



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO
de Tuxtepec

**"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
Y QUÍMICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA ENRIQUECIDAS
CON UN CONCENTRADO DE FIBRA DIETARIA DE BAGAZO
DE PIÑA (Ananas comosus)"**

TESIS

Para Obtener el título de:
MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

I.B.Q. GABRIELA AGUILAR HERNÁNDEZ

DIRECTORA:

DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES VIVAR VERA

CO-DIRECTORA INTERNA:

DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SANCHEZ

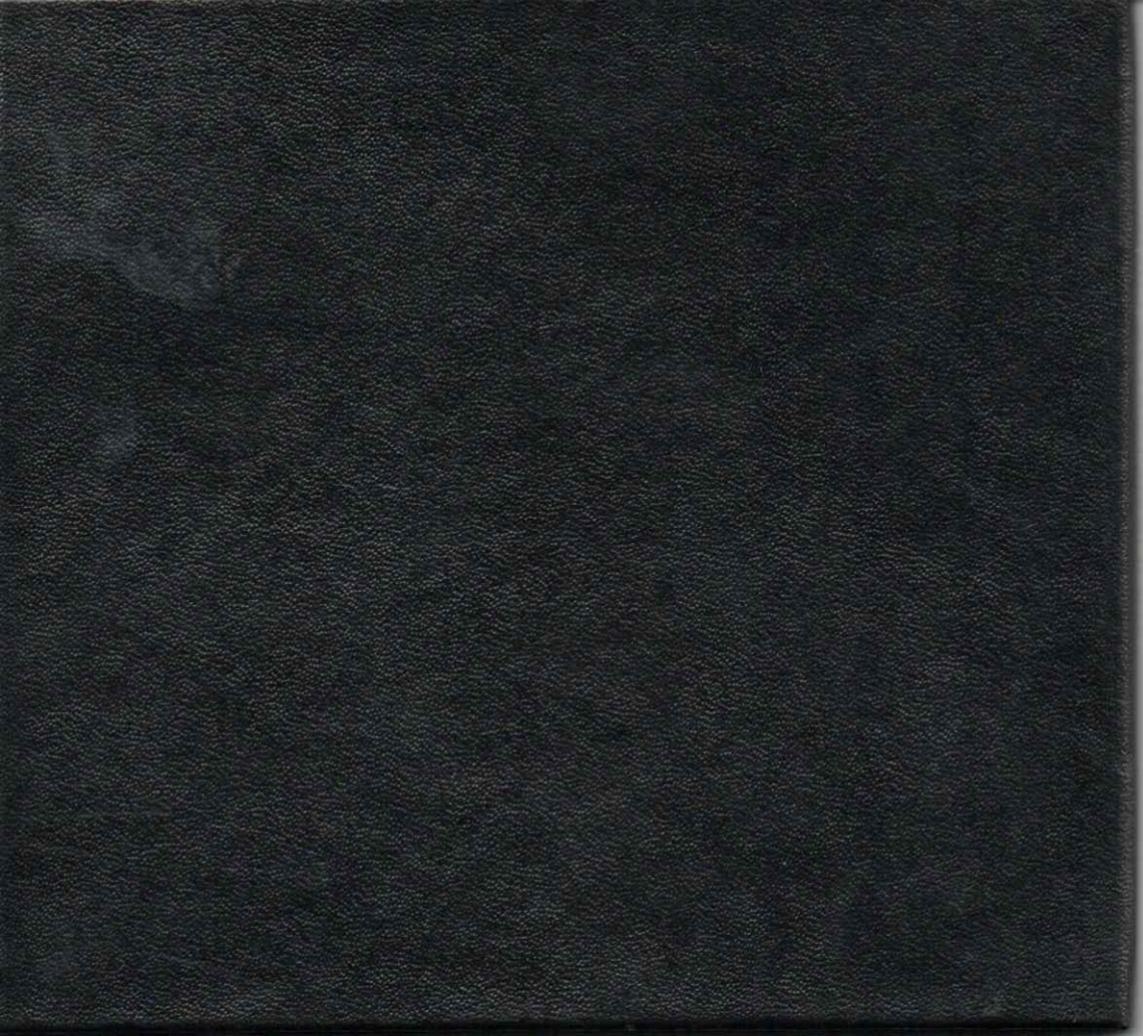
CO-DIRECTOR EXTERNO:

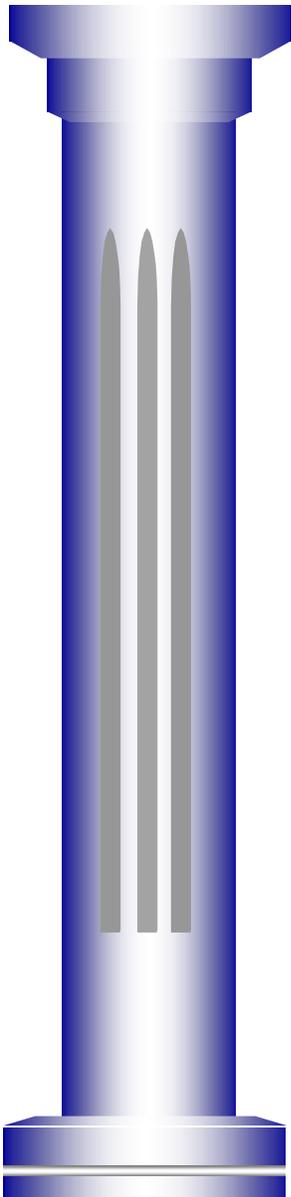
DR. IRVING ISRAEL RUIZ LÓPEZ



MCA-2016/02

TUXTEPEC, OAXACA, MARZO 2016





SEP TECN SNEST

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
de Tuxtepec**

**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
Y QUÍMICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA
ENRIQUECIDAS CON UN CONCENTRADO DE FIBRA
DIETARIA DE BAGAZO DE PIÑA (*Ananas comosus*)”**

TESIS

Para Obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

I.B.Q. GABRIELA AGUILAR HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES VIVAR VERA

CO-DIRECTOR:

DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ

CO-DIRECTOR EXTERNO:

DR. IRVING ISRAEL RUÍZ LÓPEZ

TUXTEPEC, OAXACA, MÉXICO

MARZO 2016.

Instituto Tecnológico de Tuxtepec – *Maestría en Ciencias en Alimentos*

**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE
SALCHICHAS TIPO VIENA ENRIQUECIDAS CON UN CONCENTRADO DE
FIBRA DIETARIA DE BAGAZO DE PIÑA (*Ananas comosus*)”**

POR:

I.B.Q. GABRIELA AGUILAR HERNÁNDEZ

Tesis Propuesta a la Coordinación de Posgrado e Investigación del

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

MARZO DEL 2016



SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
División de Estudios Profesionales

Procedimiento para la Titulación
Autorización de Presentación del Trabajo Profesional
Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1

SUBDIRECCION ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
EXPEDIENTE: DEP-ñ/16

Tuxtepec, Oaxaca. **09/MARZO/2016**
OFICIO: No. 1558

C. GABRIELA AGUILAR HERNÁNDEZ
EGRESADA DE LA MAestrÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M08350052
PRESENTE.

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C. **DRA. MARIA DE LOS ÁNGELES VIVAR VERA, DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SANCHEZ, DRA. ARACELI PÉREZ SILVA Y DR. ERASMO HERMAN Y LARA** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO **“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA ENRIQUECIDAS CON UN CONCENTRADO DE FIBRA DIETARIA DE BAGAZO DE PIÑA (Ananas comosus)”** PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE **TESIS** DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL TÍTULO DE **MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**.

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES, SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

ATENTAMENTE
“CIENCIA Y TÉCNICA PRESENTES AL FUTURO”


M.E. JULIAN KURI MAR
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

C.c.p.-Coord. de titulación
JKM/has



Av. Dr. Víctor Bra C.P. 68350 Col. 5 de Mayo, Tuxtepec, Oaxaca
Teléfono: (287) 87 5 10 44 Ext. 103, Fax: (287) 87 5 18 80
e-mail: info@ittux.edu.mx



REGISTRO SGC
Código: ITTUX-AC-PO-008-C
Revisión:
Fecha de Autorización: 19/Junio/20

DEDICATORIA

A **Dios** por haberme permitido alcanzar esta meta, una nueva etapa más en mi vida, y que a pesar de los tropiezos siempre me ayudo a salir adelante, le doy gracias por haber puesto en mi camino a personas importantes que me brindaron su apoyo y amistad y experiencias de las cuales aprendí.

A **mis padres** que tanto amo, María Guadalupe y Fidencio, por apoyarme siempre en todas mis decisiones, tanto moral y como económicamente, pero principalmente a mi mamita, mi amiga, mi todo, porque siempre me apoyo en esos momentos que más la necesite, porque gracias a ella culmine una de las más grandes metas de mi vida, porque en cada momento de tristeza siempre tuvo palabras de aliento y consuelo que me ayudaron a seguir adelante y con su amor y cariño me ayudo a derribar todos los obstáculos del camino y me guio siempre por el camino del bien, así también me hizo ver mis errores para corregirlos y así seguir enderezando mi camino.

A todos y cada uno de **mis hermanos** (Erika, Claudia, Arturo, Ricardo y Janet) porque siempre estuvieron presentes cuando más los necesite, en especial a mis hermanas Erika y Claudia que siempre tuvieron esas palabras de aliento para mí y que en las buenas y en las malas siempre estuvieron presentes impulsándome a seguir adelante.

A todos y cada uno de los **integrantes de mi familia** porque todos pusieron un granito de arena para ayudarme y guiarme por el camino correcto.

A ti **Dania** por haber estado conmigo en los momentos más difíciles, por tu apoyo y solidaridad hacia conmigo, gracias porque tú también has sido parte importante durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primeramente a la **Dra. María de los Ángeles Vivar Vera** por haberme brindado su amistad y haber depositado en mí su confianza, le agradezco de antemano su paciencia y apoyo para la realización de este trabajo, por todas las atenciones brindadas, por brindarme sus conocimientos a lo largo de esta etapa tan maravillosa de mi vida, gracias por su tiempo y dedicación hacia conmigo, ya que sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

A la **Dra. Araceli Pérez Silva** por su amistad, por haberme brindado sus conocimientos, por sus atenciones, por su confianza, sus consejos y por haber ayudado a formar parte de mi formación profesional.

Al **Dr. Irving Israel Ruíz López**, por su valiosa coasesoría en este trabajo en el desarrollo y explicación del diseño experimental y análisis estadístico y matemático de los resultados obtenidos.

A todos los **Profesores Investigadores del área de posgrado de la Maestría en Ciencias en Alimentos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec** por haber ayudado a mi formación profesional, por sus consejos, enseñanza y amistad.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el otorgamiento de la beca que fue sumamente importante para la realización de mis estudios y del proyecto de investigación para la elaboración de la Tesis.

A **Valeria** por su valiosa ayuda en la realización de mi proyecto de Tesis, así como a **Mayra, Nubia y Mitzi** las chicas de Servicio Social por su ayuda, porque gracias a ellas todo fue más fácil, así como también a **todos y cada uno de los compañeros** por las pláticas amenas porque con sus alegrías me fortalecieron a seguir adelante. A **Caro, Micki y Made** por el tiempo que compartimos juntos, por todos esos momentos agradables, por compartir sus experiencias.

RESUMEN

Aguilar-Hernández, Gabriela. Maestría en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Marzo 2016. **Evaluación de las características físicas y químicas de salchichas tipo Viena enriquecidas con un concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña (*Ananas comosus*)**. Directores: Dra. María de los Ángeles Vivar Vera, Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Dr. Irving Israel Ruíz López, Dra. Araceli Pérez Silva y Dr. Erasmo Herman y Lara.

Las salchichas tipo Viena son los productos cárnicos más producidos y consumidos en México. Sin embargo, su consumo está asociado con el desarrollo de enfermedades por su alto contenido en grasa, sodio y nitritos, siendo necesario el desarrollo de productos más saludables. Una vía es la adición de ingredientes funcionales como la fibra dietaria (FD) proveniente de subproductos agroindustriales. En este contexto, la industria de la piña (*Ananas comosus*) de la región genera hasta 30% de subproductos al día que son subutilizados como alimento para ganado. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características físicas y químicas de salchichas tipo Viena enriquecidas con un concentrado de FD (CFD) obtenido de bagazo de piña (BP). El BP donado por una procesadora de piña de Loma Bonita, Oax., fue escaldado por presión a vapor (121 °C, 15 psia, 5 min). Se determinó la actividad de polifenoloxidasas y composición química al BP fresco (BPF) y escaldado (BPE) y a partir de ellos se obtuvieron cuatro CFD, los cuales fueron liofilizados o secados en charolas (SC) (55 °C, 10 h), molidos y tamizados (500 µm). Los polvos de los CFD fueron analizados en su contenido de polifenoles extraíbles (PE), capacidad antioxidante (CA) (métodos de ABTS⁺ y FRAP) y carotenos, para seleccionar el CFD con el mayor contenido de dichos componentes ($p < 0.05$), además de FD total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI). Se evaluó el efecto de la mezcla del CFD (2.5-10%), carne de cerdo y de pavo (0-100%) sobre el contenido de nitritos, humedad, PE, CA, carotenos, encogimiento, fuerza de corte y color (L^* , a^* y b^*) mediante un diseño experimental de mezclas simplex con un centroide (3,1). Los resultados demostraron que el CFD-BPE (SC), fue el que presentó el mayor contenido de FDT

(91.54%), FDS (17.28%), PE (0.58 g GAE/100 g ms) con elevada capacidad antioxidante (8.11 $\mu\text{mol TE/g ms}$), carotenos (1.13 mg β -caroteno/100 g ms) y color ($L^*=67.77$, $a^*=2.35$, $b^*= 15.28$), siendo seleccionado para enriquecer las formulaciones de salchichas. Las ecuaciones del modelo demostraron que la mezcla de carne de cerdo o pavo con el CFD-BP tuvo un efecto de antagonismo binario ($p<0.05$), reduciendo el contenido de nitritos residual, encogimiento y humedad de las salchichas tipo Viena hasta un 40, 83 y 13%, respectivamente. Asimismo, con dichas mezclas binarias hubo efecto de sinergismo binario en el contenido de PE, CA y fuerza de corte, obteniéndose formulaciones con contenidos de hasta 400 mg GAE/100 g ms, 4.27-23.41 $\mu\text{mol TE/ g ms}$ y 19.18 N, respectivamente ($p<0.05$). En el presente trabajo se obtuvo un CFD con alto contenido de FD y compuestos polifenólicos con CA, así como carotenoides, el cual presentó propiedades funcionales y fue adicionado en formulaciones de salchichas tipo Viena, en las cuales ayudó a reducir el contenido de nitritos y encogimiento, y aumentó el contenido de PE y su capacidad antioxidante.

ABSTRACT

Aguilar-Hernández, Gabriela. Maestría en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. March, 2016. **Evaluation of characteristics physical and chemical of Vienna type sausages enriched with a high dietary fiber powder from pomace pineapple (*Ananas comosus*)**. Advisors: Dra. María de los Ángeles Vivar Vera, Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Dr. Irving Israel Ruíz López, Dra. Araceli Pérez Silva and Dr. Erasmo Herman y Lara.

The sausages of Vienna type are the meat products most produced and consumed in Mexico. However, its use is associated with the development of diseases because they are high in fat, sodium and nitrites, being needed the developing of healthier products. One way is the addition of functional ingredients such as dietary fiber (DF) obtained from agroindustrial by-products. In this context, the pineapple industry (*Ananas comosus*) of the region daily generates up to 30% of byproducts that are only used as animal feed. The aim of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of Vienna type sausages enriched with a elevated dietary fiber powder (HDFPP), obtained from pineapple pomace (PP). The PP donated by a processing pineapple Loma Bonita, Oax., was blanched by steam pressure (121 °C, 15 psi, 5 min). The activity of polyphenoloxidase and chemical composition was determined in fresh (PPF) and blanched (PPB) PP and from them were obtained four HDFP, which were freeze-dried or dried in trays (DT) (55 °C, 10h), milled and sieved (500µm). The HDFPs were analyzed in their content of extractable polyphenols (EP), antioxidant capacity (AC) (methods of ABTS⁺ and FRAP) and carotene, to select the HDFP with higher ($p>0.05$) content of these components, in addition DF total (TDF), soluble (SDF) and insoluble (IDF), were determined. The effect of the mixture of HDFP (2.5-10%), meat pork and turkey (0-100%) were evaluated on the nitrite content, moisture, EP, AC, carotenes, shrinkage, cutting force and color (L^* , a^* and b^*) using a simplex mixture design with a centroid (3,1). The results showed that the HDFP-PPB (DT) showed the highest content of TDF (91.54%), SDF (17.28%), EP (0.58 g GAE/100 g dm with high AC (8.11 µmol TE/g dm), carotenes (1.13 mg β-carotene/100 g dm) and color ($L^*=67.77$,

$a^*=2.35$, $b^*= 15.28$), being selected for enriching sausage formulations. The model equations showed that the mixture of meat pork or turkey with HDFP-PP had a binary antagonism effect ($p<0.05$), reducing residual nitrite content, shrinkage and moisture Vienna type sausages up to 40, 83 y 13%, respectively. Also, with such binary mixtures there was synergism binary effect in the content of EP, AC and shear force ($p<0.05$), resulting formulations with contents of 400 mg GAE/ 100 g dm, 4.27-23.41 $\mu\text{mol TE/ g dm}$ and 19.18 N, respectively. In this paper was obtained a HDFP with elevated content of DF and compounds polyphenolic with CA, and carotenoids. Which presented functional properties and was added to formulations of sausages type Vienna, which help reduce the nitrite content and shrinkage, and increased EP content and AC.

