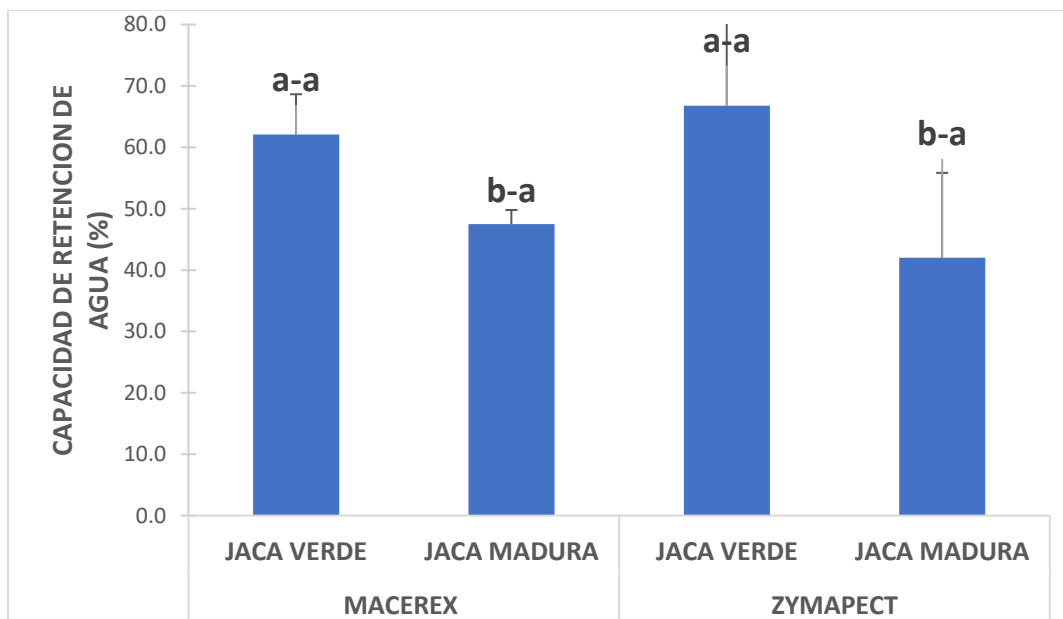


Figura 28. Comparación de capacidad de retención de agua para la extracción de fibra de cáscara de jaca por el método enzimático empleando Macerex® y Zymapect®. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el estado de maduración.

f) Capacidad de retención de aceite.

La capacidad de retención de aceite (CRAc), es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite, bajo la acción de una fuerza. Es sabido que las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa, la grasa es atrapada en la superficie de la fibra



principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de grasa que las fibras solubles, sirviendo como emulsificante. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas. La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Baena & García, 2012).

En la Figura 29 se muestran los resultados obtenidos utilizando enzima Macerex para esta evaluación. Para la retención de aceite de la fibra obtenida de la cáscara de jaca verde se observa que es 1.6 veces que, para la fibra de jaca madura por otro lado, la capacidad de retención de aceite para la fibra obtenida utilizando enzima Zymapect fue 5.4 veces mayor en la fibra de jaca verde comparada con la fibra de jaca madura.

De modo que, en la fibra de la cáscara de jaca madura, su capacidad de retención de aceite es significativamente menor, en comparación con la fibra de la cáscara de jaca verde, para ambos complejos enzimáticos. Lo que es importante porque la retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura para los alimentos fritos o secos.

De esta manera se concluye que la fibra extraída por método enzimático utilizando complejo Macerex y Zymapect, se comportaron de manera similar, siendo así que: el rendimiento de fibra, y el porcentaje de fibra cruda, fue mayor en la cáscara de jaca madura en ambos complejos enzimáticos.

Por otro lado, los azúcares directos en la fibra obtenida por el complejo enzimático Macerex, se observaron ligeramente mayores en fibra de cáscara de jaca verde, pues si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$); mientras que para el complejo enzimático Zymapect se observaron mayores en la fibra de cáscara de jaca madura, con una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Seguidamente de los azúcares totales, en el complejo enzimático Macerex, se observaron mayores en fibra de cáscara de jaca



verde, mientras que para el complejo enzimático Zymapect se observaron ligeramente mayores en la fibra de cáscara de jaca verde. Ambas con una diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

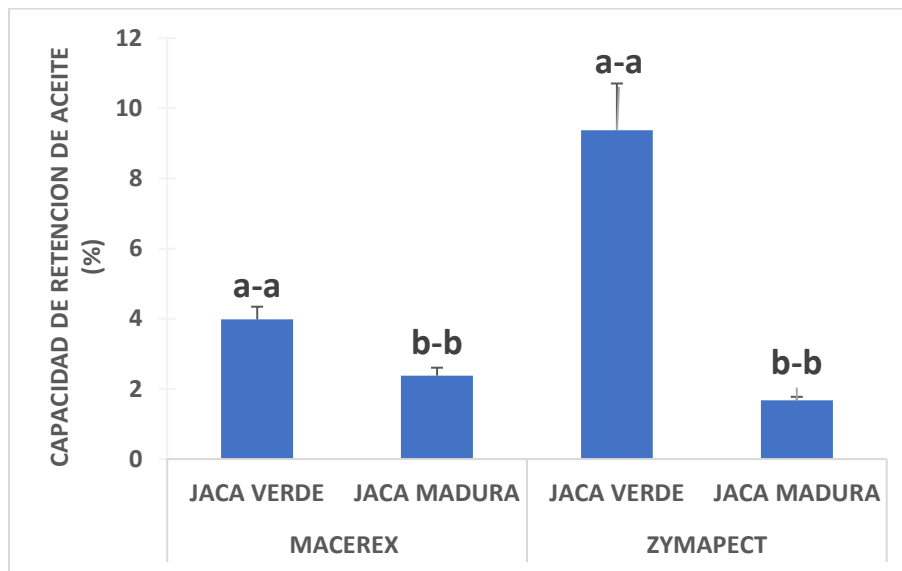


Figura 29. Comparación de capacidad de retención de aceite, para la extracción de fibra de cáscara de jaca, por el método enzimático, empleando Macerex y Zymapect. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de enzima, mientras que la segunda indica que si existe diferencia significativa (0.05) para el estado de maduración.