CONTENIDO

N°	Descripción	Pág.
	LISTA DE TABLAS	xi
	LISTA DE FIGURAS	xii
I.	INTRODUCCIÓN	1
II	MARCO TEÓRICO	4
2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PIÑA	4
2.1.1	Producción mundial de la piña	5
2.1.2	Producción nacional de piña	6
2.1.3	Composición química de la piña	8
2.1.4	Usos de la piña	10
2.2	FIBRA DIETARIA	11
2.2.1	Definiciones de la fibra dietaria	11
2.2.2	Clasificación de la fibra dietaria	11
2.2.2.1	Fibra Soluble	12
2.2.2.2	Fibra Insoluble	15
2.2.3	Propiedades fisicoquímicas de la FD	18
2.2.4	Propiedades funcionales o tecnofuncionales de la FD	18
2.2.4.1	Tamaño de Partícula	19
2.2.4.2	Capacidad de Retención de Agua (CRA)	20
2.2.4.3	Capacidad de Retención de Aceite (CRac)	21
2.2.4.4	Capacidad de Hinchamiento (CH)	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.5	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	22
2.3	Ingesta y usos de la fibra dietaria	22
2.4	CÁRNICOS	24
2.4.1	Clasificación de los productos cárnicos	26
2.4.1.1	Grasas	27

2.4.1.2	Productos Cárnicos Curados	27
2.4.1.3	Productos Cárnicos Procesados Crudos	27
2.4.1.4	Productos Cárnicos Cocidos	27
2.4.1.5	Productos Cárnicos Crudos-Cocidos	27
2.4.2	Materias primas utilizadas en elaboración de salchichas	29
2.4.3	Desarrollo de productos cárnicos funcionales	33
III	ANTECEDENTES	35
IV	JUSTIFICACIÓN	38
V	OBJETIVOS	39
VI	MATERIALES Y MÉTODOS	40
6.1	MATERIA PRIMA	40
6.1.1	Acondicionamiento de la materia prima para la obtención de concentrados de fibra dietaria	40
6.2	OBTENCIÓN DE LOS CONCENTRADOS DE FIBRA DIETARIA DE BAGAZO DE PIÑA	41
6.3	SELECCIÓN DEL CFD-BP	42
6.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
6.5	ACONDICIONAMIENTO DE LA CARNE DE CERDO Y PAVO	42
6.6	ELABORACIÓN DE LAS SALCHICHAS TIPO VIENA	43
6.7	DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA DE CARNE DE CERDO, CARNE DE PAVO Y CFD-BP SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA	44
6.8	ANÁLISIS QUÍMICOS	46
6.8.1	Composición química proximal	46
6.8.2	Fibra dietaria (FD)	46
6.8.3	Polifenoles extraíbles (PE)	46
6.8.4	Capacidad antioxidante	46
6.8.4.1	ABTS+	46
6.8.4.2	FRAP	47

6.8.5	Carotenos	47
6.8.6	Concentración de nitritos residuales	47
6.9	ANÁLISIS FÍSICOS	48
6.9.1	Color	48
6.9.2	Encogimiento	48
6.3.9	Fuerza de corte	48
VII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO DE PIÑA	49
7.1.1	Propiedades funcionales del bagazo de piña	51
7.2	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS CFD DE BAGAZO DE PIÑA: EVALUACIÓN DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CAROTENOIDES	51
7.2.1	Caracterización química	51
7.3	SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS CFD DE BAGAZO DE PIÑA FRESCO Y ESCALDADO	54
7.4	PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS CONCENTRADOS DE FIBRA DIETARIA SELECCIONADOS	55
7.5	CARACTERIZACIÓN DE LAS CARNES DE CERDO Y PAVO	56
7.6	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL CONCENTRADO DE FIBRA DIETARIA, CARNE DE CERDO Y CARNE DE PAVO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA	57
7.6.1	Modelo de superficie de respuesta de la variable de nitritos residuales	58
7.6.2	Modelo de superficie de respuesta para la variable de carotenos	59
7.6.3	Modelo de superficie de respuesta para la variable de polifenoles	61

7.6.4	Modelo de superficie de respuesta para la variable de ABTS ⁺ y FRAP	63
7.6.5	Modelo de superficie de respuesta para la variable de Humedad	65
7.6.6	Modelo de superficie de respuesta para la variable de fuerza de corte	67
7.6.7	Modelo de superficie de respuesta para la variable de encogimiento	69
7.6.8	Modelo de superficie de respuesta para la variable L*	70
7.6.9	Modelo de superficie de respuesta para la variable a*	72
7.6.10	Modelo de superficie de respuesta para la variable b*	74
VIII	CONCLUSIONES	76
IX	BIBLIOGRAFÍA	77
X	ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
1	Producción de piña a nivel mundial en el 2013	6
2	Producción de piña a nivel nacional en el 2014	7
3	Producción de piña en el Estado de Oaxaca en 2014	8
4	Composición nutrimental de la piña por cada 100 g de porción comestible	9
5	Clasificación de productos cárnicos	26
6	Diseño experimental de mezclas simplex con un centroide (3,1)	45
7	Composición química del bagazo de piña	49
8	Propiedades funcionales del bagazo de piña fresco y escaldado liofilizado	51
9	Caracterización química y física de los CFD-BP seleccionados	544
10	Propiedades funcionales de los concentrados de fibra dietaria	55
11	Análisis químico proximal en carne de cerdo y pavo	57
12	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de nitritos residuales	58
13	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de carotenos	60
14	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de polifenoles.	62

15	Diseño simplex de mezclas para las variables de respuesta de la actividad antioxidante (ABTS ⁺ y FRAP)	64
16	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de humedad	66
17	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta de la fuerza de corte	68
18	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del encogimiento	69
19	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta L*	71
20	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta a*	73
21	Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta b*	74

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1.	Fotografía de la planta de piña	4
2	Fruta de piña Cayena Lisa	5
3	Estructura química del polímero formado por ácido galacturónico	13
4	Estructura química goma guar	14
5	Estructura molecular de la celulosa	16
6	Estructura química de los componentes principales de la hemicelulosa	17
7	Diagrama sobre la incidencia de la fibra en la salud	24
8	Productos cárnicos	25
9	a) Foto de la generación del bagazo de piña, b) Foto del bagazo de piña	40
10	Foto del concentrado de fibra dietaria de residuos de piña	42
11	Foto de la mezcla de carnes de cerdo y pavo para la elaboración de las salchichas	43

12	Diagrama ternario para el diseño de mezclas simplex con un centroide (3,1) para las salchichas tipo Viena	44
13	a) Contenido de polifenoles de los CFD-BP, b) Capacidad antioxidante de los CFD-BP	52
14	Contenido de carotenoides en los CFD-BP	53
15	Cinética de secado del CFD obtenido del BP fresco secado por charolas	90
16	Cinética de secado del CFD obtenido del BP escaldado secado por charolas	90
17	Cinética de secado del BP fresco secado por charolas	91

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los consumidores están cada vez más interesados en su salud personal, y esperan que los alimentos que consumen no solo sean sabrosos y atractivos, sino que sean seguros y saludables. Mientras la relación entre la dieta y la salud va ganando interés, muchos consumidores buscan la manera de sentirse bien y permanecer saludables mediante el consumo de alimentos nutricionalmente diseñados (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2002; Fernández-Ginés *et al.*, 2004). Actualmente, los productos cárnicos juegan un papel importante en la cultura, economía y nutrición de sus consumidores (Kuri, 2002), ya que en los últimos años la demanda por alimentos saludables en todos los niveles de la población se ha incrementado. Las salchichas son productos cárnicos disfrutados por millones de consumidores alrededor del mundo, sin embargo, los principales problemas asociados a los productos cárnicos son el nivel de sodio, grasa y nitritos (Totosaus, 2007), debido a que están asociados a enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, sobrepeso, obesidad y algunos tipos de cáncer por la presencia de nitritos, es por esto que la industria alimentaria ha desarrollado nuevas formulaciones o ciertas modificaciones a los productos cárnicos que contengan menos grasa, ya sea mediante la eliminación de componentes dañinos o mediante la adición de ingredientes funcionales considerados beneficiosos para la salud, como es el caso de la fibra dietaria (FD) (Fernández-Ginés *et al.*, 2005). La FD es la parte comestible de las plantas o análogos de carbohidratos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado del humano con una fermentación completa o parcial en el intestino grueso (AACC, 2001). La FD, constituida por las fracciones soluble e insoluble, tiene efectos fisiológicos y gastrointestinales, que son considerados benéficos para la salud, incluyendo la reducción de cáncer, obesidad, enfermedades cardiovasculares, hipercolesteremia y diabetes tipo II. Consecuentemente el consumo de alimentos que contengan FD es recomendable, lo cual ha impulsado al desarrollo de nuevos procedimientos tecnológicos para la preparación de polvos con alto contenido de FD con propiedades antioxidantes (Pantaleón-Velasco, 2014), también denominados CFD antioxidante. Los CFD se

caracterizan por una alta concentración de FD total (>50%) y cantidades significativas de antioxidantes naturales (tales como carotenoides, vitamina C y polifenoles), (Larrauri, 1999; O'Shea *et al.*, 2012). Se ha descrito que el procedimiento general para la obtención de CFD consiste en el lavado, secado y molienda en seco de los residuos de frutas (De Escalada Pla *et al.*, 2010; O'Shea *et al.*, 2012; Pantaleón-Velasco *et al.*, 2014).

La piña (*Ananas comosus*) es un fruto de la familia de las Bromeliaceas, originaria de Colombia y fue introducida en México en 1903. Actualmente México ocupa el octavo lugar a nivel mundial en producción de piña, siendo Veracruz y Oaxaca los que aportan el 85% de la producción a nivel nacional (SIAP-SAGARPA, 2014). La piña está constituida por agua, carbohidratos, azúcares, vitaminas A, C y β -carotenos, proteínas, grasas y cenizas, además de ácido cítrico, ácido ascórbico, FD y antioxidantes (Da Silva, 2013). Este fruto se comercializa tanto en fresco como procesado, del cual se generan importantes cantidades de residuos de diferentes líneas de procesamiento (jugos, néctares, almíbares), que están constituidos principalmente de cáscara, pulpa y corazón, en mayor o menor proporción y representan alrededor del 25-35% del peso del fruto en fresco (Mhatre, 2009; Selani, 2014). Estos residuos son únicamente utilizados como alimento para ganado, fertilizantes y la mayor parte desechada al medio ambiente, causando contaminación.

En la actualidad se ha dado auge al aprovechamiento de los residuos de la agroindustria de frutas como fuente de fibra dietaria, los cuales debido a la presencia de enzimas endógenas deteriorativas como la polifenoloxidasas, afectan negativamente la calidad sensorial y nutricional de los productos vegetales (Arnnok *et al.*, 2010), por lo que es importante estabilizarlas. Dicha inactivación, generalmente se hace mediante la aplicación de tratamientos de calor, como el escaldado, para la inactivación de dichas enzimas el cual consta en someter a elevadas temperaturas que oscilan entre 80-100°C y tiempos de 20 s a 15 min un producto alimenticio (Zambrano *et al.*, 2008).

El estudio del aprovechamiento de los residuos de la agroindustria de piña ha cobrado importancia debido a su composición nutrimental. El bagazo de piña se ha propuesto como ingrediente para enriquecer productos extrudidos (Selani *et al.*, 2014). Asimismo, se han estudiado subproductos de la agroindustria de piña cosechada en Ecuador, constituidos por cáscara y corazón, preparados parcialmente como CFD sin previo escaldado de la materia prima, el cual sugiere a dichos residuos como fuente de FD (Martínez *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las características físicas y químicas de salchichas tipo Viena enriquecidas con un concentrado de fibra dietaria antioxidante a partir de residuos escaldados de piña generados de la agroindustria.

MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PIÑA

La piña (*Ananás comosus*) pertenece a la familia de las Bromeliaceas, genero Ananás y especie comosus, siendo no climatéricas y producen pequeñas cantidades de etileno (Somogyi *et al.*, 1996). La planta de piña es una monocotiledónea, herbácea y perenne; crece aproximadamente un metro con tallo corto, el cual está cubierto por hojas lanceoladas, son envolventes y están en forma de espiral, tiene de 70 a 80 hojas por planta, los bordes de éstas pueden tener espinas o no, según sea la variedad. El sistema radicular de la planta de piña es muy superficial, generalmente las raíces se localizan en los primeros 15 centímetros; la inflorescencia contiene de 100 a 200 flores dispuestas en forma de espiral, fusionadas entre sí y con el tallo central, que dan origen a un fruto partenocárpico donde la cáscara está formada por los sépalos y brácteas de la flor (Domínguez-Barradas, 2013; Fundación Produce Sinaloa, 2011).

La piña es considerada como una de las frutas tropicales más finas, no solo de México, sino del mundo entero, aunque su cultivo se reduce a las zonas tropicales y subtropicales (Ferreira *et al.*, 2013). Se estima que la piña tropical fue cultivada por primera vez en Brasil y Paraguay. Por tratarse de una planta autoestéril que corrientemente no produce semilla botánica, la reproducción comercial de la piña se hace en forma vegetativa y requiere de un largo periodo de cultivo como se presenta en la figura 1 (Paull, 1997; Hajar *et al.*, 2012).



Figura 1. Fotografía de la planta de piña (Fundación Produce, 2005).

La piña es uno de los cultivos, para nuestro país, de mayor versatilidad, en cuanto se refiere a su adaptación a los diferentes sistemas de cultivo, tanto del pequeño y mediano productor como en las siembras intensivas en grandes extensiones. La piña tal como se muestra en la figura 2 es una fruta ampliamente utilizada en la industria de enlatados y para su consumo en fresco, ya que es considerada como una buena alternativa, por ofrecer un sabor exótico y poseer un alto contenido en vitaminas A y C, además de fibra y propiedades diuréticas.

De la piña el 13.5% lo conforma la corona, 12% es material aprovechable para jugo, el 54.5% es pulpa y el 20% restante lo forma el cilindro de piña empleando en rebanadas y trozos (10%) y molida (10%) (Rizzo, 2002).



Figura 2. Fruta de piña Cayena Lisa (Fundación produce, 2005).

2.1.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LA PIÑA

Actualmente, son muchos los países productores de piña entre los que destacan, Filipinas, Tailandia, Estados Unidos de Norteamérica, Sudáfrica, Kenia, Malasia, Costa de Marfil y Australia, entre otros, que en su conjunto producen más de las dos terceras partes de la producción mundial y la variedad de piña que más se cultiva son Champaka, la Cayena Lisa y la MD 2.

La piña ocupa el tercer lugar en producción mundial de los frutales tropicales, sólo superada por mango y plátano, de acuerdo con la Organización de las Naciones

Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En el año 2012 la producción estimada de piña para este año fue de 23 millones 333 mil 886 toneladas. El principal país productor es Tailandia con una producción de 2 millones 650 mil toneladas de piña cosechadas; seguido de Costa Rica y Brasil con una producción de 2 millones 484 mil 729 y 2 millones 478 mil 178 toneladas, respectivamente. México ocupa el noveno lugar a nivel mundial con una producción de 759 mil 976 toneladas (FAOSTAT, 2013) y esto se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Producción de piña a nivel mundial en el 2013.

País	Lugar	Producción (ton)
Tailandia	1	2,650,000
Costa Rica	2	2,484,729
Brasil	3	2,478,178
Filipinas	4	2,397,628
Indonesia	5	1,780,889
India	6	1,456,000
Nigeria	7	1,420,000
China	8	1,392,211
México	9	759,976
Mundo	---	23,333,886

Fuente: FAOSTAT, 2013.

2.1.2 PRODUCCIÓN NACIONAL DE PIÑA

De acuerdo a los datos de la Secretaría de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) la superficie cultivada con piña en México es de 28 mil 126 hectáreas. La producción obtenida para el año 2014 fue de 817 mil 462.62 toneladas. La región piñera por excelencia en México se ha concentrado en el Estado de Veracruz, seguida en orden de importancia por Oaxaca, Tabasco y Nayarit respectivamente. El Estado de Veracruz aporta 70% de la piña producida en el país con 567 mil 534 toneladas y esto se observa en la tabla 2 (SIAP-SAGARPA, 2014).

Tabla 2. Producción de piña a nivel nacional en el 2014

Estado	Lugar	Producción (ton)
Veracruz	1	567,534.00
Oaxaca	2	107,835.22
Tabasco	3	47,210.00
Nayarit	4	31,137.87
Jalisco	5	26,701.50
Colima	6	17,760.00
Quintana Roo	7	11,507.00
Chiapas	8	6,359.00
Campeche	9	688.9
Guerrero	10	448
Nacional	-	817,462.62

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2014.

La región de la cuenca del Papaloapan, que aglutina a media docena de municipios colindantes ubicados entre el sur del Estado del Veracruz y el norte del Estado de Oaxaca, en el sureste mexicano, ha sido la principal zona de producción de piña en el país. Los municipios de Villa Isla, Juan Rodríguez Clara, Villa Azueta y Chacaltianguis, junto a los municipios de Loma Bonita y Tuxtepec, en Oaxaca, concentran el 85% de la producción de piña en México. La principal producción se centra en Ciudad Isla (municipio de Villa Isla), donde se localizan las oficinas de los productores y exportadores más importantes de la zona (Caamal *et al.*, 2003; SIAP-SAGARPA, 2014).

Estadísticas del Estado de Oaxaca muestran que la producción de piña se concentra principalmente en el municipio de Loma Bonita con una producción de 77 mil 943 ton, seguido del municipio de San Juan Bautista, Tuxtepec con una producción de 29 mil 430 ton y esto se muestra en la tabla 3 (SIAP-SAGARPA, 2014).

Tabla 3. Producción de piña en el Estado de Oaxaca en 2014.

Municipio	Producción (ton)
Loma Bonita	77,943.00
San Juan Bautista Tuxtepec	29,430.00
San Juan Guichicovi	148
Santa María Zaniza	132.85
San Lorenzo Texmelucan	91.22
Santo Domingo Teojomulco	90.15
TOTAL	107,835.22

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2014.

Los productores de piña de la región cuentan con alternativas de venta a la industria elaboradora de jugos dentro de las cuales se pueden mencionar a: Agroindustrias Loma Bonita, S.A., Productos Loma Bonita, Santa Mónica, MAFRUT, S.A. de C.V., Integradora Piñera de Loma Bonita, S.A., entre otras.

2.1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PIÑA

La piña es un fruto constituido principalmente por un 80 a 85% de agua y 12 a 15% de azúcares principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, no contiene almidón y su contenido de proteínas y grasa es muy baja. Contiene de 0.6-0.9% de ácidos de los cuales 87% es ácido cítrico y el resto ácido málico. Es rica en Vitamina C, B1, B2 y B6 (Sánchez, 2013), además tiene fibra dietaria, β -caroteno y minerales como el potasio, calcio, hierro, sodio, zinc y magnesio. La piña contiene diversas enzimas como la proteasa y la bromelina que difieren unas de otras por su capacidad de oxidar y reducir sustratos específicos (Castañeda, 2003).

La composición en porcentaje de una piña típica de la variedad Cayena lisa es: pulpa 33%, corazón 6%, cáscara 41% y corona 20% (Pulido, 2007). Además de su sabor agradable a la piña se le atribuyen cualidades medicinales y terapéuticas que benefician al consumidor, entre ellas destacan:

- La acción de la bromelina se relaciona con la secreción de sustancias pancreáticas, ayudando a regular la acidez del estómago.
- El ácido cítrico y málico contribuyen al buen funcionamiento de los riñones, estimula la producción de colágeno y ayuda a mantener la piel sana.
- Ayuda a los tratamientos de resfriados, dolor de garganta y bronquitis, al disolver la mucosidad formada, entre otros.

La tabla 4 muestra datos publicados sobre la composición nutricional de la piña reportado por el departamento de agricultura de EE.UU (USDA, 2015).

Tabla 4. Composición nutrimental de la piña por cada 100 g de porción comestible.

NUTRIENTE	UNIDAD	VALOR
Agua	g	87.24
Energía	kcal	45
Proteína	g	0.55
Grasas	g	0.13
Carbohidratos	g	11.82
Azúcares	g	8.29
Calcio	mg	13
Hierro	mg	0.25
Magnesio	mg	12
Fosforo	mg	9
Potasio	mg	125
Sodio	mg	1
Zinc	mg	0.08
Vitamina C	mg	16.9
Tiamina	mg	0.078
Riboflavina	mg	0.029
Niacina	mg	0.47
B-caroteno	mcg	31
Vitamina B-6	mg	0.106
Vitamina A, RAE	µg	3
Vitamina A, IU	IU	52
Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Vitamina D	IU	0
Vitamina K	µg	0.7

Fuente: USDA, 2015; IU=unidad internacional.

En estudios realizados se ha demostrado que la piña contiene compuestos bioactivos como los carotenos y polifenoles, los cuales son reconocidos como antioxidantes naturales, por lo que la piña se utiliza a nivel mundial de distintas maneras (Larrauri *et al.*, 1997).

2.1.4 USOS DE LA PIÑA

Su agradable sabor y aroma, así como su contenido en vitaminas A y C, hacen que la piña sea altamente demandada en los diversos mercados internacionales, sobre todo en Estados Unidos y Europa.

La piña es uno de los cultivos de fruta de mayor versatilidad en México, se utiliza principalmente para su consumo en fresco (en rebanadas, dulce, conservas, entre otros) y para su procesamiento a nivel industrial. En la industria se generan diversos productos a partir de la piña, principalmente: piña en almíbar, jugos, néctares, jaleas, mermeladas, vinagres, entre otros (SIAP-SAGARPA, 2014). Además, de estos productos se generan también importantes cantidades de residuos durante su procesamiento, los cuales son únicamente utilizados como alimento para ganado o desechados al medio ambiente, causando contaminación (Rodríguez *et al.*, 2006).

En estudios realizados en cáscara de piña se encontraron valores de fibra dietaria (FD) de 70.6%, asociada a un elevado contenido de miricetina, principal polifenol identificado y que puede ser el responsable de la actividad antioxidante encontrada en este subproducto (Larrauri *et al.*, 1997). Otros estudios realizados a partir de los residuos provenientes de la industria piñera, muestran la obtención de bromelina a partir de los residuos de piña (Cassellis *et al.*, 2003). Asimismo, en otro estudio se realizó el aprovechamiento de bagazo de piña con la finalidad de extraer celulosa y mediante hidrólisis ácida de celulosa y bagazo se obtuvo glucosa (Cruz *et al.*, 2011).

En este mismo sentido Suleiman en el 2004 y Martínez *et al.*, 2012 identificaron que los subproductos de piña son buena fuente de FD, al tener un alto grado de FD soluble. La FD de piña ha sido empleada en forma efectiva en la producción de

compuestos fenólicos a partir de la fermentación de la pulpa con el hongo *Rhizopus oligosporus* (Correia *et al.*, 2004) y en la fabricación de polímeros biodegradables para empaques (Satyanarayana *et al.*, 2009).

2.2 FIBRA DIETARIA

2.2.1 DEFINICIONES DE LA FIBRA DIETARIA

En los Estados Unidos, la fibra dietaria se define sobre la base de los métodos de análisis aprobados por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (por sus siglas en inglés, AOAC) en 1992, la definió como la parte remanente comestible de las células vegetales, polisacáridos, lignina y sustancias asociadas resistentes a las enzimas digestivas humanas. Esta definición incluye macro constituyentes de los alimentos como celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas, celulosa, mucilagos, oligosacáridos, pectinas y sustancias minoritarias (De Vries *et al.*, 1999).

La Asociación Americana de Químicos en Cereales (2001) (por sus siglas en inglés AACC), define a la FD como la parte comestible de las plantas o análogos de carbohidratos, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado del humano con una fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La FD dietaria incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de las plantas; considerando componentes no estructurales como gomas, mucilagos y pectinas. La principal fuente de los componentes de la fibra dietaria es la pared celular, la cual presenta propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas debido a sus regiones amorfas y cristalinas. Las principales propiedades de la pared celular son la hidratación, intercambio iónico y adsorción orgánica (Dikeman y Fahey, 2006).

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETARIA

La fibra dietaria desde el punto de vista biológico se clasifica en soluble e insoluble; en función de su dispersión en el agua. Cada fracción presenta diferentes propiedades fisicoquímicas que dependen de su estructura química (Grigelmo *et al.*, 1999).

En la fibra se encuentran presentes compuestos bioactivos asociados (flavonoides, polifenoles y vitamina C) con propiedades antioxidantes que actúan como esponja en el organismo, reteniendo agua, nutrientes, ácidos biliares y agentes carcinogénicos, lo que favorece su uso como ingrediente funcional en alimentos. Se ha comprobado que todos los tipos de fibras tienen diferentes resultados a su paso por el intestino delgado y grueso dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, las cuales dependen básicamente de la composición en cuanto a fibra soluble e insoluble.

Las propiedades fisiológicas de la fibra dietaria, están afectadas por sus características fisicoquímicas como capacidad de retención de agua, capacidad de retención de moléculas orgánicas, viscosidad, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de ácidos biliares, fermentabilidad, entre otros (Elleuch *et al.*, 2011).

2.2.2.1 Fibra Soluble

La fibra soluble es soluble en agua y se compone de elementos que forman un gel o una red viscosa de manera que liga el agua, aumentando la viscosidad, que da volumen a estructuras como la inulina, pectinas, mucilagos, gomas y β -glucanos. Estas sustancias, que predominan en frutas, son utilizadas por los microorganismos intestinales especialmente la flora del colon y se asocia al enlentecimiento del vaciado gástrico, retrasando la absorción de glucosa, lípidos y esteroides y con la reducción de colesterol y glucosa. Por tanto, este tipo de fibra se conoce como fibra fermentable (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Núñez, 2014).

En contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de alta viscosidad. Los efectos 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 solubles que desarrollan una viscosidad *in vitro*, aumentan la viscosidad en el estómago y el contenido en el intestino delgado. La viscosidad de estas fibras,

a su vez, depende de la distribución del peso molecular, mientras que los contenidos de viscosidad presentes en el intestino delgado difiere a partir de la viscosidad medida antes de la ingestión. Su acción en el tracto gastrointestinal para modificar la viscosidad es primeramente debido a la dilución de los contenidos por las secreciones del tracto gastrointestinal.

Las acciones de la motilidad de soluciones viscosas pueden influir en la absorción por retrasar el vaciado gástrico, perjudicando la conducción o la mezcla en el intestino delgado superior, altera el sitio de absorción, y retrasar el tiempo de tránsito del intestino delgado. Estos efectos reflejan más los cambios en los niveles de azúcar y lípidos postprandiales, y reducen la biodisponibilidad de los micronutrientes y muchos otros debido a la ingesta de FD (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Baena y García, 2012; Plaami, 2009). La fibra dietaria está constituida de diversos componentes, los cuales se definen a continuación.

I. Pectinas. Son polisacáridos heterogéneos ramificados que contienen numerosos residuos de ácido α -D-galacturónico con uniones α -(1-4) tal como se muestra en la figura 3, lo que les da una carga global negativa y un alto grado de hidratación. Las pectinas suelen ir unidas a calcio como pectatos de calcio, se encuentran en la lámina media de la pared celular vegetal, formando geles rígidos e insolubles. Tienen amplio uso industrial, conocido por su capacidad de ligar agua es utilizada en la industria de alimentos como agente gelificante, espesante y agente que ayuda a mantener ciertas suspensiones.

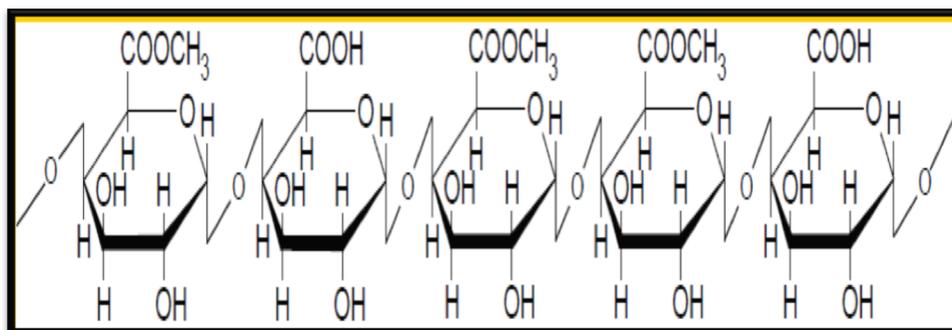


Figura 3. Estructura química del polímero formado por ácido galacturónico (Baena y García, 2012).

II. Mucílagos. El mucílago es un producto orgánico de origen vegetal, de peso molecular elevado, superior a 200,000 g/gmol, cuya estructura molecular completa es desconocida. Están conformados por polisacáridos celulósicos que contienen el mismo número de azúcares que las gomas y pectinas. Se suelen confundir con las gomas y pectinas, diferenciándose de estas sólo en las propiedades físicas. Mientras que las gomas se hinchan en el agua para dar dispersiones coloidales gruesas y las pectinas se gelifican; los mucílagos producen coloides muy poco viscosos, que presentan actividad óptica y pueden ser hidrolizados y fermentados.

III. Gomas. Al contrario de los mucílagos, estas están formadas por largas cadenas de ácido urónico, xilosa, arabinosa o manosa, así como se observa en la figura 4. Proviene de la transformación de polisacáridos de la pared celular. Se encuentran en arábigo, karaya, tragacanto, gelana, goma guar entre otras.

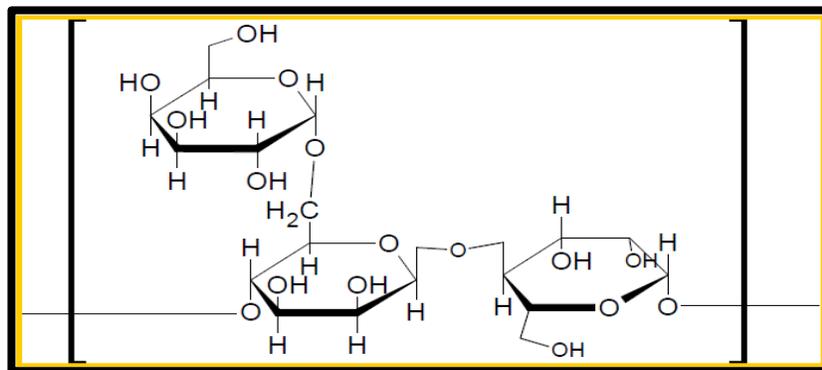


Figura 4. Estructura química goma guar (Baena y García, 2012).

Las pectinas, las gomas y los mucílagos en el organismo tienen la función de retener ácidos biliares, reducir la evacuación gástrica e incrementar la fermentación colónica.

IV. Almidón Resistente (AR). Es la suma de almidón y de los productos procedentes de la degradación del almidón que no son digeridos en el intestino de los individuos sanos (Englyst *et al.*, 2007) y sufren la fermentación en el colon. Sin embargo, una pequeña proporción escapa a la degradación y es eliminada por las heces (Cummings y Stephen, 2007).

Según Baixauli (2007) los almidones resistentes (AR) no se hidrolizan en la etapa de la digestión humana. Esto es porque las enzimas digestivas no son capaces de penetrar el polímero lineal de amilosa que se encuentra en este tipo de almidón con alto contenido en amilosa.

2.2.2.2 Fibra Insoluble

La fibra insoluble se compone de sustancias que no se disuelven en agua (celulosa, hemicelulosa, lignina, y almidón resistente), están presentes en mayor proporción en las legumbres, cereales (avena y cebada) y leguminosas. Sus componentes resisten la acción del intestino, por lo tanto, los microorganismos y esta fibra pueden ser clasificados como no fermentables.

La fibra insoluble o poco soluble es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad. La FD insoluble tiende a actuar como un agente de carga que acorta el vaciamiento gástrico y los tiempos de tránsito colónico. Después de pasar a través del intestino delgado, los carbohidratos son fermentados en el colon por las bacterias anaerobias en ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que son absorbidos. Los principales efectos sobre la función del colon debido a la adición de la fibra dietaria a la dieta y su fermentación en ácidos grasos de cadena corta (AGCC) incrementan la producción de heces, la aceleración del tiempo de tránsito colónico y el aumento de la expulsión de gases colónicos.

Además de un mayor incremento de las heces, causada por el peso por parte de la masa de la alimentación no degradable y la masa bacteriana, la FD aumenta el contenido de agua en las heces. La capacidad de retención de agua refleja la capacidad que tiene la fibra dietaria a hincharse y por lo tanto aumenta el peso de las heces. También contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Baena y García, 2012; Plaami, 2009).

I. **Celulosa.** Es un polisacárido formado por unidades de anhidroglucosa las cuales están unidas por enlaces 1-4 β -glucosídicos como se observa en la figura 5

de al menos 500 residuos de β -D-glucosa unidos covalentemente. Este tipo de configuración β le permite a la celulosa formar cadenas largas y lineales, las cadenas no se presentan aisladas si no unidas entre sí mediante puentes de hidrógeno, formando una estructura supramolecular cristalina, organizada, y resistente a hidrólisis. En la pared secundaria tiene su máximo desarrollo mientras que en la pared primaria son más cortas. Grupos de 36 cadenas lineales con la misma orientación, forma y polaridad constituye una fibrilla elemental. 20 fibrillas elementales forman una microfibrilla de celulosa, el cual es el estado típico de la celulosa en la pared celular primaria, 250 microfibrillas forman una fibrilla y unas 1500 fibrillas forman una fibra de celulosa, estructura que solo aparece en la pared celular secundaria. Las fibras de celulosa se estabilizan por puentes de hidrógeno entre la misma molécula y puentes de oxígeno entre las moléculas adyacentes, formando una estructura fuerte y de gran resistencia.

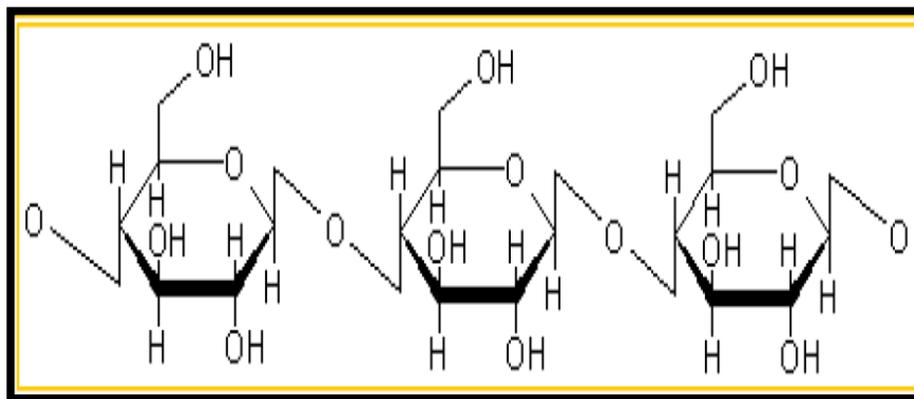


Figura 5. Estructura molecular de la celulosa (Baena y García, 2012).

La celulosa tiene capacidad de retención de agua, reducción de la presión colónica y reducción del tiempo de tránsito intestinal.

II. Hemicelulosa. Son un grupo heterogéneo de polisacáridos (pentosas, sobre todo D-xilano) ramificados que se unen fuertemente entre sí y las microfibrillas de celulosa como se observa en la figura 6, mediante puentes de hidrógeno, tienen estructura amorfa o paracristalina. Las moléculas de hemicelulosa tienen de 200 a 500 monosacáridos por molécula y se sintetizan en el aparato de Golgi. La Hemicelulosa más abundante es el xiloglucano.

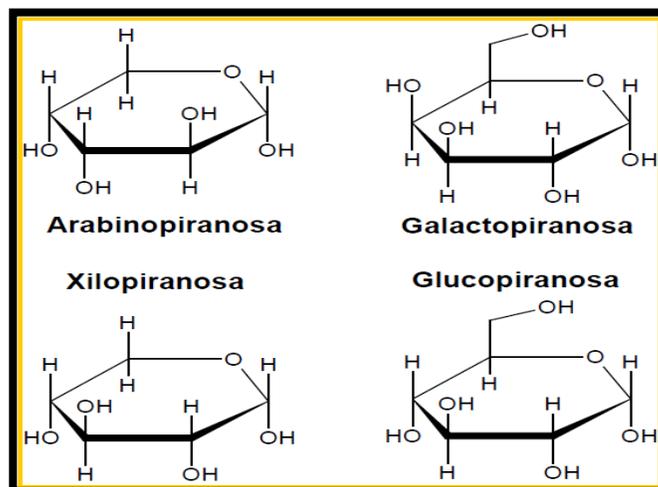


Figura 6. Estructura química de los componentes principales de la hemicelulosa (Baena y García, 2012).

La hemicelulosa tiene diversas funciones entre las que se encuentran la capacidad de retención de agua, el incremento de la masa fecal, reducción de la presión colónica, reducción del tiempo de tránsito intestinal y posibilidad de retener ácidos biliares.

III. Lignina. Fennema (2000) describe a la lignina como la más hidrófoba de los componentes de la fibra y que este no es un carbohidrato, está compuesto por unidades de fenilpropano que forman una matriz a base de la condensación de tres alcoholes fenólicos primarios, cumarílico, coniferílico y sinapílico, que se une covalentemente a muchos polisacáridos generando una estructura muy fuerte y resistente a la degradación. Puede depositarse entre las microfibrillas de la celulosa. Contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignificación de las paredes celulares en especial del xilema y el esclerénquima imparte rigidez y dureza a estos tejidos, lo que permite mayor resistencia al ataque de microorganismos. Por lo tanto, cuando un vegetal se encuentra maduro, ésta se hace más rica en lignina y pierde progresivamente la capacidad de retener agua. La lignina se destaca por su capacidad de retención de agua, ligada de minerales, aumento de excreción y posibilidad de incrementar la defecación.

2.2.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA FD

Las moléculas de fibra poseen características químicas y físicas únicas y las propiedades responsables de provocar respuestas fisiológicas. Algunas de estas características incluyen la degradación bacteriana, la capacidad de retención de agua, la adsorción de materiales orgánicos y capacidad de intercambio catiónico.

Dos propiedades fisicoquímicas de la fibra, la viscosidad y la fermentabilidad, han sido reconocidas como la producción de respuestas fisiológicas benéficas. Lo viscoso de las fibras dietarias se refiere a la capacidad de algunos polisacáridos para espesar o formar geles cuando se mezcla con líquidos e incluyen muchos polisacáridos solubles, tales como gomas, pectinas, y β -glucanos. El grado de engrosamiento cuando se expone a los fluidos depende de la composición química y la concentración de los polisacáridos.

La viscosidad de las fibras se ha asociado con alteraciones de la glucosa en sangre y las concentraciones de colesterol, el vaciado gástrico prolongado, y el tiempo de tránsito más lento a través el intestino delgado. La fermentabilidad se asocia sobre todo con la función del intestino grueso. La fibra soluble tiene efectos benéficos sobre la microflora del colon donde es fermentada generando ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Los AGCC son sustratos preferenciales para las células intestinales, mientras que el fermentado lentamente o incompletamente de las fuentes de fibra, mejoran la salud intestinal mediante la promoción de un efecto laxante, reducen el tiempo de tránsito e incrementan el peso de las heces (Plaami, 2009).

2.2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES O TECNOFUNCIONALES DE LA FD

Denominadas así por su asociación a los efectos deseables en los productos alimentarios y con efectos fisiológicos benéficos en el organismo (Zúñiga, 2005). La funcionalidad de un componente o ingrediente de un alimento puede definirse como cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas

de las características de un alimento y que contribuye a calidad del producto final (Badui, 1999).

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 dietaria insoluble/fibra dietaria soluble (FDI/FDS), el tamaño de la partícula, la fuente, así como por el grado y el tipo de procesamiento llevado a cabo.

Estas propiedades se determinan por lo general *in vitro* y sirven para darnos una idea de su comportamiento *in vivo*, ya que en este medio están sometidas a un entorno fisiológico muy complejo y a una serie de mecanismos que pueden modificarla. Cuando las fibras son utilizadas en la elaboración de alimentos, las propiedades fisicoquímicas influyen también en las características físicas de éstos, especialmente cuando se usan como agentes gelificantes, espesantes y/o estabilizantes (Valencia, 2006).

Además de las propiedades mencionadas anteriormente, se evalúa la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de retención de aceite (CRAc).

2.2.4.1 Tamaño de Partícula

El tamaño de partícula de una fibra dietética tiene un papel importante en la función del colon al afectar el tiempo de tránsito, la fermentación, y aumentar el volumen fecal (Guillon y Champ, 2000). El tamaño de partícula inicial de una fibra cambia después de la ingestión, debido a la masticación, molienda del estómago y degradación por las bacterias intestinales. El análisis de la distribución de tamaño de partícula normalmente se lleva a cabo por tamizado en seco a través de una serie de tamices con un tamaño de malla decreciente (Tosh y Yada, 2010). Fuertes en el 1998 señala que el tamaño ideal de partículas de fibra para consumo humano se ubica en un intervalo de 50 a 500 μm ; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, tamaños menores pueden presentar problemas en la hidratación al

favorecerse la formación de grumos, ocasionar apelmazamiento y por lo tanto compresión del producto.

2.2.4.2 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es una propiedad importante de la fibra dietaria, desde los puntos de vista fisiológico y tecnológico. Esta propiedad expresa la máxima cantidad de agua en mililitros, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza de gravedad centrífuga externa o de compresión (Plaami, 2011), los resultados se expresan en mililitros de agua por gramo de muestra seca (Elleuch *et al.*, 2011). Se compone de la suma de agua unida, agua hidrodinámica y, sobre todo, el agua atrapada físicamente (Ku y Mun, 2008). Generalmente, la CRA de cada fibra se correlaciona con la cantidad de fibra insoluble y la granulometría de los subproductos.

En otros términos, las propiedades de hidratación de la fibra dietética se refieren a su habilidad de retener agua dentro de su matriz, propiedades que dependen en gran medida de la naturaleza fisicoquímica de los constituyentes de la fibra. Están determinadas fundamentalmente por su contenido en pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas solubles, mientras que la celulosa, hemicelulosa insoluble, lignina y otros componentes relacionados con la fibra tienen una influencia limitada sobre estas propiedades (Figuerola *et al.*, 2005).