Por último, la capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua, y capacidad de retención de aceite fueron mayores en la cáscara de jaca verde en ambos complejos enzimáticos.



5.3. COMPARACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA POR LOS MÉTODOS QUÍMICOS Y ENZIMÁTICO.

Una vez recopilados los datos sobre la extracción de fibra de cáscara de jaca por ambos métodos (químico y enzimático), se seleccionaron las mejores condiciones para la obtención de la fibra. Tomando en cuenta los mejores parámetros de acuerdo con los rendimientos, porcentaje de fibra, ATD y ATR, y propiedades funcionales como: capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite.

A continuación, se resume los principales resultados de ambos métodos:

Tabla 11: comparación de mejores condiciones de extracción de fibra.

MÉTODO	QUÍMICO	ENZIMÁTICO-MACEREX
	JACA MADURA	JACA VERDE
RENDIMIENTO	7.95	7.00
% FIBRA	13.55	16.62
% ARD	6.41	15.87
% ART	16.40	39.67
% CAP. HINCHAMIENTO	1.46	1.16
% CRAc	2.79	3.98
% CRAg	7.10	6.21

-La extracción de fibra de la cáscara de jaca por método químico en estado de madurez comercial (**madura**), presentó un mayor rendimiento, buen porcentaje de fibra, mayor capacidad de hinchamiento, y mayor capacidad de retención de Agua. Por otro lado, aunque la capacidad de Retención de Aceite, y los ARD y ART son menores, se considera para la elaboración de cereal.



La extracción de fibra de la cáscara de jaca por método enzimático con complejo Macerex en estado de madurez fisiológica (**verde**), presentó un mayor % de fibra, mayor porcentaje de Azúcares Reductores Directos, Azúcares Reductores Totales, y Capacidad de retención de Aceite, sin embargo, se debe considerar las propiedades que ofrece esta fibra obtenida.

Dicho lo anterior, recordemos lo siguiente:

- **Rendimiento:** Proctor y Peng (1989) mencionan que cuando la fruta va madurando presenta variaciones estructurales, en sustancias pépticas hemicelulosas y de celulosa sin embargo en la jaca madura no existe degradación de la pared celular, comparándola con la jaca verde, siendo así que se obtiene mayor rendimiento en la fibra obtenida de la cáscara de jaca madura por el método químico.
- **Fibra:** Frecuentemente las fibras se extraen y se separan de los desechos de diferentes frutos mediante la acidificación o conocido como método químico (Woo *et al.*, 2010)., mientras que la extracción enzimática de la fibra presenta la ventaja de no destruir la estructura natural de la fibra, por lo que no hay pérdida importante de fibras funcionales, dietaria y hemicelulosas (Liu, 2008): esta es la razón por la que se obtiene mayor porcentaje de fibra en cáscara de jaca verde por método enzimático.
- **Azúcares reductores directos y totales:** La fruta madura normalmente es fibrosa y está compuesta de azúcares como glucosa, fructosa, xilosa, ramnosa, arabinosa y galactosa (Swami *et al.*, 2012). Sin embargo al no estar degradada la pared celular en la jaca verde, se concentran mejor dichos azúcares, esta es la razón por la que se obtiene un mayor porcentaje de estos, en la fibra de cáscara de jaca verde por método enzimático. Pero tendrá menos en la fibra de cáscara de jaca madura por método químico.
- **Capacidad de hinchamiento:** se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de exceso de agua. Esta propiedad es influenciada por la cantidad de componentes, porosidad y tamaño de



partícula de la fibra. A mayor cantidad de fibra dietética insoluble mayor será la capacidad de hinchamiento, (Baena & García, 2012). En la fibra de cáscara de jaca madura por método químico, se obtuvo mayor porcentaje, lo cual ayuda a tener un mejor cereal tipo all bran y así mismo una mejor digestión para el consumidor.

- **Capacidad de retención de aceite:** Las fibras con alta capacidad de retención de aceite se utilizan como ingredientes en alimentación para la estabilización de productos altos en grasa, en productos congelados precocidos listos para freír (Moreno *et al.*, 1999). Sin embargo, para fines de este proyecto se prefiere que tenga menor capacidad de retención de aceite, porque no es un producto frito, por lo que es mejor la fibra obtenida de cáscara de jaca madura por método químico.
- **Capacidad de retención de agua:** está relacionada con la cantidad de fibra soluble, a mayor cantidad de fibra soluble aumenta la capacidad de retención de agua, debido a la propiedad de formar geles (Hernández y Sastre, 1999). Y protege el tracto gastrointestinal, además de aliviar el estreñimiento. Por lo que la fibra obtenida de cáscara de jaca madura por método químico, una vez mas es la mejor para la elaboración del cereal.

Una vez comparados ambos métodos se seleccionó como mejor método para la extracción de fibra de cáscara de jaca madura mediante el método químico. Sin restar importancia a que el objetivo de este trabajo es el aprovechamiento de residuos, es más factible utilizar solamente la cáscara una vez que se ha consumido el fruto. Se aprovecha de mejor manera todo el fruto. Además, que las propiedades funcionales son tecnológicamente mejores para desarrollar un nuevo producto para desayuno.



5.4. EVALUACIÓN SENSORIAL Y QUÍMICA DEL CEREAL PARA DESAYUNO A BASE DE FIBRA DE CÁSCARA DE JACA.

Una vez seleccionado el método de obtención de la fibra de cáscara de jaca, se realizó un cereal tipo all bran, para una evaluación sensorial, en donde se propusieron dos formulaciones variando, el texturizador empleado que fue Crisp film (marca Ingredion), en dos concentraciones 1.5 % y al 2 %, además de la incorporación de dos diferentes saborizantes cocoa y café.