El objeto de evaluar la capacidad que tiene la fibra de retener agua, es 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 CRA. De esto depende su grado de asociación con efectos saciantes, aumentando así el tamaño del bolo alimenticio, mejorando el flujo intestinal e incrementando el volumen y peso de las heces, además de su efecto laxante. Los alimentos ricos en fibra soluble como frutas y verduras presentan mayor capacidad de hidratación que los cereales.

Estas propiedades de hidratación de la fibra dietaria determinan el nivel óptimo de uso en los alimentos debido a la textura que se desea obtener y de esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación al alimento (Elleuch *et al.*, 2011). La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Entre los factores que influyen en la capacidad de retención de agua en la fibra, se encuentran el tamaño de partícula, el pH, la fuerza iónica (Baquero y Bermúdez 1998) y la presencia de otros compuestos que también retienen agua, como los azúcares y el almidón (Nelson, 2001).

2.2.4.3 Capacidad de Retención de Aceite (CRAc)

La capacidad de retención de aceite (CRAc) es también una propiedad tecnológica relacionada con la estructura química de los polisacáridos de plantas y depende de su composición química y estructura física.

La fibra dietaria tiene la habilidad de atrapar aceite debido a que está constituida por redes que se forman de manera natural. La composición química de la fibra juega un papel muy importante, la habilidad para retener aceite es más función de la porosidad de la estructura que de la afinidad de ésta por las moléculas de aceite (Nelson, 2001).

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 centrífuga. 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 (Schneeman, 2005; Elleuch *et al.*, 2011).

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 de fibra (Cruz, 2002). 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 (Peraza, 2000). La capacidad de las fibras dietarias para retener el aceite puede ser importante en aplicaciones alimentarias, por ejemplo, en la prevención de pérdidas de grasa durante la cocción y también en la alimentación donde la capacidad de absorber o unirse a ácidos biliares y aumentar su excreción se asocia con la reducción de colesterol en plasma (Schneeman, 1999; Tosh y Yada, 2010).

2.2.4.4 Capacidad de Hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento es otra propiedad de hidratación importante que se relaciona directamente con los componentes de celulosa presentes en la fibra. Se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de exceso de agua (mL de volumen/g fibra), por ejemplo, la fibra (100-200 mg) se hidrata con agua (10 mL) durante 18 h con ninguna tensión externa, excepto la gravedad. Esta propiedad es influenciada por la cantidad de componentes, porosidad y tamaño de partícula de la fibra (Tosh y Yada, 2010).

2.2.4.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Esta propiedad puede estar ligada a la absorción de minerales y depende fundamentalmente del medio en que estén las fibras (Fuerza iónica, pH). Algunas fibras se comportan como resinas de bajo intercambio de cationes mono funcionales debido a la presencia de ácidos galacturónicos en las paredes primarias y glucurónicos en las paredes secundarias (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010).

2.3 INGESTA Y USOS DE LA FIBRA DIETARIA

Diferentes organizaciones internacionales han elaborado recomendaciones nutricionales para la ingesta de fibra dietaria. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingestión diaria de 27 a 40 gramos de fibra dietaria, mientras que la administración de alimentos y drogas (FDA) propone a individuos adultos un

consumo de 25 gramos de fibra por día por cada 2000 Kcal/día. Por otra parte el instituto nacional de cáncer (por sus siglas en inglés NCI) considera un consumo óptimo entre 20-30 g/día para la prevención de cáncer de colon, sugiriendo no excederse de los 35 g/día de fibra dietaria.

La Asociación Americana de Dietética (AAD) recomienda a los adultos consumir una dieta que contenga de 20-30 g/día de fibra dietaria, de la cual 3-10 g deben ser de fibra soluble procedente de diversas fuentes vegetales. En el 2002, la asociación nacional de salud (ANS) estableció nuevas recomendaciones de fibra dietética para diferentes grupos biológicos, donde se propone como ingesta adecuada de fibra dietaria una porción de 25-38 g/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 ingesta adecuada se situó en 19 g/día.

De acuerdo con estudios documentados, la fibra dietaria juega un papel importante en la prevención de diversas enfermedades, y las dietas con un alto contenido de fibra, tales como aquellas que son ricas en cereales, frutas y verduras, tienen un efecto positivo en la salud lo cual se aprecia en la figura 7, ya que su consumo se ha relacionado con una menor incidencia de varios tipos de cáncer, enfermedades coronarias, diabetes y problemas digestivos. El consumo de fibra ha adquirido importancia en los últimos años, obligando a la industria alimentaria a desarrollar nuevos productos, más saludables y con un alto contenido de fibra dietética, vitaminas y bajo contenido de colesterol, que han sido formuladas utilizando materias primas ricas en fibra de cereales (salvado de cereales), de vegetales (cebolla, ajo y alcachofa) y de legumbres (Cañas *et al.*, 2011; Goñi y Hervert, 2011).

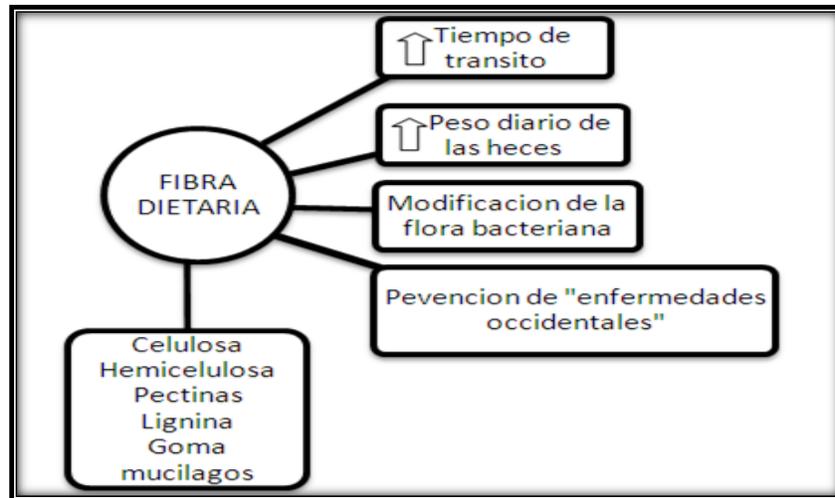


Figura 7. Diagrama sobre la incidencia de la fibra en la salud (Baena *et al.*, 2012).

En la actualidad se han realizado muchos estudios en los cuales se ha obtenido fibra dietaria a partir de residuos agroindustriales de frutas o vegetales, pero la mayoría se centra principalmente en los residuos obtenidos a partir de frutas (cítricos, piña, guanábana, entre otros), ya que estos presentan un alto contenido de FD (Grigeldo *et al.*, 2007; Tamayo y Bermúdez, 1998; Jiménez *et al.*, 2005), y una vez que son procesados se pueden generar concentrados de FD que son considerados un ingrediente funcional debido a que presentan compuestos bioactivos asociados (flavonoides y vitaminas C) con propiedades antioxidantes, alto contenido de FD (>50 %), bajo contenido de humedad (< 9 %) y de lípidos, bajo contenido calórico (< 8.36 KJ/g) y un sabor y aroma neutro (Saura-Calixto, 1996; Larrauri, 1999; Fernández-Ginés *et al.*, 2004), que pueden darle al alimento la característica de ser mejor nutricionalmente o brindar funciones benéficas al organismo, por lo anterior la FD se utiliza ampliamente para adicionarse en diversidad de alimentos por sus características particulares y efectos fisiológicos que posee, principalmente como ingrediente funcional en productos cárnicos.

2.4 CÁRNICOS

Desde el punto de vista nutricional, la carne juega un papel importante en la dieta por su composición nutricional, el Codex Alimentarius la define como “todas las

partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano”. La carne se compone principalmente agua (40-75%), proteína de alto valor biológico (11-25%): un 40% de sus aminoácidos son esenciales y grasa (1-47%), cuyas proporciones pueden variar dependiendo del animal, edad, sexo, alimentación y zona anatómica analizada, además de ácidos grasos, minerales y vitaminas, Fe^{+2} y Zn^{+2} de alta biodisponibilidad; tiamina, niacina, retinol y vitaminas B6 y B12, principalmente) y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos (FAO, 2015).

La carne es el tejido muscular (liso o estriado) de los animales, está constituida principalmente por el músculo en sí y tejido conectivo, el cual puede ser: grasa, hueso, cartílago y el tejido conectivo propiamente dicho; en la alimentación humana se utiliza de manera directa o procesada como se observa en la figura 8.



Figura 8. Productos cárnicos (SAGARPA, 2008)

La carne es comercializada en forma fresca o procesada en una gran variedad de productos cárnicos, debido a que estos son importantes en la alimentación, pues proporcionan una fuente de proteínas variables en la dieta (SEP-Trillas, 1997; FAO, 2015).

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS

A lo largo de los años se han desarrollado en todo el mundo una gran variedad de productos cárnicos elaborados o semielaborados con diferentes características gustativas. En algunas regiones existen cientos de productos cárnicos, con nombres y sabores diferentes. La clasificación de los productos cárnicos constituye el punto de partida para su normalización, que se realiza estableciendo normas de identidad y especificaciones de calidad, y también para los procedimientos de certificación de la calidad de la producción y del sistema preventivo de control de calidad de análisis de riesgos y control de puntos críticos.

Las clasificaciones de los cárnicos son diversas y se basan en criterios tales como, tipo de materia prima que los componen, estructura de su masa, si son o no embutidos, si se someten o no a la acción de calor o algún otro proceso característico en su tecnología de elaboración, forma del producto terminado, su durabilidad o cualquier otro criterio o nombres derivados de uso, esta clasificación se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de productos cárnicos

Grasas	Productos cárnicos curados	Productos cárnicos procesados crudos	Productos cárnicos-cocidos	Productos cárnicos crudos-cocidos
Manteca Sebo	Jamón crudo ahumado Jamón cocido Chuleta ahumada Tocino	Salami Chorizo Longaniza Coteguini Hamburguesa	Morcilla Moronga Patés Queso de puerco	Mortadela Salchicha tipo Viena, Cocktail, tipo Franckfort Salami cocido

Fuente: SEP-Trillas, 1997; FAO, 2015.

2.4.1.1 Grasas

La grasa es el tejido adiposo de los animales, constituido por el tejido conjuntivo, gotitas de grasa y agua. Las grasas de mayor utilización industrial son las de cerdo, que se utilizan para la preparación de productos como embutidos, tocino y manteca.

2.4.1.2 Productos Cárnicos Curados

La carne de estos productos se somete al curado con el fin de mejorar la capacidad de conservación, el sabor, el olor y la consistencia del producto, entre las principales carnes curadas se tienen al jamón crudo, el tocino y la chuleta, entre otros.

2.4.1.3 Productos Cárnicos Procesados Crudos

Son productos de salchichonería elaborados con carne, grasa de cerdo, sangre, vísceras, despojos y condimentos. La masa cárnica es embutida en envolturas naturales o artificiales para proporcionar forma, aumentar la consistencia y para que se pueda someter el embutido a tratamientos posteriores. De acuerdo con el tipo de materias primas utilizadas, su forma de preparación y la tecnología de elaboración se distinguen en tres clases: crudos, cocidos y escaldados.

2.4.1.4 Productos Cárnicos Cocidos

Esta clase de embutidos se fabrican a partir de carne y grasa de cerdo, vísceras, sangre, corteza, despojos y tendones. Estas materias primas son sometidas a un tratamiento de calor antes de ser sazonadas, trituradas y embutidas, los embutidos se cuecen nuevamente y opcionalmente se ahúman. Entre los embutidos cocidos que comúnmente se encuentran en el mercado tenemos a la moronga y queso de puerco, entre otros.

2.4.1.5 Productos Cárnicos Crudos-Cocidos

Los embutidos escaldados se elaboran a partir de carne fresca, no completamente madurada. Estos embutidos se someten al proceso de escaldado antes de la

comercialización. Este tratamiento de calor se aplica con el fin de disminuir el contenido de microorganismos, de favorecer la conservación y de coagular las proteínas, de manera que se forme una masa consistente.

En la actualidad las salchichas y el jamón son los productos cárnicos más populares y de alto consumo alrededor del mundo. El volumen de producción nacional de jamón y salchichas para el año 2007 fue de 750 toneladas pasando al año 2012 con una producción de 925 toneladas, habiendo un incremento de la producción de carnes con valor agregado del 30% del año 2007 al 2012 (Estevan-Fernández, 2013). México ocupa actualmente el séptimo lugar en el consumo de embutidos, debido a su facilidad de manipulación y a su bajo costo. Sin embargo, la preocupación creciente sobre el riesgo potencial para la salud asociados con el consumo de alimentos altos en grasa ha conducido a la industria a desarrollar nuevas formulaciones o modificar productos alimenticios tradicionales que contengan menos grasa (Mendoza *et al.*, 2001).

➤ **Salchichas.** De acuerdo a la NMX-F-065-1984 las salchichas se define como un producto alimenticio embutido de pasta semifirme de color característico, elaborado con la mezcla de carne (60% mínimo) de ternera o res y cerdo y grasas de las especies antes mencionadas, adicionando condimentos, especias y aditivos para alimentos, sometidos a curación pudiendo ser ahumados o no, sometidos a cocción y enfriamiento, empacados en material adecuado para su distribución y conservación en refrigeración. Las salchichas deben cumplir con las especificaciones sensoriales establecidas en la Norma NMX-F-065-1984, las cuales son: color: rosado característico, según el tipo de que se trate; olor: agradable característico, exento de olores extraños; sabor: agradable, característico, exento de sabores extraños; consistencia: masa compactada, semiblanda.

Dependiendo de las características que posean las salchichas y de acuerdo a la NMX-F-065-1984, las salchichas se pueden clasificar en diversos tipos: salchichas tipo Viena, Franckfort, Cocktail.

Para la elaboración de embutidos y carnes frías se utilizan diversas materias primas como son la carne de cerdo, de aves, de res, grasa, sustancias curantes, entre otras, las cuales son las principales materias primas que los constituyen.

2.4.2 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN ELABORACIÓN DE SALCHICHAS

Para la elaboración de las salchichas se utilizan una gran variedad de materias primas las cuales deben poseer características únicas, las cuales se definen a continuación (SAGARPA, 2014; SEP-Trillas, 1997).

a) Carne: La carne usada en la preparación de salchichas debe ser magra, obtenida de cerdo, res, pavo y pollo, será pulpa o paleta, con o sin hueso, con o sin piel y con distintos niveles de limpieza de grasa, nervios y tendones, del tipo de carne depende la estabilidad de la salchicha y sus propiedades físicas. Las proteínas de la carne sirven en el procesado para emulsionar la grasa y el agua.

b) Grasa: La grasa puede estar distribuida homogéneamente en toda la pieza, la grasa es el componente más variable de las carnes procesadas. Es muy importante porque afecta directamente el sabor, la textura, la vida útil y el beneficio.

Las células adiposas están constituidas principalmente por una clase de lípidos llamados triglicéridos, constituidos por ácidos grasos y glicerina. Estos ácidos grasos varían en su longitud y en el tipo de enlace que presentan entre sí. Si el enlace es sencillo se les llama saturados y si tienen enlaces dobles se les llama insaturados. El hecho de que las grasas sean saturadas o insaturadas y la longitud de la cadena de ácidos grasos les confiere la propiedad de ser líquidas a temperatura ambiente o sólida. Si la grasa contiene una mayor proporción de enlaces dobles, esta tiende a ser sólida y tiene un punto de fusión más alto que las grasas saturadas.

Una grasa insaturada (con mayor número de dobles enlaces), tiende a oxidarse más rápidamente que aquella saturada. Esto es porque los dobles enlaces son

fácilmente atacados formando compuestos que se perciben por su olor y sabor característicos y a los que llaman “rancios”. La grasa de cerdo tiene más ácidos insaturados por lo que es más susceptible a oxidarse que la de vacuno u ovino.

c) Agua: Aunque el músculo ya contiene una gran cantidad de agua (60-70 %) frecuentemente se agrega agua adicional en carnes procesadas por razones de funcionalidad. Esta propiedad del agua sirve para disolver y uniformar la distribución de otros ingredientes no cárnicos y también sirve para solubilizar a las proteínas de la carne. La distribución es muy importante para ingredientes tales como las sales de curación que se utilizan en cantidades muy pequeñas. La solubilización de las proteínas de la carne es crítica para obtener un buen comportamiento de la emulsión y para las propiedades de liga de la carne.

La cantidad de agua adicionada puede ser importante tanto para la textura como para el rendimiento de los productos. El agua adicionada puede contribuir a una placentera suavidad y buena calidad en la boca, mientras que demasiada agua volverá al producto suave y pastoso. Aunque el agua es ciertamente un ingrediente funcional importante, puede implicar algunos problemas potenciales, como sucede con el agua dura o con fuentes de agua que contengan nitratos y nitritos que pueden inducir cambios de color indeseables en los productos frescos. Además la presencia de metales pesados acelera la rancidez de la grasa.

d) Tripas artificiales: Las tripas artificiales poseen características físicas e higiénicas específicas para cada tipo de producto que en ellas se deba embutir, se utilizan para dar un diámetro uniforme y sobresale la ausencia de olores extraños. Los diferentes materiales usados en la fabricación de estas envolturas determinan las propiedades específicas de éstas. De acuerdo con las propiedades, se distinguen los siguientes materiales para envolturas: celulosa: para toda clase de embutidos; pergamino: especial para embutidos cocidos; fibra membranosa: para toda clase de embutidos y tejido sedoso: especial para embutidos crudos.

e) Sustancias curantes. En general, las sales curantes se utilizan con el fin de conservar y mejorar la calidad de los productos cárnicos y estas son las siguientes.

1) Sal común: La sal se utiliza en la elaboración de la mayoría de los productos cárnicos, con el fin de prolongar el poder de conservación, mejorar el sabor de la carne, mejorar la coloración, aumentar el poder de fijación de agua, favorecer la penetración de otras sustancias curantes y favorecer la emulsificación de los ingredientes.

La sal contribuye de varias maneras a las características funcionales de las mezclas de carne. Una función importante de la sal es la contribución al sabor, el cual ha sido uno de los factores limitantes en reducir los niveles de sodio. Aunque el sodio es importante para el sabor, el cloruro es el que contribuye con otra función crítica que es en la retención de agua en carnes procesadas. Los cloruros proporcionan el medio ideal para que las proteínas sean más capaces de ligar agua, produciendo mejoramiento general en los rendimientos, textura y palatabilidad.

El control del crecimiento bacteriano es otra función de la sal. Generalmente un contenido mayor de sal estará directamente relacionado a un mejor control y a una vida de anaquel más larga. La sal también funciona en productos fermentados como inhibidores de organismos indeseables antes de que los cultivos iniciadores formen una cantidad importante de ácido láctico. Sin embargo, aún los cultivos iniciadores, considerados como tolerantes a la sal, pueden ser disminuidos por altos niveles de sal y se requerirá más tiempo de fermentación para llegar al pH objetivo.

2) Nitratos y nitritos: Los nitratos favorecen el enrojecimiento y la conservación al desarrollar un efecto bactericida. El nitrato potásico y el nitrato sódico forman parte de las diversas sales curantes. Por la acción de bacterias el nitrato es reducido a óxido nitroso, que se presenta en estado gaseoso. Este gas reacciona con el pigmento rojo del músculo formando una sustancia inestable de color rojo claro. Al someter la carne al calor durante el ahumado o la cocción, este color rojo se vuelve más estable (rosado característico). Se puede acelerar el proceso añadiendo nitritos en lugar de nitratos.

Sin embargo, el nitrito es un producto altamente tóxico, por lo que para la preparación de productos cárnicos sólo está permitido utilizarse en concentraciones adecuadas. La Norma Mexicana NMX-F-065-1984 establece que las concentraciones máximas permitidas en las salchichas son:

Nitrito de Sodio Máximo en producto 156 mg/Kg (156 ppm) terminado. En el caso de uso de nitrato de sodio, la cantidad máxima permitida en combinación con el nitrito de sodio no debe rebasar los 156 mg/Kg (156 ppm).