Una vez obtenido el cereal con ambas formulaciones se procedió a realizar una evaluación sensorial con 13 panelistas no entrenados, los cuales calificaron los atributos en una escala de 1 a 5 en donde 1 denoto mayor agrado, mientras que 5 era la calificación más baja.

La propuesta de formulación con los diferentes porcentajes de texturizador y saborizante fue con la finalidad de obtener aspectos sensoriales aceptables en el nuevo producto.

Cada una de las formulaciones propuestas fueron evaluadas sensorialmente para seleccionar la más aceptada por los consumidores potenciales. A los resultados obtenidos se les aplico un análisis estadístico multifactorial.

a) Color.

En la figura 31, se muestran los resultados de la prueba sensorial del color, se puede observar que la media obtenida a nivel general fue satisfactoria puesto que en términos numéricos se encuentra dentro de la categoría “me gusta”.

De acuerdo con el análisis estadístico, en el color se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por el saborizante, siendo el sabor cocoa el que obtuvo una mayor calificación 3 equivalente a ni me gusta ni me disgusta. Por otro lado, la presencia del texturizador no afecto el color del producto.

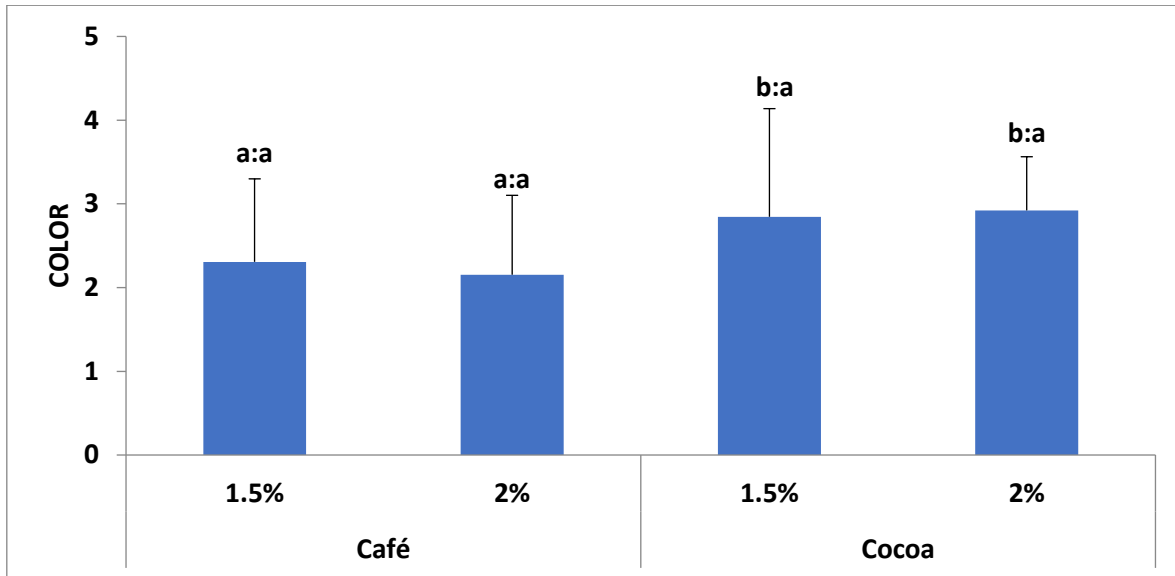


Figura 31. Evaluación de color en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de saborizante (café y cocoa), mientras que la segunda indica que no existe diferencia significativa (0.05) para la concentración de texturizador (1.5 y 2 %).

b) Olor.

En la figura 32, se muestran los resultados obtenidos en el parámetro de olor de la prueba sensorial, en donde presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la presencia del saborizante, siendo el sabor cocoa aquel que obtuvo la mayor calificación. En el caso de la concentración de texturizador los panelistas no encontraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

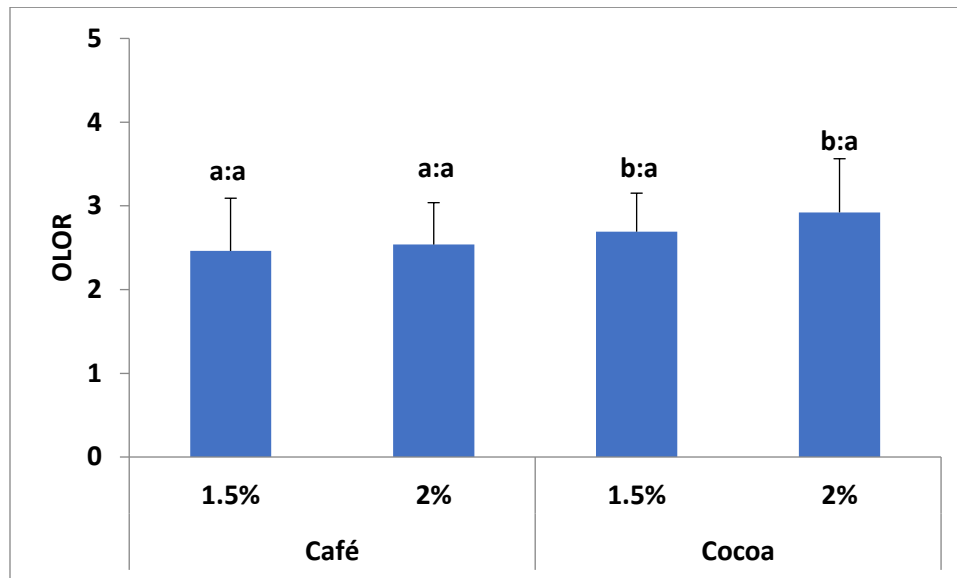


Figura 32. Evaluación del olor en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante. La primera letra en cada barra indica que si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de saborizante (café y cocoa), mientras que la segunda indica que no existe diferencia significativa (0.05) para la concentración de texturizador (1.5 y 2 %).

c) Sabor.

En la figura 33, se muestran los resultados de la prueba sensorial del sabor, se puede observar que la media obtenida a nivel general es un tema de oportunidad, puesto que en términos numéricos se encuentra dentro de la categoría “me es indiferente”. Es importante señalar que en el caso del sabor los resultados obtenidos no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) ni por el saborizante ni por concentración de texturizador.

Se le atribuye a la formulación en sí, pues al ser un cereal con fibra, no deja mucha opción a saborizantes y harinas.

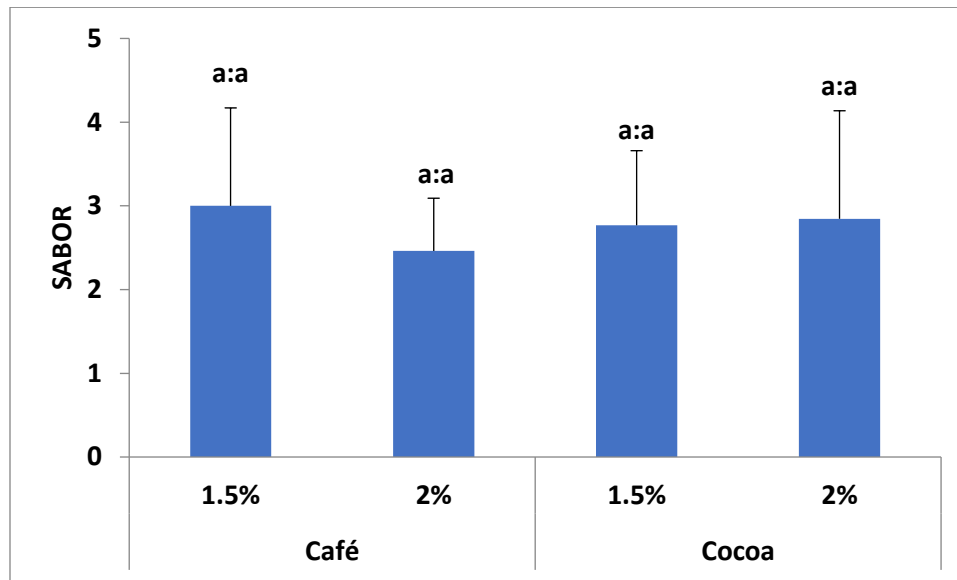


Figura 33. Comparación del sabor en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de saborizante (café y cocoa), mientras que la segunda indica que no existe diferencia significativa (0.05) para la concentración de texturizador (1.5 y 2 %).

d) Textura.

En la figura 34, se muestran los resultados de la prueba sensorial de textura, no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por el saborizante y tampoco por la concentración de la textura, presentando una calificación promedio de 3 correspondiente a “me es indiferente”.

Se le atribuye a la formulación en sí, pues contiene un alto porcentaje de fibra, que lo hace un poco duro al paladar, y por su parte el texturizador empleado muestra la característica de formación de película y actúa como una barrera protectora cuando se usa como recubrimiento para alimentos fritos. Estas mismas características también ayudan a reducir la acumulación de aceite, aumentar la textura crujiente del producto y reducir la pérdida de humedad en los alimentos fritos (Ingredion, 2023).

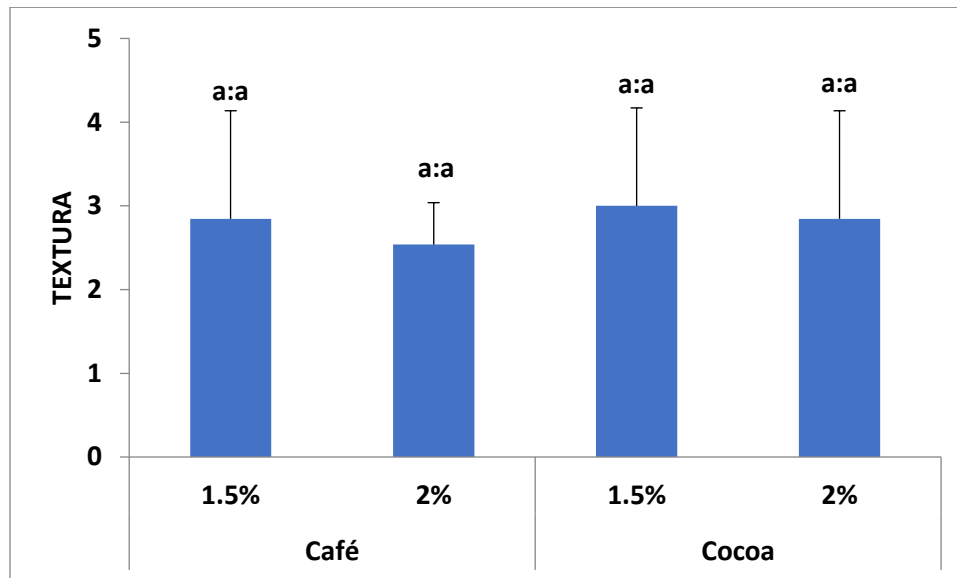


Figura 34. Comparación de textura en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de saborizante (café y cocoa), mientras que la segunda indica que no existe diferencia significativa (0.05) para la concentración de texturizador (1.5 y 2 %).

e) Aceptación general.

Finalmente, en la figura 35, se muestran los resultados de la prueba sensorial de aceptación general, se puede observar que la media obtenida a nivel general es satisfactoria puesto que en términos numéricos se encuentra dentro de la categoría “me gusta”. Sin embargo, no se obtuvo diferencia significativa con respecto al saborizante ni la concentración de texturizador.