3) Fosfatos: Los fosfatos ofrecen un medio de compensar parcialmente los menores niveles de sal. La función predominante de los fosfatos es mejorar la retención de agua, el efecto es muy similar al producido por la sal, consistente en hacer mucho más efectivas a las proteínas de la carne, la combinación de sal y fosfato son muy efectivos.

Por otro lado aumentan el pH de la mezcla, a un pH mayor tiende a disminuir la velocidad del desarrollo del color durante el proceso de cura y puede disminuir la intensidad de éste en productos como las salchichas. Además son secuestradores de metales y ayudan a suprimir el desarrollo de sabores rancios. Los fosfatos comúnmente utilizados en la industria cárnica son el fosfato monosódico (FMS), monopotásico (FMP), disódico (FDS), dipotásico (FDK), pirofosfato ácido de sodio (PFAS), tripolifosfato de sodio (TPFS), tripolifosfato de potasio (TPFP), pirofosfato tetrasódico (PFTS), pirofosfato tetrapotásico (PFTP) y hexametáfosfato de sodio (HMS).

f) Especies y condimentos: Las especias y condimentos son sustancias aromáticas de origen vegetal que se agregan a los productos cárnicos para conferirles sabores y olores peculiares. Los más conocidos son las cebollas y los ajos que se usan tanto frescos como secos o en polvo. La lista es larga: pimienta blanca, pimienta negra, pimentón, laurel, jengibre, canela, clavos de olor, comino, mejorana, perejil, nuez moscada y tomillo, entre otros.

g) Otros aditivos: Otras sustancias que se usan frecuentemente en la elaboración de productos cárnicos son: Vinagre: Favorece la conservación y mejora sabor y aroma; Azúcar: Facilita la penetración de sal y suaviza su sabor; Sabores y colores artificiales: Ayudan a mejorar la presentación final del producto.

Por lo tanto, siendo la salchicha un conjunto complejo de productos básicos con aditivos y complementos, es factible que algunos de ellos puedan ser perjudicables en determinados casos, por lo que cuando existan anomalías en la salud del consumidor, es necesario verificar curiosamente las etiquetas. Las salchichas pueden contener hasta 1370 mg de sodio por cada 100 g, además de que es un producto rico en grasa, por lo que su ingesta debe ser limitada para quienes padecen hipercolesterolemia, hipertriglicemia, hipertensión, obesidad o retención de líquidos (Llamas, 2007).

Hoy en día la FD destaca por su adición como ingrediente funcional principalmente en productos cárnicos (embutidos), en estudios realizados se ha encontrado que al adicionar FD proveniente de diversos residuos de frutas se promueven efectos benéficos sobre la salud (reduce el nivel de colesterol en la sangre, incrementa la producción de heces, acelera el tiempo de tránsito colónico, aumenta la expulsión de gases colónicos, entre otros), además de que actúa como potencial sustituto de grasa, reduce los niveles de nitritos los cuales son dañinos para la salud, disminuyen pérdidas por cocción, promueven un sabor neutro, mejora la textura del alimento, previene la oxidación de lípidos en la carne, manteniendo la calidad nutricional y prolongando la vida útil, entre otros (Sagrario-Solano, 2013; Viuda-Martos *et al.*, 2010; Villalobos *et al.*, 2010; Fernández-López *et al.*, 2008).

2.4.3 DESARROLLO DE PRODUCTOS CÁRNICOS FUNCIONALES

Entre las características que debe de cumplir un alimento funcional se encuentran aquellos alimentos que demuestran mejorar una o más funciones beneficiosas en el organismo. Estos además del valor nutritivo que ofrecen, brindan mejoras en el estado de salud y reducen el riesgo de enfermedades en las personas que los consumen (Beltrán-Orozco, 2006). La Academia Nacional de Ciencia de Estados

Unidos los define como “cualquier alimento o ingrediente potencialmente saludable del alimento que pueda proporcionar un beneficio de salud más allá del contenido de los nutrientes tradicionales”.

Por lo tanto, un producto cárnico funcional será aquel que demuestre contener la menor cantidad de grasa, sal, nitritos y fosfatos y que contenga además un ingrediente funcional tal como que ayude a mejorar las funciones benéficas en el organismo ayudando así a prevenir o a disminuir el riesgo de padecer las diversas enfermedades con las que estos productos cárnicos han sido relacionado debido a su alto contenido en los ingredientes antes mencionados, entre las enfermedades con las que se le relaciona son: la obesidad, diabetes, hipertensión, colesterol, enfermedades cardiovasculares, entre otros.

En estudios realizados se ha encontrado que la FD proveniente de diversas fuentes (naranja, jícama, zanahoria, piña, entre otras.) ha sido considerada como ingrediente funcional, ya que actúa como un potencial sustituto de la grasa, además reduce el nivel de colesterol en sangre, incrementa la producción de heces, acelera el tiempo de tránsito colónico, aumenta la expulsión de gases colonicos y reduce los niveles de nitritos los cuales son dañinos para la salud, también disminuyen pérdidas por cocción, promueven sabor neutro, mejora la textura del alimento, previene la oxidación de lípidos en la carne prolongando así la vida útil del alimento, entre otros. (Solano-Barrera, 2013, Viuda-Martos *et al.*, 2010, Villalobos *et al.*, 2010, Fernández-López *et al.*, 2008).

III. ANTECEDENTES

Pantaleón-Velasco et al. (2014). Establecieron las condiciones para obtener un concentrado de fibra dietaria a partir de bagazo de carambola (*Averrhoa carambola* L.) el cual, al ser caracterizado mostró contener más del 50% de fibra dietaria y polifenoles con alta capacidad antioxidante. Asimismo, el concentrado presentó propiedades funcionales que sugieren su aplicación preferentemente en productos horneados y embutidos.

Ktari et al. (2014). Evaluaron la composición química, propiedades tecnofuncionales y sensoriales y los efectos de la adición de tres fibras (LC200, BBC, KF500) sobre las características de calidad de salchichas de ternero de Túnez, donde observaron que la fibra LC200 presentó una alta capacidad de retención de agua y aceite (16.2 g/g y 10.2 g/g, respectivamente), y fueron más altos que los reportados para concentrados de fibra de frutas y vegetales. La aplicación de LC200 mejoró la masticabilidad y elasticidad de las salchichas de ternero, minimizó su dureza y producción de costos, sin efectos negativos sobre sus propiedades sensoriales, los hallazgos demostraron el potencial funcional y económico de LC200.

Solano-Barrera (2013). Evaluó la adición a diferentes concentraciones del concentrado de fibra dietaria obtenido del bagazo de carambola así como la concentración de carne de res y carne de pavo en la formulación de salchichas tipo Viena, obteniéndose un producto optimizado en su composición el cual mostró un contenido reducido de nitritos residual y oxidación lipídica debido a la presencia probable de polifenoles en la formulación y de fibra dietaria insoluble y soluble que contribuyeron también a disminuir el nivel de encogimiento y mantener la textura respecto al control.

Eim et al. (2013). Evaluaron la optimización de la adición de fibra dietaria de zanahoria para una salchicha fermentada en seco (sabrosada) usando una red neuronal artificial, en donde encontraron que el valor óptimo obtenido de la concentración de fibra dietaria fue de 4.9%, el cual permitió la elaboración de un

producto final con características similares a la de los productos de referencia (sin fibra).

Martínez et al. (2012). Determinaron las propiedades químicas, tecnológicas y antioxidantes de concentrados de fibra dietaria obtenidos de subproductos agroindustriales de frutas (mango, piña, guayaba y fruta de la pasión) bajo condiciones establecidas y al ser caracterizados encontraron que la fruta pasión y la piña presentaron el mayor contenido de fibra dietaria total (81 y 76% respectivamente), y todas las muestras presentan un considerable contenido de compuestos polifenólicos con alta capacidad antioxidante, por lo que sugieren su uso para enriquecer diversos productos alimenticios.

Viuda-Martos et al. (2010). Evaluaron el efecto de la adición de fibra dietaria de naranja (1%) y aceite esencial de orégano (0.02%) bajo diferentes condiciones de almacenamiento (vacío, aire y atmósfera modificada) sobre la vida de anaquel de una salchicha tipo Bologna, la cual mostró niveles bajos de ácido tiobarbitúrico (ATB) y bajo crecimiento de bacterias aerobias y ácido lácticas en las muestras empacadas al vacío con fibra dietaria y aceite esencial, lo que sugiere su uso en la industria alimentaria para mejorar la vida de anaquel en productos cárnicos.

Chávez-Zepeda et al. (2009). Utilizaron subproductos agroindustriales (mango, piña, tuna, plátano, etc.) como fuente de fibra dietaria para enriquecer productos cárnicos, encontrando así, un mayor contenido de fibra dietaria total en tuna (64%) y piña (62%), además concluyen que debido a la cantidad de polifenoles presentes, podrían ser utilizados como antioxidantes y prebióticos.

Fernández-López et al. (2008). Determinaron las propiedades fisicoquímicas (pH, a_w), químicas (humedad, nitrito residual) y microbiológicas (bacterias mesófilas aerobias, ácido lácticas, Enterobacteriaceae, Micrococcaceae y conteo de mohos y levaduras) de una salchicha española fermentada-seca (salchichón) enriquecida con tres concentraciones (0,1 y 2%) de fibra de naranja. Donde encontraron que solo el nivel de nitrito residual y conteo de *Micrococcus* fue afectado por la fibra durante la fermentación y que durante el proceso de secado-curado se afectó el pH, a_w , nitrito residual y conteo de *Micrococcaceae*. La fibra de naranja disminuyó

los niveles de nitrito residual y favoreció el crecimiento de Micrococos. Ambos efectos tienen un impacto positivo en la seguridad y calidad de la salchicha. La reducción de los niveles de nitrito disminuye el riesgo de la formación de nitrosaminas.

Eim et al. (2008). Evaluaron los atributos físico-químicos, microbiológicos, y sensoriales de cuatro formulaciones de una salchicha seca-fermentada conocida como sobrasada, enriquecidas con diferentes porcentajes de fibra dietaria de zanahoria (3, 6, 9, y 12%). La adición del 3% de fibra dietaria de zanahoria afectó los parámetros de textura (dureza y compresión), el proceso lipolítico solo se afectó cuando se incorporaron grandes porcentajes de CFD. Así, la adición del 3 y 6% en las salchichas mostró perfiles de ácido graso similares al control.

Selgas et al. (2005). Incorporaron fibra dietaria soluble de cadena larga (inulina) en la elaboración de salchichas de carne cocidas reducidas en grasa (30% menos que el contenido normal). La fibra fue añadida en polvo y gel hasta 7.5%. La influencia de la adición de fibra mostró pocos cambios en la textura de las salchichas, con resultados muy similares a la salchicha control. Sin embargo, la salchicha elaborada con niveles superiores de 5% de fibra, mostraron menos aceptabilidad, especialmente las que se elaboraron con polvo. Como resultado, la salchicha de carne cocida baja en grasa obtenida con 5% de fibra dietaria soluble de cadena larga resultó un producto sensorialmente aceptable, bajo en calorías y enriquecido con fibra.

Fernández-Ginés et al. (2004). Estudiaron el efecto de la adición de dos tipos de albedo de limón (crudo y cocido) a diferentes concentraciones (0, 2.5, 5, 7.5 y 10%) en una salchicha tipo Bologna. Se determinaron los análisis químicos, físicos y sensoriales. La adición del albedo a la salchicha tipo Bologna representó un mejoramiento en las propiedades nutricionales que posiblemente se deba a la presencia de compuestos bioactivos los cuales indujeron la disminución de los niveles de nitritos residuales. Las formulaciones que dieron productos con propiedades sensoriales similares a las convencionales fueron las salchichas con 2.5 y 5% de albedo crudo y 2.5, 5 y 7.5% albedo cocido.

IV. JUSTIFICACIÓN

Actualmente México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en el consumo de productos cárnicos entre los que se encuentra principalmente la salchicha tipo Viena, debido a su bajo costo y su fácil manipulación. Sin embargo, estos productos presentan un alto contenido en grasas, sodio y nitritos, por lo que se les ha relacionado con diversas enfermedades, entre las que se encuentran principalmente cáncer, obesidad, diabetes e hipertensión. Debido a esto, es importante desarrollar alimentos funcionales que no solo sean deliciosos y atractivos, sino que sean nutritivos, lo cual se puede lograr mediante la adición de ingredientes funcionales, tal es el caso de la fibra que desde años remotos ha sido considerada como una excelente fuente de ingredientes funcionales en los alimentos que tiene efectos benéficos muy importantes en el organismo. Es por ello, que esta fibra se puede obtener a partir de los residuos generados de las tres líneas de procesamiento de la piña (jugos, néctares y almíbares) en las agroindustrias ubicadas en la región de Loma Bonita, ya que estos residuos son únicamente utilizados en pequeñas cantidades como alimento para ganado y la mayor parte es desechada al medio ambiente causando contaminación ambiental, sin embargo, en ciertas investigaciones se ha demostrado que estos residuos presentan importantes cantidades de fibra asociada a compuestos bioactivos. Por lo que en este trabajo se buscó dar un valor agregado a estos residuos utilizándolos como ingrediente funcional en forma de concentrados de fibra dietaria, para adicionarlos en las salchichas tipo Viena con la finalidad de mejorar la calidad nutritiva del alimento y además a contribuir a la ingesta diaria recomendada de fibra.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Evaluar las características físicas y químicas de las salchichas tipo Viena enriquecidas con un concentrado de fibra dietaria obtenido de bagazo de piña.

5.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización parcial química y física del bagazo de piña fresco y escaldado a vapor con presión.
- Obtener concentrados de fibra dietaria a partir de bagazo fresco y escaldado aplicando secado por liofilización o charolas y seleccionar el que presente el mayor contenido de fibra dietaria, polifenoles extraíbles, capacidad antioxidante y carotenoides.
- Evaluar el efecto de la proporción del concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña, carne de cerdo y carne de pavo sobre el contenido de nitritos residual, polifenoles, capacidad antioxidante, humedad, carotenoides, color, fuerza de corte y encogimiento de salchichas tipo Viena.

MATERIALES Y MÉTODOS

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIA PRIMA

El bagazo de piña (*Ananas comosus* var. Cayena Lisa) utilizado en este estudio fue donado por una procesadora de piña ubicada en la ciudad de Loma Bonita, Oaxaca y este se aprecia en la figura 9a y 9b. El bagazo provenía de la línea de producción de jugos y estaba constituido por una mezcla mayoritaria de pulpa, corazón y mínimas cantidades de cáscara. El bagazo se guardó en bolsas de plástico y se almacenaron en un refrigerador (ilShinBioBase, DF8517, Corea) a 5°C hasta su uso.



Figura 9. a). Foto de la generación del bagazo de piña. b). Foto del bagazo de piña.

6.1.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS DE FIBRA DIETARIA

El bagazo de piña (BP) fue sometido a escaldado bajo presión a vapor en autoclave (Felisa, FE 398, México) para inhibir la actividad de la polifenoloxidasas que fue determinada por el método espectrofotométrico de Arnok *et al.* (2010), el cual consistió en realizar una extracción acuosa en relación 1:2 (p/v) utilizando catecol para incubarlo con el extracto enzimático, y posteriormente registrar el incremento de absorbancia a 420 nm en un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Malasia). A los dos lotes de BP fresco y escaldado, se les determinó su composición química proximal. Por otro lado, el BP escaldado y fresco fue guardado

en bolsas y se selló al vacío (FoodSaver Oster, V2240, México), para ser utilizado como materia prima para la obtención de los CFDs.

6.2 OBTENCIÓN DE LOS CONCENTRADOS DE FIBRA DIETARIA DE BAGAZO DE PIÑA

Los concentrados de fibra dietaria de bagazo de piña (CFD-BP) como se muestra en la figura 10 fueron obtenidos a partir del BP tanto fresco como escaldado mediante el método establecido por Pantaleón-Velasco *et al.* (2014), el cual se basó en realizar una extracción acuosa a temperatura de 55°C, con un posterior prensado de la muestra. Posteriormente, se realizó una cinética de secado a los CFD obtenidos del BP fresco y escaldado en un secador de charolas (Poli Rep, México) para obtener las condiciones de tiempo y temperatura de secado (ver anexos). Después del prensado, los CFD-BP fueron secados en charolas a temperatura de 55 °C por 9 h, adicionalmente como control, otro lote fue secado por liofilización (Labconco, 64132, Kansas City, Missouri) a temperatura de -45 a -48°C por un tiempo de 48 h aplicando un vacío de 0.020-0.024 mbar. Se obtuvieron cuatro CFD-BP por triplicado, dos a partir del BP fresco (CFD-BPF) sin tratamiento de escaldado y dos a partir del BP escaldado (CFD-BPE), secados por charolas (SC) y por liofilización (LIO). Los cuatro CFD-BP fueron molidos y tamizados en una malla n°35 (MONT INOX, 18-8, México) hasta un tamaño de partícula de 500 µm y se sellaron al vacío y almacenaron en ausencia de luz a temperatura de refrigeración (7 °C±2) hasta su posterior uso. Se realizó la determinación de color para obtener los valores de las coordenadas de luminosidad (L^*) y de cromaticidad a^* y b^* (Hunter Lab Ultra Scan Vis, EE.UU). Por otro lado se determinó el contenido de polifenoles extraíbles, capacidad antioxidante y carotenoides (de acuerdo a lo descrito posteriormente en la sección Análisis químicos 6.8 y Análisis físicos 6.9) en los CFD-BP obtenidos con el fin de realizar un pre selección de los CFD-BP con el mayor contenido de dichos componentes.



Figura 10. Foto del concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña.

6.3 SELECCIÓN DEL CFD-BP

A los CFD-BP preseleccionados se les determinó el contenido de fibra dietaria total (FDT), fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) para seleccionar el CFD-BP con el mayor contenido de FDT y FDS (de acuerdo a lo descrito en el apartado 6.8.2).

6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de los análisis realizados a los CFD-BP se registraron como la media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Se aplicó un ANDEVA de una vía seguido de una prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95% utilizando el software estadístico Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, EE.UU, 2014).

6.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA CARNE DE CERDO Y PAVO

La carne de cerdo fue adquirida de un local comercial de carnes ubicado en la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca y la carne de pavo fue adquirida en Bodega Aurrera. Las carnes fueron almacenadas en congelación a 4 °C hasta un tiempo máximo no mayor a 1 día. La calidad de la carne fue monitoreada determinando el pH (5.4-5.76). La carne de cerdo se limpió de tal modo que se les retiró, cartílagos, grasa excedente y tejidos blancos. La carne que fue utilizada para la elaboración de las salchichas como se muestra en la figura 11, fue picada y triturada en una licuadora

industrial (International, LI-3A, México, D.F.) y se mantuvo en refrigeración (4 °C) hasta su posterior uso (no más de un día de refrigeración).



Figura 11. Foto de la mezcla de carnes de cerdo y pavo para la elaboración de las salchichas.

Un lote de las carnes de cerdo y pavo fue liofilizado, molido y tamizado (500 μm) y se determinó su composición química proximal, realizando todos los análisis por triplicado utilizando los métodos mencionados en la sección 6.8.1.

6.6 ELABORACIÓN DE LAS SALCHICHAS TIPO VIENA

Se elaboraron las salchichas tipo Viena con diferentes tipos de mezclas de carne de pavo, cerdo y del CFD-BPE (SC) como ingrediente funcional, de acuerdo a la fracción en peso obtenida de un diseño de mezclas simplex con un centroide (3,1) y siguiendo el procedimiento planteado por Solano-Barrera (2013), que consistió en el picado y pesado de las carnes, adición y mezclado con aditivos (sal de cura, almidón ligante, KCl como sustituto de NaCl, ajo, polifosfatos, ácido ascórbico, pasta de adobo achiote, azúcar, grasa de cerdo y hielo) y CFD-BPE (SC), mezclado y embutido en tripa artificial de forma manual. Posteriormente se realizó la cocción a 80-85 °C durante 15 min. Posteriormente las salchichas se enfriaron en una bandeja con hielo-agua, y se empacaron al vacío en bolsas de plástico, para guardarlas en refrigeración hasta su análisis.