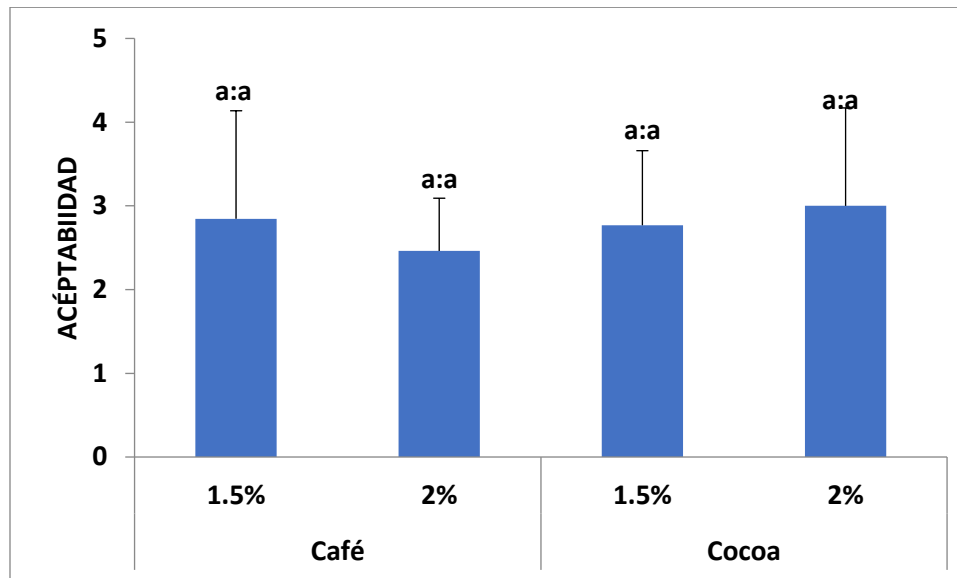


Figura 435. Comparación de la aceptabilidad en el cereal con fibra de cáscara de jaca madura, variando el texturizador y el saborizante. La primera letra en cada barra indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por empleo de saborizante (café y cocoa), mientras que la segunda indica que no existe diferencia significativa (0.05) para la concentración de texturizador (1.5 y 2 %).

Finalmente se podría decir que la mejor opción es el cereal tipo all bran, con fibra de cáscara de jaca madura, obtenida por el método químico, y añadido con 2 % de texturizador Crisp Film y un sabor a café. Ya que, en los parámetros de color, sabor, textura y aceptabilidad, se puede observar en las gráficas de resultados que se acerca más al rubro 2 de me gusta. Sin embargo, existen parámetros que se pueden variar y obtener un mejor resultado, como un distinto texturizador y otro saborizante.

La humedad se realizó al cereal con fibra de jaca obtenido del método químico adicionado con texturizador Crisp Film al 1.5 % y al 2 %, variando también el saborizante (café y cocoa) y a dos cereales comerciales más, mediante la norma de Humedad (NMX-F-428-1982).



Tabla 12. Comparación de humedad en cereal con fibra de jaca y cereal comercial.

CEREAL	HUMEDAD (%)
Fibra de cáscara de jaca madura, método químico, 1.5% crisp film, sabor café	7.99
Fibra de cáscara de jaca madura, método químico, 2.0% crisp film, sabor café	5.77
Fibra de cáscara de jaca madura, método químico, 1.5% crisp film, sabor cocoa	7.35
Fibra de cáscara de jaca madura, método químico, 2.0% crisp film, sabor cocoa	5.11
All bran original	4.97
All bran flakes	6.95

La determinación del contenido de humedad en los alimentos es una de las pruebas más importantes usadas en el proceso y control de los alimentos ya que indica la cantidad de agua involucrada en la composición de estos.

La humedad es el factor de mayor influencia en la conservación de granos y semillas durante el almacenamiento. Su importancia radica en su relación con factores biológicos que causan daño y en los que afectan el valor nutricional y económico (calidad y peso).

En el caso de los cereales un contenido de humedad menor del 15% es aceptable para el almacenamiento de 1 año ó más (NOM-247-SSA1-2008).

En la tabla 11 se puede observar que el porcentaje de humedad de los 2 cereales comerciales es de menos de 7 %, se encuentra dentro del límite ya que es menos de 8 %.



Por lo que se concluye que tiene una buena humedad para poder tener un deterioro de vida no tan anticipado, al ser un producto de desarrollo.

Se puede concluir que la obtención de fibra a partir de residuos vegetales como la cáscara de jaca es una opción viable para obtener un ingrediente funcional, fibra que puede ser utilizado por sus propiedades funcionales en el desarrollo de un cereal para desayuno.



6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores se concluye que:

1. En el caso de la extracción de fibra de jaca por el método químico, se observó que, bajo las condiciones de cáscara de jaca madura, se obtuvo un rendimiento de 8 %, contenido de fibra de 13 %, azúcares reductores directos 6 %, azúcares reductores totales 36 %; capacidad de hinchamiento de 7 ml agua/mg muestra; capacidad de retención de aceite de 5 ml de aceite/mg muestra.
2. Por otra parte, para la obtención de fibra de cáscara de jaca es estado fisiológico verde, por método enzimático, empleando macerex, presentó rendimiento de 7 %, contenido de fibra de 17 %, azúcares reductores directos 16%, azúcares reductores totales 39 %; capacidad de hinchamiento de 6.3ml agua/mg muestra; capacidad de retención de aceite de 4 ml de aceite/mg muestra.
3. Una vez comparados ambos métodos se seleccionó como mejor método para la extracción: la fibra de cáscara de jaca madura mediante el método químico. Debido a las características funcionales que se obtuvo en cada método de extracción.
4. Finalmente, el cereal tipo all bran, añadido con 2 % de texturizador Crisp Film y un sabor a café fue el más aceptado por los panelistas, ya que sus respuestas se encontraron en promedio en 2. “me gusta”, en la prueba de análisis sensorial.



7. RECOMENDACIONES

Para continuar con esta investigación se recomienda:

1. Evaluar otros métodos de extracción de fibra que permita mejorar el rendimiento y la calidad de la fibra
2. Realizar la caracterización de los componentes de la fibra extraída.
3. Considerar algunas otras aplicaciones para la fibra obtenida tales como el desarrollo de productos de panificación.
4. Considerar la obtención de otros subproductos de la cáscara de jaca como fuentes de compuestos bioactivos o extractos.
5. mejorar la formulación del cereal empleando otro tipo de texturizadores o sabores para mejorar sus propiedades sensoriales



BIBLIOGRAFIA

- Abedin, M.S., Nuruddin, M.M., Ahmed, K.U., Hossain, A., (2012). Nutritive compositions of locally available jackfruit seed (*Artocarpus heterophyllus*) in Bangladesh. *Int. J. Biosci.* 2 (8), 1-7. ISSN: 2220-6655 (Print) 2222-5234 (Online)
- Abdul, L. (2000) Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. 15–19
- Aldoori W (1998). A prospective study of dietary fiber types and symptomatic diverticular disease in men. *J Nutr*, 28:714-719.
- Alesón-Carbonell, L. -Fernandez-Lopez, J. -Perez-Alvarez, J. A. -Kuri, V. (2005). Functional and sensory effects of fiber-rich ingredients on breakfast fresh sausages manufacture. *Food Science and Technology International*, 11, No. 2, pp. 89-97. <https://doi.org/10.1177/1082013205052003>
- Álvarez, L. (1995). Anteproyecto de una planta industrial para la elaboración de la jalea y aceite a partir de pulpa y semilla de tuna. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- American Association of cereal chemist (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Food World* 46: 112-26
- Aquino, G. L., Rodríguez, R.J., Méndez R. A., Hernández A. E. (2012). “Extracción y caracterización de fibra de nopal”. CIIDIR. N° 1003, Oaxaca. pp 46-63.
- APAARI. (2012). Jackfruit improvement in the Asia-Pacific Region a status report. Asia-Pacific Association of agricultural Research Institutions Bangkok, Thailand. 182p
- Azis, M. A., P. Paramasivam & S. L. Lee (1999). Concretes in construction. *Int. J. Cement Comp. Lightweight Concrete* 3(2), 123-132.
- Azizur Rahman, M., Nahar, N., Jabbar Mian, A. Y Mosihuzzaman, M. (1999). Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with maturity and climatic conditions. *Food Chemistry*, 65(1): pp. 91-97. DOI 10.1016/S0308-8146(98)00175-7.
- Artica A. M, (2008). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra dietética de cáscara de mango criollo de satipo (*Mangifera indica* L.). Perú. pp 44-64.
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. Pearson educación; México



- Bach K. E (2001). The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal feed science and Technology*, 90(1):3-20. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00193-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00193-6)
- Barbro, K., H. Andersson & G. Cederblad & S. Sadberg. (1986). Extrusion cooking of high fiber cereal products. *British J. Nutr.* 55, 245-254.
- Baena, L. M., García Cardona A. N. (2012). Tesis. “Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de la cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera colombiana”
- Bello G.J. (2000). *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos.* España, Díaz de Santos Castells X.E. *Reciclaje de residuos industriales.* España, Díaz de Santos.
- Bjerrum, K. S. (1993). New applications for pectins. *Food Technology*, 3, 1996, pp. 32- 34
- Blecker, C. -Chevalier, J. P. -Van Herck, J. C. -Fougnies, C. -Deroane, C. -Paquot, M (2001). Inulin: Its physiochemical properties and technological functionality. *Recent Research Development in Agricultural and Food Chemistry*, 5:125-131. <https://hdl.handle.net/2268/36359>
- Bilska, M. Blecker, C (2011). Dietary fibre and fibre rich by products of food processing: characterization, Technological functionality, and commercial applications. *Food Chemistry* 124 (Vo.124):11-42. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Bollinger, H (2001). Functional drinks with dietary fibre. *Fruit Process*, 12, pp. 252-254
- Burkitt DP, Walker ARP, Painter NS (1976). Dietary fibre and disease, *JAMA* 229:1068-1074
- Castells, X.E. (2000). *Reciclaje de residuos industriales.* España, Díaz de Santo
- Carreón, (2014). Caracterización parcial y establecimiento de condiciones de hidrólisis ácida de harina de semillas de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). Universidad Veracruzana, Programa educativo: ingeniería en Alimentos. Xalapa, Veracruz, diciembre.
- Cabrera, E., León V., De la Caridad Montano A. y Dopico D. (2017). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro azúcar.* 43: 27-35.



- Chávez S. M., Domine E. M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencia*, 4(4):15-46.
- Cho, S. S., Prosky, L., Dreher, M. L. (1999). *Complex carbohydrates in foods.*: CRC Press 676.
- . Cofrades, S. -Guerra, M. A. -Carballo, J. -Fernández-Martín, F. -Jiménez-Colmenero, F. (2000). Plasma protein and soy fiber content effect on bologna sausage properties as influenced by fat level. *Journal of Food Science*, 65 (2): 281-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15994.x>
- Cruz, M. (2002). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*). Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M. Bevilacqua, A. (2004): Influence of Dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, 14 pp. 263-268. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.004>
- Ejiofo, E.J., Owuno, F. (2013). The physico- chemical and sensory properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) jam. *Int. J. Nutr. Food Sci.* 2 (3), 149-152. <https://doi.org/10.1016/j.jissas.2014.08.001>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fiber-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2)411–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Englyst HN, Cummings JH. (1990). Non-starch polysaccharides (dietary fibre) and resistant starch. *Adv Exp Med Biol*, 270:205-225.
- Escribano L., D., Martín Vaqueiro, E, Pino Pérez D. (2013). Química y análisis de los alimentos. Obtenido de https://www.academia.edu/8076463/Qu%C3%ADmica_y_An%C3%A1lisis_de_los_Alimentos_Cereales_para_el_desayuno
- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sendra, E., Sayas-Barberá, E. Navarro, C. Pérez-Alvarez, J. A. (2007): Orange fibre as potential functional ingredient for dry-cured sausages. *European Food Research and Technology*, 226(12):1-6. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0501-z>