6.7 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA DE CARNE DE CERDO, CARNE DE PAVO Y CFD-BP SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA.

Se evaluó el efecto de la concentración de carne de cerdo, carne de pavo y del CFD-BP sobre las siguientes variables de respuesta: humedad, contenido de nitritos residual, polifenoles extraíbles, capacidad antioxidante, carotenoides, fuerza de corte, encogimiento y color (L , a^* , b^*) mediante la aplicación de un diseño de mezclas simplex con un centroide (3,1) en el cual la zona experimental lo denota un trapecio interno en un triángulo característico de este tipo de diseño como se observa en la figura 12 en donde cada vértice del triángulo representa a cada uno de los componentes en estado puro. El diseño dio como resultado 13 tratamientos, los cuales se realizaron por triplicado dando un total de 39 tratamientos tal como se muestra en la tabla 6, los cuales se realizaron de forma aleatorizada.

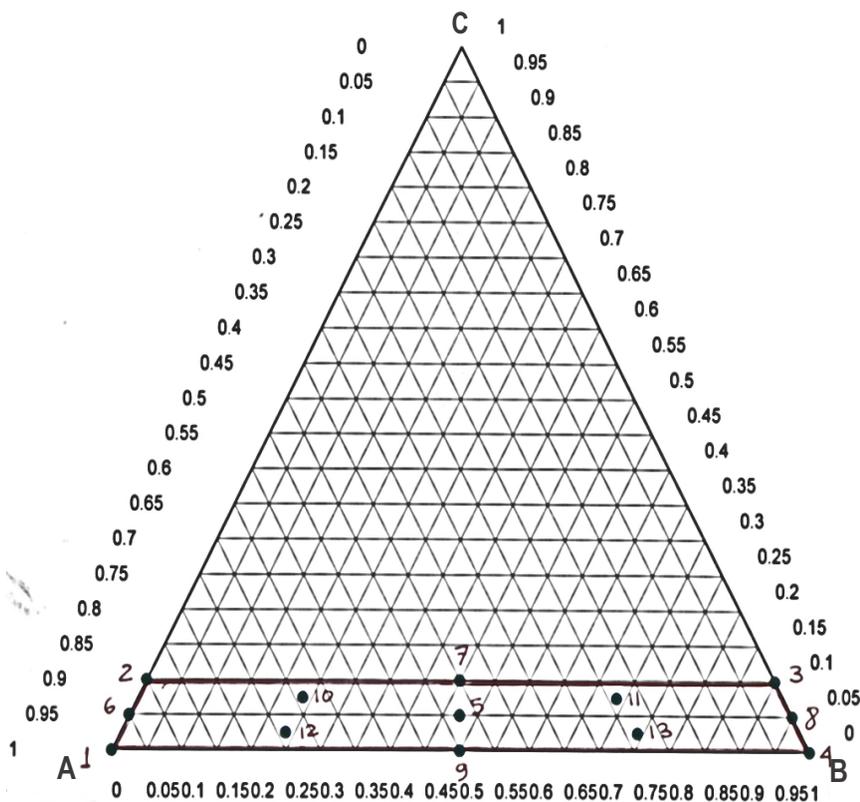


Figura 12. Diagrama ternario para el diseño de mezclas simplex con un centroide (3,1) para las salchichas tipo Viena.

Tabla 6. Diseño experimental de mezclas simplex con un centroide (3,1)

Formulación	Punto del diseño	Carne de cerdo X_1	Carne de pavo X_2	CFD-BP X_3
1	1	1	0	0
2	2	0.9	0	0.1
3	3	0	0.9	0.1
4	4	0	1	0
5	5	0.475	0.475	0.05
6	6	0.95	0	0.05
7	7	0	0.95	0.05
8	8	0.45	0.45	0.1
9	9	0.5	0.5	0
10	10	0.675	0.25	0.075
11	11	0.25	0.675	0.075
12	12	0.725	0.25	0.025
13	13	0.25	0.725	0.025

CFD-BP=concentrado de fibra dietaria de bagazo piña

Los resultados fueron analizados aplicando un ANDEVA y regresión lineal utilizando el programa Excel (Microsoft Office 10.0, 2010) para evaluar el efecto de la concentración de la carne de cerdo, carne de pavo y del CFD-BP sobre las variables de respuesta mediante el uso de un modelo de mezcla cúbico especial, el cual se representó con la ecuación 1.

$$y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde **y** representa a cada una de las respuestas (contenido de nitrito residual, polifenoles, capacidad antioxidante, carotenos, humedad, fuerza de corte, encogimiento y color); **X** son las proporciones de los componentes de la mezcla: **X₁** es la variable codificada para la concentración de la carne de cerdo, **X₂** es la variable codificada para la carne de pavo y **X₃** es la variable codificada para la concentración del CFD-BP y cada uno de las **β** son los coeficientes de regresión y representan la respuesta esperada al componente puro **X**.

6.8 ANÁLISIS QUÍMICOS

6.8.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL

Todas las muestras se analizaron por triplicado para determinar humedad, cenizas, grasas y proteínas (N x 6.25) se procedió de acuerdo a los métodos 934.01 (método gravimétrico), 942.05 (incineración a 525 °C), 948.22 (aparato de Soxhlet usando éter de petróleo), 960.52 (método Kjeldahl) (AOAC, 1997, respectivamente). El contenido de carbohidratos fue determinado por diferencia.

6.8.2 FIBRA DIETARIA (FD)

Se determinó el contenido de FD total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) por el método enzimático-gravimétrico 991.43 (AOAC, 1997) y 32-07 (AACC, 1995).

6.8.3 POLIFENOLES EXTRAÍBLES (PE)

Los PE se extrajeron siguiendo el procedimiento descrito por Bravo y Saura-Calixto, 1998). La concentración de PE se estimó por el método de Folin-Ciocalteu, usando ácido gálico como estándar y el contenido de PE se expresó en gramos equivalente de ácido gálico por cada 100 g de materia seca (g GAE/100 gramos de muestra seca (ms).

6.8.4 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La capacidad antioxidante de los extractos polifenólicos fue evaluada *in vitro* por dos diferentes métodos

6.8.4.1 ABTS⁺

El método de ABTS⁺ (2,2'-azino-bis-(3-etil-benzotiazolona-6-ácido sulfónico)) se realizó de acuerdo al método de decoloración de Re *et al.* (1999), el cual consistió en diluir el radical ABTS⁺ (preformado por oxidación con persulfato de potasio) con metanol. La reducción de ABTS⁺ se leyó a una absorbancia de 730 nm en un

espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de Trolox (TE) por gramo de muestra seca ($\mu\text{mol TE/g ms}$).

6.8.4.2 FRAP

El método FRAP (Poder Antioxidante/Reducción Férrico, por sus siglas en inglés) se llevó a cabo de acuerdo al método propuesto por Pulido *et al.* (2000). Con este método se determinó la capacidad de reducción férrica que tiene la muestra, a pH bajo y en presencia de un reductor (antioxidante), donde el complejo TPTZ (trispíridiltriazina) con Fe (III) se redujo a la forma ferrosa, desarrollando un intenso color azul, la absorbancia fue medida a 595 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de Trolox (TE) por gramo de muestra seca ($\mu\text{mol TE/g ms}$).

6.8.5 CAROTENOS

Esta determinación consistió en la extracción de carotenos con hexano y posterior determinación espectrofotométrica a 448 nm utilizando una curva estándar de β -caroteno (Ortega *et al.*, 2013). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de β -caroteno/100 g ms.

6.8.6 CONCENTRACIÓN DE NITRITOS RESIDUALES

El contenido de nitritos residual se determinó de acuerdo a la NOM 122-SSA1-1994 para productos cárnicos curados y cocidos, el cual utiliza cloruro mercúrico y reactivo de Griess, para formar un complejo colorido rosa, el cual se lee por espectrofotometría a 520 nm, utilizando como estándar nitrito de sodio. Los resultados fueron expresados como mg NaNO_2/kg muestra fresca (mf).

6.9 ANÁLISIS FÍSICOS

6.9.1 COLOR

Se realizó utilizando un colorímetro (Hunter Lab, UltraScan Vis, EE.UU) para obtener los valores de las coordenadas de luminosidad (L^*) y de cromaticidad (a^*) correspondiente al componente rojo/verde y (b^*) para el componente amarillo/azul, de acuerdo al sistema CIE.

6.9.2 ENCOGIMIENTO

El encogimiento se midió utilizando un vernier (Trupper, México), con el cual se midió la longitud y el diámetro de la salchicha fresca en la cual se le insertó un termocoplex dual tipo k (EA10, Exttech Instruments, EE.UU) en el centro y se colocó en una estufa (Memmert, D91126, Alemania) a 150 °C, para medir la longitud y diámetro después de la cocción. La determinación se llevó a cabo en cada uno de los 39 tratamientos y el encogimiento fue expresado como porcentaje (%).

6.3.9 FUERZA DE CORTE

Las salchichas se cortaron en rebanadas de 2 cm de ancho, se utilizó la navaja Warner Bratzler de un texturómetro (Shimadzu, EZ-S, Japón) con una velocidad de cabezal de 50 mm/s. y una fuerza aplicada de 500 N. Los valores obtenidos se expresaron en Newton, el análisis se realizó por triplicado para cada formulación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO DE PIÑA.

La composición química del bagazo de piña (BP) fresco y escaldado se muestra en la tabla 7. Como en otras frutas el principal componente del bagazo de piña tanto fresco como escaldado fue el agua (82.54 y 82.25 g/100 g mf, respectivamente), no habiendo diferencia mínima significativa entre ellos ($p < 0.05$). Los resultados indican que los componentes mayoritarios de ambas muestras fueron fibra dietaria seguido de carbohidratos, proteínas, cenizas y grasas.

Tabla 7. Composición química del bagazo de piña

	BP-FRESCO	BP-ESCALDADO
Cenizas (g/ 100 ms)	2.84±0.06 ^a	1.89±0.08 ^b
Proteínas (g/ 100 g ms)	1.98±0.02 ^b	4.92±0.11 ^a
Grasas (g/100 g ms)	0.93±0.05 ^b	1.40±0.19 ^a
Fibra dietaria total (g/100 g ms)	58.36±0.80 ^b	60.74±0.84 ^a
Fibra dietaria insoluble (g/100 g ms)	51.93±0.70 ^a	50.93±1.07 ^b
Fibra dietaria soluble (g/100 g ms)	6.42±1.50 ^b	9.81±0.23 ^a
Carbohidratos (g/ 100 g ms)	35.89±0.48 ^a	31.05±0.21 ^b
Polifenoles extraíbles (g GAE/100 g ms)	0.83±0.05 ^b	1.29±0.19 ^a
Capacidad antioxidante ABTS+ (µmol TE/g ms)	7.50±0.73 ^b	8.42±0.30 ^a
FRAP	49.57±1.88 ^a	45.10±1.43 ^b
Carotenos (mg eq β-caroteno/100 g ms)	0.44±0.09 ^b	0.63±0.09 ^a

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes en la misma fila indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). BP= bagazo de piña, g GAE=gramos equivalente de ácido gálico, µmol TE/g ms=micromol equivalente de Trolox por gramo de muestra seca.

En la tabla 7 se observó que después del tratamiento de escaldado el contenido de cenizas y carbohidratos disminuyó aproximadamente en un 33.4% y 13.5% respectivamente ($p < 0.05$), lo cual puede ser debido a la lixiviación durante el secado, contrariamente, el contenido de proteínas y grasas aumentó ($p < 0.05$), así

como el contenido de FDT y FDS aumentó en un 4% y 52.8% respectivamente en la muestra escaldada, lo cual se considera un beneficio ($p < 0.05$), ya que la FDS es considerada como un prebiótico. El calor con vapor aplicado durante el escaldado, ocasiona un ablandamiento de los tejidos, además, el efecto del calor, permite que exista una filtración de micronutrientes por solubilización (Kapoor *et al.*, 2012). Asimismo, estos aumentos también pueden explicarse debido a que ocurren reacciones bioquímicas durante el proceso de secado lo cual resulta en el incremento de estos compuestos fenólicos (Chang *et al.*, 2006).

El contenido de FDT de los BPF y BPE de este trabajo presentaron un mayor contenido de FDT (58.36 y 60.74 g/100 g ms, respectivamente) que el reportado para polvos de una mezcla de residuos de piña constituidos de pulpa y corazón (45.22 g/100 ms) originaria de Brasil (Selani *et al.*, 2014).

Por otro lado, el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y el contenido de carotenos fue mayor (55, 12 y 49% aproximadamente) en el bagazo de piña escaldado que en el fresco ($p < 0.05$). El escaldado representa una herramienta útil en la prevención de oxidaciones enzimáticas, es un tratamiento térmico de corta duración que se realiza en frutas y vegetales con el fin de inactivar enzimas que provocan su deterioro, ya que son la principal causa de pérdida de antioxidantes de origen natural en la materia prima de origen vegetal. El aumento en el contenido de los componentes mencionados y compuestos bioactivos pudo ser debido a que después del escaldado existe una desestructuración de la matriz del alimento haciendo que se liberen dichos componentes y estos sean más cuantificables. En términos generales, las consecuencias del procesamiento de alimentos y los procedimientos de preservación de la actividad antioxidante de los mismos son el resultado de diferentes eventos, el escaldado previo al secado por convección con aire caliente puede resultar en un aumento en fitoquímicos tales como compuestos fenólicos (Ching-Hui *et al.*, 2006; Sabblani *et al.*, 2011). El bagazo sin escaldado mostró pérdidas de los compuestos antioxidantes, probablemente porque su área

superficial fue más expuesta al oxígeno donde los antioxidantes son más susceptibles (Jaworska *et al.*, 2014).

7.1.1 PROPIEDADES FUNCIONALES DEL BAGAZO DE PIÑA

En la tabla 8 se muestran las propiedades funcionales del BP fresco y escaldado, donde se observa que no hubo diferencia significativa entre ambas muestras en cuanto a la CRA, CRac y solubilidad, mientras que hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores de hinchamiento si, estos cambios de acuerdo pueden deberse a que después del tratamiento de escaldado hay una desestructuración de la matriz del alimento la cual se ve afectada.

Tabla 8. Propiedades funcionales del bagazo de piña fresco y escaldado liofilizado

MUESTRA	CRA (g agua/g ms)	CRac (g aceite/g ms)	SOLUBILIDAD (%)	HINCHAMIENTO
BPF (LIO)	14.63±0.34 ^a	0.08±0.07 ^a	38.82±2.02 ^a	9.976±0.48 ^a
BPE (LIO)	14.84±0.66 ^a	0.03±0.00 ^b	38.84±1.68 ^a	6.942±0.39 ^b

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). BPF= bagazo de piña fresco, BPE=bagazo de piña escaldado. LIOF= Liofilizado, CRA= capacidad de retención de agua, CRac= capacidad de retención de aceite.

7.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS CFD DE BAGAZO DE PIÑA: EVALUACIÓN DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CAROTENOIDES.

7.2.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se realizó la cuantificación de polifenoles extraíbles, capacidad antioxidante (ABTS⁺ y FRAP) y carotenoides de los CFD-BP obtenidos con la finalidad de seleccionar los CFD con los mayores resultados y esto se muestra en la figura 13 (a y b) y 14, respectivamente.

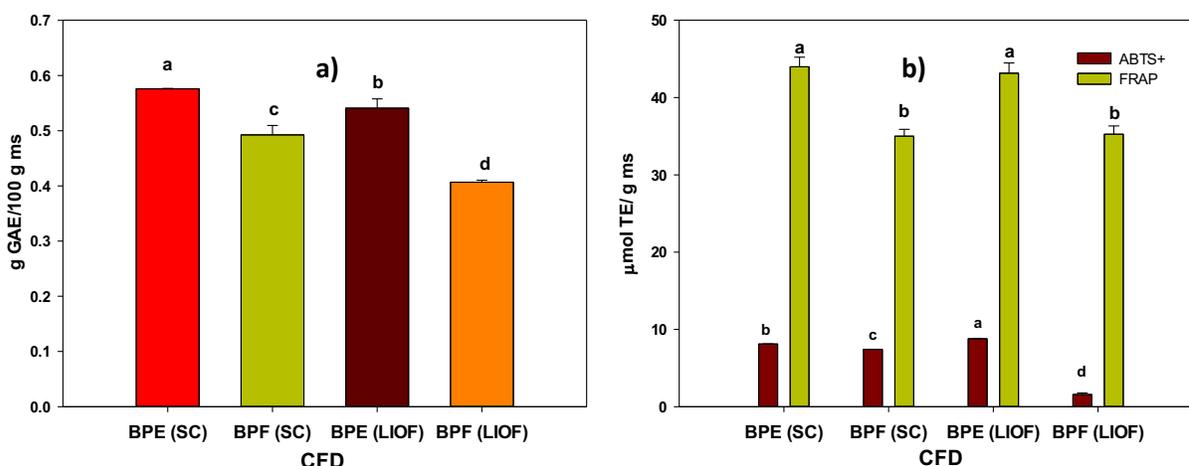


Figura 13. a) Contenido de polifenoles de los CFD-BP, b) Capacidad antioxidante de los CFD-BP-. Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). g GAE=gramos equivalente de ácido gálico, $\mu\text{mol TE/g ms}$ =micromol equivalente de Trolox por gramo de muestra seca.

En la figura 13 (a) se observó que el CFD-BPF (LIOF) fue el que tuvo menor contenido de polifenoles (0.41 g GAE/100 g ms) lo cual está relacionado con su baja capacidad antioxidante (1.57 $\mu\text{mol TE/g ms}$) (Figura 15 b) ($p < 0.05$), mientras que el CFD-BPE (SC) fue el que presentó mayor contenido de polifenoles (0.58 g GAE/100 g) y capacidad antioxidante (8.11 en ABTS⁺ y 43.98 en FRAP) ($p < 0.05$). Los resultados obtenidos del CFD-BPE (SC) (polifenoles (0.58 g GAE/100 g ms) y capacidad antioxidante (8.11 $\mu\text{mol TE/g ms}$)) fueron mayores cuando se compararon con lo reportado por Martínez *et al.* (2012) donde ellos encontraron que el CFD de piña (secado a 60 °C por 12 h) presentó un contenido de polifenoles de 0.129 g GAE/100 g de muestra y una capacidad antioxidante de 7.7 $\mu\text{mol TE/g}$ de ms.

Asimismo, en la figura 13 (a y b) se observa que las muestras secadas por charolas fueron las que presentaron mayor contenido de polifenoles extraíbles y actividad antioxidante en comparación con los secados por liofilización ($p < 0.05$), y esto puede ser aunado al hecho de que las frutas y hortalizas sometidas a escaldado retienen la mayor parte de sus propiedades antioxidantes originales.

En la figura 14 se muestra el contenido de carotenoides presentados en los CFD de bagazo de piña. Como se observa el CFD-BPE (SC) presentó el mayor contenido de carotenos (1.13 mg eq de β -caroteno/100 g ms) lo cual también pudo deberse al tratamiento de escaldado aplicado al BP que ocasiona la liberación de estos compuestos bioactivos de la matriz del producto alimenticio. El procesamiento de alimentos tiene muchos efectos de los cuales no todos resultan en una pérdida de calidad y de propiedades nutricionales. Entre los dos métodos de secado una mayor disminución de carotenoides se produjo en las muestras liofilizadas comparadas con las muestras secadas en charolas. Los carotenoides son de naturaleza hidrófoba y mayores niveles de oxidación de lípidos se producen en el liofilizado en comparación con alimentos secados por convección con aire caliente (Okos et al., 1992; Kapoor y Poonam, 2014).