- Feili, R., Zzaman, Wahidu, Wan Abdullah, Wan Nadiah, Yang, Tajul A., (2013). Physical and sensory análisis of high fiber bread incorporated whit jackfruit rind flour. *Food Sci. Technol.* 1 (2), 30-36. DOI: 10.13189/fst.2013.010203
- Figuerola F., Hurtado M., Estevez A. (2005). Fibre concentrates from Apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry.* 91(1):395-401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>
- García Peris P, Álvarez de Frutos V. (2000). Fibra y salud. *Nutrición y obesidad;* 3:127-135. ISSN 1699-5198versión impresa ISSN 0212-1611
- Gelroth, J. -Ranhotra, G. S. (2001): Food uses of fibre. InS. Sungsoo Cho & M.S. Dreher (Eds.), *Handbook of dietary fibre.* New York: Taylor and Francis, 2001.
- Gonze, M. -Van der Schueren, F. (1997). Sugar-free chocolate. *Candy Industry,* 162, pp. 42-45.
- Gupta, Deepika, Mann, Sonia, Sood, Avijit, Grupta, Rajinder. K., (2011). Phytochemical, nutritional and antioxidant activity evaluation of sedes of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus lam*). *Int. J. Pharm. Biosci.* 2 (4), 336-345. DOI: [10.15761/IFNM.1000233](https://doi.org/10.15761/IFNM.1000233)
- Grigelmo-Miguel, N. -Martina-Belloso, O. (1999): Influence of fruit dietary fiber addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. *Journal of Food Engineering* (41):13-21.[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00067-9)
- Ha MA, Jarvis MC, Mann JL. (2000): A definition for dietary fibre. *Eur J Clin Nutr* 54:861-864. ; <https://doi.org/10.3390/nu12092553>
- Hernández R. M., Sastre G. A. (1999). *Tratado de nutrición.* España, Diaz de santos
- Hernández A. G., Sánchez F. (2010). *Tratado de nutrición.* España, panamericana.
- Moreno R. R. (2013). *Nutrición y dietética para tecnólogos de alimentos.* España, Diaz de Santos. Pabón R. M. (2004). *Bioquímica ruminal.* Bogotá, UNIBIBLOS.
- Hincapié II, G. A., Vásquez, D. C., Galicia, v. S., & Hincapié II, C. A. (2014). Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de mango variedadhilacha (*Mangifera indica L.*): efecto del secado por convección. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,* 12(1), 153-160. Versión impresa ISSN 1692-3561
- Ingredion. Película nítida TM -06460b01. (s/f). Ingredion.com. Recuperado el 24 de abril de 2023, de <https://www.ingredion.com/emea/en-uk/ingredient/crisp-film-06460b01.html>



- Kin Y-I. (2000). A technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology* 118:1235- 1257. [https://doi.org/10.1016/S0016-5085\(00\)70377-5](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(00)70377-5)
- Knuckles, B. E. -Hudson, C. A. -Chiu, M. M. -Sayre, R. N. (1997): Effect of beta-glucan barley fractions in high-fiber bread and pasta. *Cereal Foods World*, 42:94-96
- Larrauri, J. A., Ruperez, P., Borroto, B., Saura-calixto, F. (1996). Mango peel as a new tropical fibre: Preparation and characterization. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technology*, (29):729-733.
- Londoño-Londoño, J; Sierra, J.; Álvarez, R.; Restrepo, A.M.; Pássaro, C. P. (2012). Aprovechamiento de los subproductos cítricos. En: C. Pássaro, P. Catarina, J. Londoño-Londoño. *Industrialización de cítricos y valor agregado* pp. 343-367. Corporación Universitaria Lasallista. Colombia.
- Liu, Y. (2008): Study on the extraction technics conditions and characteristics of dietary fiber from citrus peel by fermentation with *Lactobacillus* and *Trichoderma viride*. Sichuan Agricultural University, a Master's degree Thesis,
- LIDA, S (2018). Tesis: Obtención y caracterización de fibra dietética a partir de la cáscara de mango hades. Universidad Nacional de Callao.
- Love K., Paull E.R. 2011. Jackfruit. *Fruits and Nuts*. College of tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa. F-N-19.
- Mateu de Antocio X: (2004). La fibra en la alimentación. *Farmacia Hospitalaria* N° 3, pp 23-32.
- Meier R, Gassull MA. (2004). Consensus recommendations on the effects and benefits of fibre in clinical practice. *Clinical Nutrition Supplements*; 1:73-80.
- Mitchell, H. L.: Fibre-enriched beverages and Litesse Registered. *Soft Drinks International* 2001, pp. 25-27.
- Moreno H.A., Jiménez A.A., Fernández B. J., Guillén B. R. y Rodríguez A. R. (1999). Fibra alimentaria. Consejo superior de investigaciones científicas, España.
- Moreno E. I., Solís Carcaño R. G. y Arias-Palma C. A. (2013) "Desempeño de las pinturas vinil-acrílicas contra la carbonatación del concreto", *Ingeniería—Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, Vol. 12, No. 1, páginas 31-39.
- Nelson, A. L. (2001): *High-fiber ingredients: Eagan press handbook series*. St Paul, MN: Eagan Press, 2001.



- Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- Información comercial y sanitaria.
- Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-F-350-S-1980, Alimentos Cereales Precocidos para Infantes y Niños de corta edad, Hojuelas y/o granulados de Harina de Maíz con chocolate.
- Norma Oficial Mexicana NOM-F-90-S-1978 Determinación de Fibra Cruda en Alimentos.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-428-SCFI-1982 Alimentos-Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza).
- Norma Mexicana NMX-f-278-scfi-2012. industria azucarera y alcoholera - determinación de reductores directos en muestras de meladura y mieles a, b y c.
- Peraza G. M. (2000). Caracterización de los residuos fibrosos de *Canavalia ensiformis* L. y su incorporación a un producto alimenticio. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Pérez N. C. (2003). Elaboración y caracterización de complementos alimenticios con un alto contenido de fibra dietética de maracuyá (*Pasiflora edulis*). Tesis de maestría. Facultad de ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Periago M. J., Ros L. G. (1992). Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. Revista española de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 33(1):229-245.
- Priego M. N. (2007). Obtención de Fibra Dietética a partir de Sáculos de Naranja aplicando un Tratamiento con Vapor. Tesis inédita de licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.