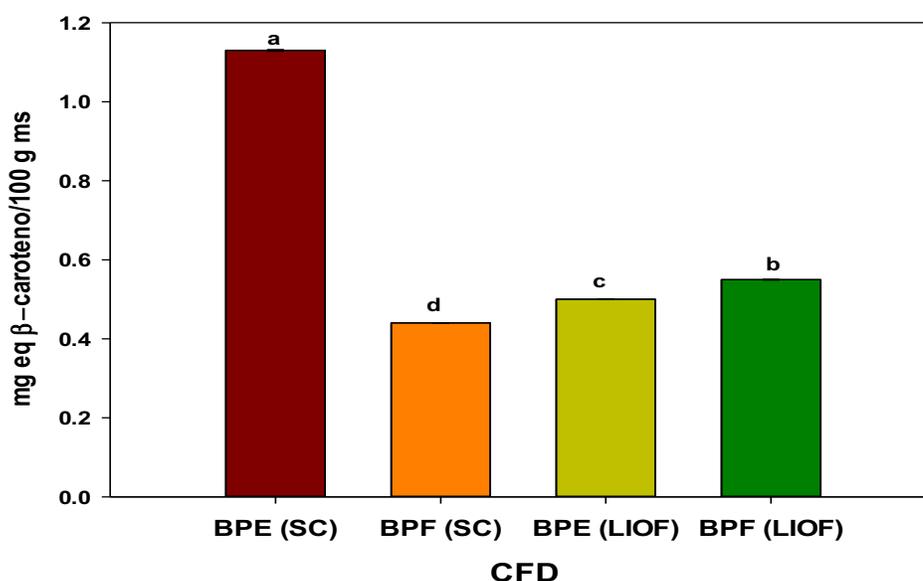


Figura 14. Contenido de carotenoides en los CFD-BP. Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). CFD-BPE=concentrados de fibra dietaria de bagazo de piña escaldado, CFD-BPF=concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña fresco, SC=secado en charolas, LIOF=liofilizado.

7.3 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS CFD DE BAGAZO DE PIÑA FRESCO Y ESCALDADO

De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionaron las muestras que mostraron el mayor contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y carotenoides y se determinó el contenido de FDT y color. La composición química y física de los CFD-BP seleccionados se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Caracterización química y física de los CFD-BP seleccionados

PARÁMETROS	MUESTRA		
	CFD-BPE (SC)	CFD-BPF (SC)	CFD-BPE (LIOF)
Humedad (g/100 g)	2.93±0.36 ^c	3.60±0.32 ^b	10.64±0.15 ^a
Cenizas (g/ 100 ms)	1.56±0.01 ^b	0.89±0.08 ^c	2.30±0.28 ^a
Proteínas (g/ 100 g ms)	3.42±0.10 ^b	1.86±0.04 ^c	4.59±0.21 ^a
Grasas (g/100 g ms)	0.50±0.33 ^b	1.86±0.14 ^a	0.22±0.07 ^c
Fibra dietaria total (g/100 g ms)	91.54±2.09 ^a	88.33±0.00 ^b	80.98±0.40 ^c
Carbohidratos (g/ 100 g ms)	2.98±0.01 ^c	7.06±0.32 ^b	11.91±0.14 ^a
<i>L</i> [*]	67.77±0.00 ^b	73.09±0.71 ^a	68.48±0.03 ^b
<i>a</i> [*]	2.35±0.00 ^b	1.37±0.13 ^c	2.70±0.01 ^a
<i>b</i> [*]	15.28±0.01 ^a	14.94±0.31 ^a	14.56±0.04 ^b

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes en la misma fila indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). SC=secado en charolas, LIOF=liofilizada, CFD-BPE=concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña escaldado, CFD-BPF=concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña fresco, *L*^{*}=luminosidad, *a*^{*}=rojo/verde, *b*^{*}=amarillo/azul.

El mayor componente de todos los CFD-BP es la humedad y el contenido de proteínas, seguido de cenizas, mostrando bajo contenido de grasas. El mayor contenido de FDT lo presentaron los CFD obtenidos del BP escaldado.

Al respecto, el mayor contenido ($p > 0.05$) de FDT (91.54 g/100 g ms) se encontró en el CFD-BPE (SC) y esto fue más elevado que (75.8 g/100 g ms) lo reportado por Martínez *et al.* (2012) en un CFD de residuos de piña, estas diferencias podrían deberse a las diferentes variedades de piña analizadas, época de cosecha, así como a factores medioambientales y de suelo, que pudieron afectar el producto.

Asimismo, el valor obtenido en este estudio fue mayor que lo reportado por otros autores en otros CFDs obtenidos de otros subproductos de frutas, como el bagazo de carambola (84 g/100 g ms) (Pantaleón-Velasco, *et al.*, 2014).

El color es uno de los parámetros más importantes de calidad en frutas y vegetales deshidratados, los posibles cambios de color podrían tener influencia sobre las propiedades sensoriales del alimento (Garau *et al.*, 2007). En cuanto a los parámetros de color, el CFD-BPE (SC) fue el que presentó la mayor luminosidad (L^*) (73.09), mientras que entre el CFD-BPE (SC) y CFD-BPF (SC) no hubo diferencia significativa, en cuanto al parámetro de color b^* , los CFD-BPE (SC) y (LIO) presentaron los valores positivos más altos de las tres muestras, correspondientes al cuadrante de color amarillo, así como del parámetro de color a^* (zona de rojo), lo cual se relaciona con sus elevados contenidos de carotenoides (Figura 14) y polifenoles (Figura 13 a).

7.4 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS CONCENTRADOS DE FIBRA DIETARIA SELECCIONADOS

Las propiedades funcionales de cada CFD se correlacionan con la cantidad de FDS y la granulometría de los subproductos, con los componentes de celulosa presentes en la fibra y la estructura química de los polisacáridos de plantas y depende de su composición química y estructura física. Las propiedades funcionales de los concentrados de fibra dietaria seleccionados se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Propiedades funcionales de los concentrados de fibra dietaria.

MUESTRA	CRA (g agua/g ms)	CRac (g aceite/g ms)	Solubilidad (%)	Hinchamiento (%)
CFD-BPE (LIOF)	14.43±1.26 ^a	0.005±0.00 ^b	13.95±2.18 ^c	10.14±0.30 ^c
CFD-BPF (SC)	14.06±2.43 ^a	0.01±0.00 ^a	19.63±0.77 ^b	16.49±0.07 ^a
CFD-BPE (SC)	15.68±1.05 ^a	0.01±0.00 ^a	26.05±3.94 ^a	13.96±0.01 ^b

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de los análisis por triplicado. Letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). BP= bagazo de piña, LIOF= Liofilizado, CRA= capacidad de retención de agua, Crac= capacidad de retención de aceite.

Las propiedades de hidratación de la FD están relacionadas con la estructura química de los componentes de los polisacáridos y de otros factores tales como la porosidad, tamaño de partícula, forma iónica, pH, temperatura, fuerza iónica, el tipo de iones en solución y las tensiones sobre las fibras (Elleuch *et al.*, 2011). Además, estas propiedades de hidratación determinan el destino de la FD en la regulación de la función colónica y también representan algunos efectos fisiológicos (Guillon y Champ, 2000). Una elevada CRA se ha asociado con la reducción de la gelatinización del almidón, que es relevante para la nutrición humana donde el grado de gelatinización del almidón puede afectar a la disponibilidad de azúcar postprandial (Symons y Brennan, 2004). Por lo tanto, el uso específico de fibra en productos alimenticios está determinada en gran parte por sus propiedades tecnológicas, que dependen de las propiedades físico-químicas y de la elaboración de los alimentos (Martínez *et al.*, 2012).

7.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS CARNES DE CERDO Y PAVO

En años recientes, los consumidores han demandado productos cárnicos que sean seguros, nutritivos, ricos en variedad, atractivos (en apariencia, textura, olor y sabor) e innovadores. Esto ha orillado a la industria cárnica al desarrollo de nuevas formulaciones o modificar productos alimenticios tradicionales que contengan menos grasas (Vásquez-Villalobos *et al.*, 2010), por lo cual es de interés manufacturar productos cárnicos como el caso de las salchichas cocidas usando nuevas tecnologías y formulaciones, utilizando diferentes tipos de carnes (cerdo, bovino, pollo, destacando también la carne de pavo), reduciendo los niveles de fosfato, sal y grasas (Herrero *et al.*, 2008). El análisis químico proximal de las carnes de pavo y cerdo se muestra en la tabla 11, observándose que el principal componente de estas, es la humedad (67.87-77.15%), seguido de proteínas, grasas y cenizas en ambas carnes.

Tabla 11. Análisis químico proximal en carne de cerdo y pavo.

MUESTRA	HUMEDAD (g/100 g ms))	CENIZAS (g/ 100 g ms)	PROTEÍNAS (g/ 100 g ms)	GRASAS (g/100 g ms)
Carne de cerdo (b.s)	67.87±0.75 ^a (b.h)	1.49±0.34 ^a	56.37±2.143 ^b	17.10±0.45 ^a
Carne de pavo (b.s)	77.15±1.63 ^b (b.h)	1.38±0.04 ^a	60.52±3.482 ^a	16.26±0.21 ^b

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de los análisis por triplicado (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). b.h= base húmeda, b.s= base seca.

De acuerdo al análisis estadístico, se observa que hubo diferencia significativa entre ambas carnes en todos los componentes, excepto en el contenido de cenizas ($p < 0.05$). La carne de pavo fue la que presentó el mayor contenido de humedad y proteínas, mientras que la carne de cerdo presentó el mayor contenido de grasas. Cabe señalar, que la grasa en productos cárnicos, contribuye al sabor, textura, sensación en la boca y sensación en general de lubricidad en el producto (Vásquez-Villalobos *et al.*, 2010) y con las proteínas y el resto de los ingredientes, forma una pasta característica básica de las salchichas y otros embutidos emulsificados (Totosaus, 2007).

7.6 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL CONCENTRADO DE FIBRA DIETARIA, CARNE DE CERDO Y CARNE DE PAVO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SALCHICHAS TIPO VIENA

Los resultados experimentales del diseño simplex de mezclas se analizaron por medio de una regresión lineal ajustando a los datos el modelo de Mezcla Cúbico Especial, obteniéndose ecuaciones que relacionaron el efecto de las mezclas de carne de cerdo, pavo y del CFD-BP con el nivel de nitritos residuales, polifenoles, capacidad antioxidante (ABTS⁺, FRAP), carotenoides, humedad, fuerza de corte, encogimiento y color (L^* , a^* y b^*)

7.6.1 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LA VARIABLE DE NITRITOS RESIDUALES

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del nivel de nitritos residuales se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de nitritos residuales.

Formulación	Cerdo (X ₁)	Pavo (X ₂)	CFD-BPE (SC) (X ₃)	mg NaNO ₂ /kg mf
1	1	0	0	69.68±0.68 ^a
2	0.9	0	0.1	42.14±0.74 ^f
3	0	0.9	0.1	43.43±0.85 ^f
4	0	1	0	71.39±0.867 ^a
5	0.475	0.475	0.05	57.42±1.05 ^d
6	0.95	0	0.05	57.14±0.83 ^d
7	0	0.95	0.05	59.20±1.17 ^d
8	0.45	0.45	0.1	42.97±0.67 ^f
9	0.5	0.5	0	70.16±2.45 ^a
10	0.675	0.25	0.075	52.10±0.50 ^e
11	0.25	0.675	0.075	52.04±0.62 ^e
12	0.725	0.25	0.025	62.75±0.15 ^b
13	0.25	0.725	0.025	61.97±0.48 ^b

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos del diseño de mezclas simplex para la variable de respuesta del contenido de nitritos de los trece tratamientos de salchichas tipo Viena analizados, donde se observa que el mayor contenido de nitritos residual (69.68-71.39 mg NaNO₂/kg mf) lo presentan las formulaciones que no contienen CFD-BP (1,4 y 9), no habiendo diferencia significativa entre ellos aun cuando se mezclan los dos tipos de carne ($p < 0.05$), mientras que el menor contenido de nitritos lo presentan las formulaciones enriquecidas con el CFD-BP, observándose que este contenido tiende a disminuir conforme se incrementa la concentración del CFD-BP en las formulaciones.

Estos resultados están relacionados con los obtenidos en el análisis de regresión lineal, el cual demostró que hubo una alta correlación ($R^2=0.9847$) entre los valores

experimentales y predichos de la variable de respuesta del contenido de nitritos residual. La ecuación 2 que modela los datos experimentales y predichos para esta variable de respuesta es la siguiente.

$$y = 69.7377045x_1 + 71.19899083x_2 - 615.694455x_3 - 6.12268337x_1x_2 + 458.021687x_1x_3 + 457.202788x_2x_3 + 93.9853226x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Asimismo, el ANDEVA del modelo de regresión lineal demostró que teniendo como únicos ingredientes en la mezcla; a la carne de cerdo o pavo hubo un efecto significativo de aumento en el contenido de nitritos residual lo cual se observa en la tabla 12 con los contenidos máximos de nitritos residual (69.67-71.39 mg NaNO₂/kg mf) para las formulaciones sin CFD-BP. Contrariamente, el análisis demostró que la presencia del CFD-BP tuvo un efecto significativo de disminución del contenido de nitritos residual ($p < 0.05$).

Del mismo modo, se encontraron evidencias de un efecto mínimo significativo de sinergismo binario, que la combinación de la carne de cerdo-CFD-BP o carne de pavo-CFD-BP aumentan mínimamente el contenido de nitritos residual, lo cual no es muy deseable en el producto.

Sin embargo, el contenido de nitritos residual de todos los experimentos analizados, se encuentra dentro de lo establecido por la NMX-F-1984, donde se especifica que la salchicha debe tener un contenido de nitritos residual menor a 156 mg/kg de muestra, observando que todas las formulaciones están por debajo de lo permitido.

7.6.2 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE CAROTENOS

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de carotenos se muestra en la tabla 13.

En la tabla 13 se observa que el contenido de carotenos en los experimentos fue de 0.09 mg eq. de β -caroteno/100 g ms para las formulaciones sin CFD-BP (1,4 y 9)

y de 0.20-0.51 mg eq. de β -caroteno/100 g ms para las formulaciones enriquecidas con el CFD-BP.

Tabla 13. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de carotenos.

Formulación	Cerdo (X_1)	Pavo (X_2)	CFD-BPE (SC) (X_3)	mg eq β - caroteno/100 g ms
1	1	0	0	0.095±0.002^h
2	0.9	0	0.1	0.51±0.01^a
3	0	0.9	0.1	0.44±0.01^b
4	0	1	0	0.097±0.005^h
5	0.475	0.475	0.05	0.23±0.01^g
6	0.95	0	0.05	0.28±0.01^f
7	0	0.95	0.05	0.28±0.01^f
8	0.45	0.45	0.1	0.47±0.02^c
9	0.5	0.5	0	0.09±0.003^h
10	0.675	0.25	0.075	0.38±0.01^d
11	0.25	0.675	0.075	0.35±0.01^e
12	0.725	0.25	0.025	0.23±0.003^g
13	0.25	0.725	0.025	0.21±0.002^g

Los valores presentados son el promedio \pm desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). ms=materia seca.

Se observa, que el contenido de carotenos aumentó conforme se incrementó la concentración del CFD-BP en los experimentos, desde la concentración más baja hasta la máxima concentración, donde el máximo contenido de carotenos lo tuvieron las formulaciones (2, 3 y 8) enriquecidas con el mayor contenido del CFD-BP (10%). Asimismo, se observa que hubo un aumento de carotenoides de aproximadamente 144% en las formulaciones con menor concentración del CFD-BP (2.5%) y un aumento aproximado del 466% el contenido de carotenos en las formulaciones con la mayor concentración (10%), y esto se debe a que a mayor concentración del CFD más cuantificable el contenido de compuestos bioactivos presentes en estas formulaciones.

Asimismo, estos resultados están relacionados con los obtenidos con el análisis de regresión lineal, donde la ecuación que modela los datos experimentales y predichos del contenido de carotenos se muestra en la ecuación 3.

$$y = 0.09520285x_1 + 0.10628382x_2 + 6.28524612x_3 + 0.01498853x_1x_2 - 2.2745707x_1x_3 - 3.12445462x_2x_3 - 0.98784763x_1x_2x_3 \dots \text{Ec. 3}$$

El análisis de regresión lineal del modelo demostró que hubo una correlación muy alta ($R^2=0.9777$) entre los valores experimentales y los predichos. Del mismo modo, la ecuación del modelo demostró que la mezcla pura constituida únicamente por la carne de cerdo, carne de pavo o CFD-BP tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de carotenoides de las salchichas tipo Viena ($p<0.05$). Los valores positivos de los coeficientes de regresión indicaron que al aumentar el contenido de carne de puerco o pavo existe un mínimo incremento en el contenido de carotenoides, debido probablemente a la presencia de annatto (achiote) en las formulaciones, ya que este ingrediente es rico en carotenoides, además, al aumentar el contenido de CFD hubo un mayor aumento en el contenido de carotenoides. Por otro lado, no hubo efectos significativos de antagonismo o sinergismo binario o ternario ($p<0.05$).

7.6.3 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE POLIFENOLES

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de polifenoles se muestra en la tabla 14, donde se observa que la cuantificación de polifenoles extraíbles se realizó a cada uno de los trece tratamientos de salchichas tipo Viena y se encontró el contenido de polifenoles en un intervalo de 160-254 mg GAE/100 g ms en las formulaciones (1, 4 y 9) sin CFD-BP.

Tabla 14. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de polifenoles.

Formulación	Cerdo (X ₁)	Pavo (X ₂)	CFD-BPE (SC) (X ₃)	mg GAE/100 g ms
1	1	0	0	160.34±10.22 ^f
2	0.9	0	0.1	400.14±17.33 ^a
3	0	0.9	0.1	325.32±11.18 ^{bc}
4	0	1	0	254.55±17.04 ^e
5	0.475	0.475	0.05	299.54±18.17 ^{cd}
6	0.95	0	0.05	289.97±29.25 ^d
7	0	0.95	0.05	316.19±25.2 ^{cd}
8	0.45	0.45	0.1	342.34±9.04 ^b
9	0.5	0.5	0	162.34±4.34 ^f
10	0.675	0.25	0.075	309.70±11.97 ^{cd}
11	0.25	0.675	0.075	287.61±11.19 ^d
12	0.725	0.25	0.025	259.10±4.84 ^e
13	0.25	0.725	0.025	260.53±8.60 ^e

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). GAE= equivalente de ácido gálico; ms=materia seca.

Por otro lado, el contenido de polifenoles para las formulaciones que contenían el CFD-BP se encontró en un intervalo de 259-400 mg GAE/100 g ms desde las formulaciones con el 2.5 % de CFD-BP hasta las de mayor concentración del mismo. El contenido de polifenoles fue incrementando conforme se incrementaba la concentración del CFD, y este incremento fue de aproximadamente un 62% para las formulaciones con el 2.5% de CFD-BP, 82% para las formulaciones con el 5% del CFD-BP y aproximadamente un 113% para las formulaciones con la mayor concentración (10%) del CFD-BP.

A partir del modelo experimental se obtuvo la ecuación 4, la cual modela los datos experimentales y predichos para la variable de polifenoles extraíbles.

$$y = 159.882054x_1 + 254.084893x_2 - 7545.59872x_3 - 106.548858x_1x_2 + 11150.0723x_1x_3 + 9424.75632x_2x_3 - 145.021357x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 4}$$

Se encontró una correlación alta ($R^2=0.9139$) entre los valores experimentales y predichos de acuerdo al análisis de regresión lineal del modelo estudiado. El análisis de varianza (ANDEVA) demostró que en la mezcla pura constituida ya sea por la carne de puerco o pavo hubo un efecto significativo de aumento en la variable de respuesta ($p<0.05$). Por otro lado, se observa que hubo efecto significativo de antagonismo binario cuando se mezcla la carne de cerdo con la de pavo ($p<0.05$), es decir, el signo negativo indica que hay una menor respuesta sobre el contenido de polifenoles. Asimismo, hubo evidencias de efectos significativos de sinergismo binario indicando que los efectos combinados de dos componentes ya sea carne de cerdo o pavo con el CFD-BP ($p<0.05$), genera mayores respuestas cuando estos componentes se mezclan entre sí.

7.6.4 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE ABTS⁺ Y FRAP

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta de la actividad antioxidante por los métodos de ABTS⁺ y FRAP se muestra en la tabla 15.