-
- Piña-Dumoulin (2010). Caracterización fisicoquímica de frutas frescas de cultivos no tradicionales en Venezuela I la yaca. *Agronomía Tropical*. Venezuela.
- Pomeranz, Y. -Shogren, M. D. -Finney, K. F. -Bechtel, D. B. (1977). Fibre in bread effects on functional properties. *Cereal Chemistry*, 54, pp. 25-41.
- Proctor A., Peng L.C., (1989). Pectin transition during blueberry fruit development and ripening. *J. Food Sci*, 54:385387.
- Ramírez-Navas J. S. (2012). Análisis Sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *ReCiTeIA*, 12 (1), 84-102.
- Rasgado, Vázquez S.M. (2016). Extracción de fibra en residuos agroindustriales de piña para su aplicación en alimentos funcionales. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos FESC*. Vol (1), 448-453
- Robertson J.A, Mondredon F.D, Dysseler P, Guillon T. (2000). Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: a European Collaborative Study. *IWT*, 33(1): 73-79.
- Robin & Grose, (20019). Fotografía tomada de: "Elaboración tepache de piña".
- Rodríguez, R. A. J. -Fernández-Bolaños J. -Guillén R. -Heredia A.(2006) Dietary Fibre from Vegetable Products as a Source of Functional Ingredients. *Trends in Food Sciences and Technology*, 17, pp. 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.002>
- Roediger WE (1980) The colonic epithelium in ulcerative colitis: an energy deficient disease? *Lancet* 2:712-715.
- Rodríguez-Palomera. (2016). Primer registro de *Scymnobius bilucernarius* (Coleoptera: coccinellidae) para Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Nayarit, México, pp.471-474. ISSN 2007-0934.
- Rojas Hidalgo E. (Ed.) (1994). La fibra dietética. Los carbohidratos en nutrición humana. Madrid. Aula Médica, 121-137.
- Saura F. D., Goñi I., Ferrer R. (2003). Fibra dietaria en cerveza: contenido, composición y evaluación nutricional. *Cerveza y salud*. 158(2):51-60
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, pp. 4303-4306.



- Saura, F.D, Martin, C. Pulido, R & Cambrodon, I. G. (2003). Fibra dietética en cerveza; contenido, composición y evaluación nutricional (2° parte y final) Cerveza Malta 61-68.
- Sánchez-Zapata E., Perez-Alvarez JA. (2008). El aceite de oliva un alimento funcional. Alimentación equipos y tecnología 233:32-5
- Sangnark, A. -Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical, and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. Food Research International, 37, pp. 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.007>
- SAGARPA. (2010). La agroindustria en México. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Sendra, E., Fayos, P., Lario, Y., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E. -Pérez Alvarez, J. A (2008). Incorporation of citrus fibers in fermented milk containing probiotic bacteria. Food Microbiology, 25, No. 1, pp. 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.09.003>
- Segguani , M; Puccini, M; Pierini, M; Giovando, S; Forneris, C. (2009). Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin. Int. J. food sci. Technol. (UK). 44(3): 574-580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01849.x>
- SIAP (2017). con datos de la Administración General de Aduanas del Servicio de Administración Tributaria.
- SIAP. (24 de 11 de 2013). Inforural. Obtenido de <https://www.inforural.com.mx/frutas-exoticas-alto-potencial-de-mercado/>
- SIAP (servicio de información agroalimentaria y pesquera) (2013). Anuario estadístico de la producción agrícola 2013. SAGARPA. Disponible en; <http://siap.gob.mx>
- Simba-Casa, (2004). Caracterización fisicoquímica del Jack Fruit y propuestas de dos alternativas para el procesamiento. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador,
- Sharma, Nirmal., Bhutia, S.P., Aradhya, Danesh. (2013). Process optimization for fermentation of wine from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus Lam*). Food process technol. 4, 2-6. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133129480>
- Soriano D. J. (2006). Nutrición básica humana. España, PUV.



- Swami, Shrikant Baslingapp, Thakor, N.J., Haldankar, P.M., Kalse, S.D. (2012). Jackfruit and its many functional components as related to human health: a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety* 11 (6), 565-576. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00210.x>
- Taiz L, Zeiger E. (2006). *Fisiología Vegetal*. España, Universitat
- Thebaudin, J. -Lefebvre, A. C. (1997). Dietary fibre: Natural and technological interest. *Trends in Food Science and Technology*, 8, pp. 41-48.
- Trowell H, Southgate DA, Wolever TMS, Lead SAR, Gassul MA y Jenkins DJA. (1976). Dietary fibre redefined. *Lancet* i:967 (letter).
- Velázquez, C. (2008). *InfoAlimenta*. Obtenido de <http://www.infoalimenta.com/biblioteca-alimentos/55/67/cereales-de-desayuno/>
- Viuda Martos M, Fernandez Lopez J, Senda Barbera ME, Navarro C, (2010). Effect of Orange fibre on the colour and heme iron content of "pate." In proceedings of intl. Functional foods Conference. 226, 2007, No. 12, pp. 1-6 <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0501-z>
- Wang, S., F. Chen, J. Wu, Z. Wang, X. Liao y X. Hu (2002) optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response Surface methodology. *Journal of Food Engineering* 78 (2): 693—700. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.008>
- Zopf D, Roth S: Oligosaccharides anti-infective agents. *Lancet* 1996; 347:1017-1021.
- Zapata, A.D., C.A. Escobar, S.F. Cavallito y R. Hours (2008). Evaluación de la capacidad de solubilización de pectina de cáscara de limón usando protopectinasa. *Vitae, Revista de la facultad de Química farmacéutica* 1-67-74. Print version ISSN 0121-4004
- Zúñiga, M (2005). Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. [Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica]. Asesor. Dr. Peña Álvaro y Chiffelle Italo. Santiago. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58 p.