Los resultados de la actividad antioxidante para el método de ABTS⁺ fue encontrado en un intervalo de 1.56-2.39 $\mu\text{mol TE/g ms}$ para las formulaciones sin CFD-BP y de 2.21-4.27 $\mu\text{mol TE/g ms}$ en las formulaciones con CFD-BP, y esto se aprecia en la tabla 15.

Asimismo, en la tabla 15 también se observan los resultados obtenidos para la actividad antioxidante por el método de FRAP donde los valores encontrados estuvieron en un intervalo de 7.91-12.64 $\mu\text{mol TE/g ms}$ para las salchichas sin la adición del CFD-BP y de 15.66-23.41 $\mu\text{mol TE/g ms}$ para las formulaciones enriquecidas con el CFD-BP. Se puede observar que las formulaciones enriquecidas con el 7.5% y 10% del CFD-BP no presentaron diferencia significativa

entre ellas, asimismo, puede observarse que fueron las que mayor actividad antioxidante presentaron.

Tabla 15. Diseño simplex de mezclas para las variables de respuesta de la actividad antioxidante (ABTS⁺ y FRAP).

Formulación	Cerdo (X ₁)	Pavo (X ₂)	CFD-BPE (SC) (X ₃)	ABTS ⁺ (µmol TE/ g ms)	FRAP (µmol TE/ g ms)
1	1	0	0	1.57±0.37 ^d	7.91±0.23 ^h
2	0.9	0	0.1	4.25±1.18 ^{ab}	21.82±1.69 ^{ab}
3	0	0.9	0.1	4.27±1.76 ^a	22.01±1.14 ^{ab}
4	0	1	0	2.39±0.09 ^{cd}	12.65±1.26 ^g
5	0.475	0.475	0.05	2.67±0.96 ^{cd}	17.56±0.86 ^{ef}
6	0.95	0	0.05	2.21±0.55 ^{cd}	19.80±0.52 ^{cd}
7	0	0.95	0.05	2.63±0.26 ^{cd}	18.81±1.79 ^{de}
8	0.45	0.45	0.1	4.12±0.72 ^{ab}	23.23±2.15 ^a
9	0.5	0.5	0	2.32±0.14 ^{cd}	12.27±0.95 ^g
10	0.675	0.25	0.075	2.98±0.32 ^{bc}	22.34±0.52 ^{ab}
11	0.25	0.675	0.075	3.01±0.67 ^{abc}	23.41±0.15 ^a
12	0.725	0.25	0.025	3.05±0.62 ^{abc}	21.27±1.17 ^{bc}
13	0.25	0.725	0.025	3.25±0.27 ^{abc}	15.66±0.20 ^f

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). µmol TE /g ms= micromol equivalente de Trolox por gramo de materia seca.

Para la actividad antioxidante por el método de ABTS⁺ se obtuvo la ecuación 5 que modela los datos experimentales y predichos.

$$y = 1.59446776x_1 + 2.39813753x_2 + 202.384345 + 3.22125814x_1x_2 - 194.594387x_1x_3 - 202.484188x_2x_3 - 42.4955x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 5}$$

El análisis de regresión demostró que hubo una débil correlación ($R^2=0.5315$) entre los valores experimentales y los predichos. Asimismo, la ecuación del modelo demostró que considerando una mezcla pura constituida por carne de cerdo, pavo o CFD-BP hubo un efecto significativo de aumento de la actividad antioxidante. Por otro lado, no hubo efecto significativo de antagonismo o sinergismo binario o ternario ($p < 0.05$).

La ecuación 6 modela los datos experimentales y predichos para la actividad antioxidante por el método de FRAP como se muestra a continuación:

$$y = 9.57228541x_1 + 11.5500259x_2 - 937.287325x_3 + 8.42456117x_1x_2 + 1196.8253x_1x_3 + 1166.443x_2x_3 - 46.1652501x_1x_2x_3 \dots \text{Ec. 6}$$

El coeficiente de correlación que se obtuvo para esta variable fue alto ($R^2=0.8259$) entre los valores experimentales y los predichos. La ecuación del modelo también demostró que en la mezcla pura constituida únicamente por carne de cerdo o pavo hay un efecto significativo de aumento mínimo de la actividad antioxidante ($p<0.05$), mientras que teniendo como único componente al CFD-BP la respuesta disminuye significativamente ($p<0.05$). Asimismo, se observó que hubo un efecto significativo de sinergismo binario, cuando se mezclan la carne de cerdo o pavo con el concentrado, es decir, existe un aumento en la actividad antioxidante cuando estos componentes se mezclan entre sí.

7.6.5 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE HUMEDAD

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de humedad se muestra en la tabla 16.

En la tabla 16 se muestra el contenido de humedad de los trece tratamientos analizados, de los cuales se observa que el mayor contenido de humedad la presentan los tratamientos que no contienen CFD-BP (formulación 1, 4 y 9) y los de menor concentración (2.5%) del CFD-BP (formulación 12 y 13). Cabe mencionar que el contenido de humedad fue disminuyendo conforme se iba aumentando la concentración del CFD-BP en los tratamientos, siendo la menor humedad la que presentaron las formulaciones enriquecidas con la mayor concentración de fibra (10%).

Tabla 16. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del contenido de humedad.

Formulación	Cerdo (X ₁)	Pavo (X ₂)	CFD-BPE (SC) (X ₃)	Humedad (%)
1	1	0	0	68.24±0.25 ^a
2	0.9	0	0.1	62.003±0.67 ^h
3	0	0.9	0.1	63.31±0.71 ^g
4	0	1	0	70.37±0.73 ^a
5	0.475	0.475	0.05	65.05±0.27 ^{ef}
6	0.95	0	0.05	64.17±0.62 ^f
7	0	0.95	0.05	66.04±0.13 ^d
8	0.45	0.45	0.1	61.38±0.53 ^h
9	0.5	0.5	0	66.98±0.85 ^c
10	0.675	0.25	0.075	61.90±0.63 ^h
11	0.25	0.675	0.075	65.77±0.45 ^{de}
12	0.725	0.25	0.025	67.49±0.16 ^b
13	0.25	0.725	0.025	67.68±0.12 ^b

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La norma mexicana NMX-F-065-1984 para alimentos-salchichas-especificaciones establece que en las propiedades químicas, las salchichas deben presentar un contenido de agua mínimo de 0% y máximo de 70%, por lo que los valores de humedad obtenidos de tratamientos analizados se encuentran dentro de lo establecido por la norma.

De acuerdo a la literatura Solano-Barrera (2013) obtuvo valores de humedad de 64.4-71.8% de humedad de salchichas tipo Viena enriquecidas a diferentes concentraciones de un CFD de carambolo. Asimismo, Viuda-Martos *et al.* (2009) obtuvieron valores de 61.4-65.6% de humedad en salchichas tipo Bologna enriquecidas con fibra de cítricos y aceite esencial de orégano. Por otro lado, Eim *et al.* (2008) demostraron que incrementado el porcentaje de fibra dietaria en las salchichas fermentadas-secas (Sabrosada) disminuye el contenido de humedad.

Se obtuvo un coeficiente de correlación alto ($R^2=0.8967$) entre los valores experimentales del contenido de humedad y los predichos de acuerdo al análisis de regresión lineal. La ecuación 7 modela los datos experimentales y predichos para el contenido de humedad en las salchichas.

$$y = 67.8741448x_1 + 70.7017305x_2 - 313.526816x_3 - 7.34005323x_1x_2 - 347.980009x_1x_3 + 352.977796x_2x_3 + 17.8927941x_1x_2x_3 \dots \text{Ec. 7}$$

La ecuación del modelo demostró que en la mezcla pura teniendo como únicos componentes la carne de cerdo o pavo se incrementa significativamente el contenido de humedad, mientras que el CFD-BP como ingrediente único disminuye significativamente el contenido de humedad ($p<0.05$). Asimismo, hubo evidencias de un efecto significativo de antagonismo binario cuando se mezcla la carne de cerdo con la carne de pavo o cuando se mezcla la carne de cerdo con el CFD-BP ($p<0.05$), es decir, que existe una disminución significativa del contenido de humedad cuando estos componentes se mezclan entre sí. Del mismo modo, se observaron tendencias de un aumento mínimo significativo cuando se mezcla la carne de pavo con el CFD-BP ($p<0.05$). Por otro lado, no se observaron efectos significativos de sinergismo o antagonismo ternario.

7.6.6 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE FUERZA DE CORTE

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta de fuerza de corte se muestra en la tabla 17.

Los valores de fuerza de corte encontrados en los experimentos estuvieron en un intervalo de 7.40-8.60 N para las formulaciones que no contenían CFD-BP, mientras que la fuerza de corte para las formulaciones que contenían desde el 2.5% hasta el 10% del CFD-BP estuvo en un intervalo de 8.8-19.17 N, lo que indica que entre más concentración del CFD-BP presenten los experimentos mayor esfuerzo al corte tendrán y estos resultados se observan en la tabla 17.

Tabla 17. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta de la fuerza de corte.

Formulación	Cerdo (X ₁)	Pavo (X ₂)	CFD-BPE (SC) (X ₃)	Fuerza de corte (N)
1	1	0	0	8.34±0.49 ^{fg}
2	0.9	0	0.1	19.18±0.36 ^a
3	0	0.9	0.1	14.10±1.43 ^b
4	0	1	0	7.40±0.37 ^g
5	0.475	0.475	0.05	10.47±0.33 ^{de}
6	0.95	0	0.05	10.51±0.28 ^{de}
7	0	0.95	0.05	11.55±0.51 ^{cd}
8	0.45	0.45	0.1	15.77±0.94 ^b
9	0.5	0.5	0	8.60±0.43 ^{fg}
10	0.675	0.25	0.075	16.06±1.20 ^b
11	0.25	0.675	0.075	12.38±0.32 ^c
12	0.725	0.25	0.025	9.44±0.42 ^{ef}
13	0.25	0.725	0.025	8.88±1.16 ^f

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

El coeficiente de correlación ($R^2=0.9031$) obtenido por análisis de regresión lineal del modelo estudiado indicó que hubo una correlación alta entre los valores experimentales y los predichos. La ecuación 8 que modela los datos experimentales y predichos para la variable de respuesta de fuerza de corte es la siguiente:

$$y = 7.68311753x_1 + 7.9670441x_2 + 506.628337x_3 + 2.05384086x_1x_2 - 430.727058x_1x_3 - 480.465382x_2x_3 - 41.5218792x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 8}$$

La ecuación del modelo experimental demostró que en una mezcla pura constituida únicamente por carne de cerdo, pavo o CFD-BP hay un aumento significativo de esfuerzo al corte ($p < 0.05$). Asimismo, se observa que hay evidencia de un efecto significativo de antagonismo binario cuando se mezcla cualquiera de las carnes con el CFD-BP, es decir hay una disminución o una menor respuesta de esfuerzo al corte cuando estos ingredientes se mezclan entre sí. De acuerdo a la literatura, García *et al.* (2007) reportan valores en un intervalo de 7.6-8 N de esfuerzo al corte

en salchichas cocidas enriquecidas con fibra de pera, lo cual demostró que este esfuerzo al corte aumentó significativamente con respecto al control ($p < 0.05$), mientras que los valores de fuerza de corte de las salchichas control fueron menores (6.8 N) a los de las salchichas control (7.4-8.6) de este estudio cuando se compararon entre si y esto posiblemente podría deberse a que esas salchichas en su composición presentan un elevado contenido de almidón (Solano-Barrera, 2013).

7.6.7 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE DE ENCOGIMIENTO

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del encogimiento se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta del encogimiento.

Formulación	Cerdo (X_1)	Pavo (X_2)	CFD-BPE (SC) (X_3)	Encogimiento
1	1	0	0	9.72±0.43 ^b
2	0.9	0	0.1	6.40±0.20 ^f
3	0	0.9	0.1	7.40±0.29 ^e
4	0	1	0	11.78±0.79 ^a
5	0.475	0.475	0.05	8.11±0.14 ^{cd}
6	0.95	0	0.05	6.52±0.33 ^f
7	0	0.95	0.05	7.39±0.13 ^e
8	0.45	0.45	0.1	1.98±0.17 ^g
9	0.5	0.5	0	9.71±0.34 ^b
10	0.675	0.25	0.075	6.55±0.28 ^f
11	0.25	0.675	0.075	7.31±0.35 ^e
12	0.725	0.25	0.025	7.66±0.11 ^{de}
13	0.25	0.725	0.025	8.59±0.49 ^c

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Como se observa el porcentaje de encogimiento de las salchichas tipo Viena fue mayor en las salchichas sin CFD-BP y estos valores estuvieron entre 9.7-11.7% de encogimiento ($p < 0.05$), mientras que los valores de encogimiento para las salchichas enriquecidas con la máxima concentración del CFD-BP estuvo en un intervalo de 6.4-7.4% de encogimiento. Lo que indica, que al incrementar la concentración del CFD-BP el porcentaje de encogimiento de las salchichas tipo Viena disminuye.

La ecuación 9 es la que modela los datos experimentales y predichos del encogimiento de las salchichas.

$$y = 9.23580232x_1 + 11.138235x_2 + 24.072216x_3 - 3.0202E - 05x_1x_2 - 52.7198095x_1x_3 - 62.2038076x_2x_3 - 119.235631x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 9}$$

Donde y es el encogimiento expresado en porcentaje (%). El coeficiente de correlación ($R^2=0.7731$) obtenido por el análisis de regresión lineal del modelo estudiado indicó que hubo una buena correlación entre los valores experimentales y los predichos.

El análisis estadístico realizado a los experimentos muestra que en una mezcla pura constituida por carne de cerdo y carne de pavo hubo un efecto significativo sobre el encogimiento ($p < 0.05$), el cual aumenta al aumentar la concentración de las carnes y este es mayor que en los experimentos que contienen CFD-BP, lo cual no es deseable.

Asimismo, se encontró que hubo efecto significativo cuando se combinaron dos ingredientes. El signo negativo de los coeficientes de correlación demostró un antagonismo binario. Cuando se combinaron la carne de pavo con el CFD-BP o la carne de cerdo con el CFD-BP, hay una tendencia a disminuir el encogimiento.

7.6.8 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE L^*

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta del parámetro de luminosidad (L^*) se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta L^* .

Formulación	Cerdo (X_1)	Pavo (X_2)	CFD-BPE (SC) (X_3)	L^*
1	1	0	0	59.72±0.96^{gh}
2	0.9	0	0.1	57.70±1.16ⁱ
3	0	0.9	0.1	59.47±0.33^{gh}
4	0	1	0	64.21±0.37^b
5	0.475	0.475	0.05	62.18±0.87^{cd}
6	0.95	0	0.05	59.36±1.42^{gh}
7	0	0.95	0.05	61.10±0.08^{de}
8	0.45	0.45	0.1	60.24±0.56^{efgh}
9	0.5	0.5	0	65.75±0.69^a
10	0.675	0.25	0.075	60.38±0.47^{efg}
11	0.25	0.675	0.075	59.05±0.62^h
12	0.725	0.25	0.025	60.67±0.09^{ef}
13	0.25	0.725	0.025	62.50±0.17^c

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$).

Como se puede observar en la tabla 19 los valores de L^* encontrados en los experimentos estuvo en un intervalo de 57.7-62.5%. La ecuación 10 que modela los datos experimentales y predichos de la variable de respuesta de luminosidad (L^*) es la siguiente.

$$y = 60.0239245x_1 + 64.1126839x_2 + 315.217047x_3 + 11.6643048x_1x_2 - 301.450353x_1x_3 - 333.902724x_2x_3 - 69.3953077x_1x_2x_3 \dots \text{Ec. 10}$$

Se obtuvo un coeficiente de correlación bueno ($R^2=0.8216$) a partir del análisis de regresión lineal del modelo estudiado entre los valores experimentales y los predichos. El ANDEVA demostró que en una mezcla pura constituida únicamente por carne de cerdo, carne de pavo o CFD-BP hay un efecto significativo sobre el valor de luminosidad (L^*) ($p<0.05$). Dicha respuesta, aumentó conforme se aumentó la concentración de dichos componentes en la mezcla.

Asimismo, se encontró un efecto de sinergia cuando se mezclan los dos tipos de carne entre sí, es decir, hay un aumento de la variable de respuesta o hay una mejor respuesta cuando estos componentes se mezclan entre sí. Del mismo modo, la ecuación del modelo demostró que existe un efecto significativo de antagonismo binario cuando cualquiera de las carnes se mezclan con el CFD-BP. El signo negativo sugiere que hay una menor respuesta cuando estos componentes se mezclan entre sí.

De acuerdo a la literatura la disminución de la luminosidad (L^*) podría ser atribuida a las pérdidas de humedad en las salchichas, el efecto de la fibra sobre la evolución de la luminosidad podría ser relacionada también dependiendo del efecto del pH sobre la estructura proteínica de la carne y la distribución de agua en la matriz de la misma. Cuando el pH es más bajo que el punto isoeléctrico de las proteínas de la carne, estas tienden a desnaturalizarse y se altera su estructura y esto modifica sus propiedades de refracción y reflexión de luz (Fernández-López *et al.*, 2007).

7.6.9 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE a^*

El diseño completo de mezcla simplex para la variable de respuesta de a^* se muestra en la tabla 20.

En la tabla 20 se observa que los valores de a^* encontrados en los experimentos estuvieron en un intervalo de 5.4-8.9%, se observa que este parámetro fue disminuyendo significativamente conforme se incrementaba la concentración de CFD-BP en las formulaciones. La ecuación 11 que modela los datos experimentales y predichos de la variable de respuesta a^* se muestra a continuación.

$$y = 8.8498266x_1 + 8.17787065x_2 + 11.0860144x_3 + 1.26722897x_1x_2 - 27.5060325x_1x_3 - 33.2287842x_2x_3 - 0.82786505x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 11}$$

Se obtuvo un buen coeficiente de correlación ($R^2=0.7667$) a partir del análisis de regresión lineal del modelo estudiado entre los valores experimentales y los predichos. El análisis de varianza (ANDEVA) demostró que en una mezcla pura

constituida únicamente por carne de cerdo y carne de pavo hay un efecto significativo sobre el valor de a^* ($p < 0.05$). Dicha respuesta, aumentó conforme se aumentó la concentración de dichos componentes en la mezcla. Asimismo, cabe mencionar que no hubo efectos significativos de sinergismo o antagonismo binario o ternario. Los signos negativos de los coeficientes de regresión demostraron que la mezcla de carne de cerdo o pavo con el CFD-BP disminuye el parámetro de color a^* el cual corresponde a coloraciones rojizas en la escala de color CIE-Lab.

Tabla 20. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta a^*

Formulación	Cerdo (X_1)	Pavo (X_2)	CFD-BPE (SC) (X_3)	a^*
1	1	0	0	8.97±0.79^a
2	0.9	0	0.1	6.78±0.28^{efg}
3	0	0.9	0.1	5.44±0.19^h
4	0	1	0	8.18±1.16^{abc}
5	0.475	0.475	0.05	7.91±0.91^{bcd}
6	0.95	0	0.05	7.31±0.07^{cdef}
7	0	0.95	0.05	6.90±0.72^{defg}
8	0.45	0.45	0.1	6.15±0.09^{gh}
9	0.5	0.5	0	8.77±0.97^{ab}
10	0.675	0.25	0.075	6.99±0.46^{defg}
11	0.25	0.675	0.075	6.51±0.35^{fg}
12	0.725	0.25	0.025	8.31±0.10^{abc}
13	0.25	0.725	0.025	7.60±0.54^{cde}

Los valores presentados son el promedio \pm desviación estándar ($n=3$). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

De acuerdo a la literatura, la luminosidad en alimentos está relacionada con muchos factores, incluyendo la concentración y tipo de pigmentos presentes, contenido de agua, higroscopicidad del material disuelto en la matriz del agua, oclusión del contenido de aire, disponibilidad de agua superficial y contenido y tipo de fibra (Fernández-Ginés *et al.*, 2003).

7.6.10 MODELO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA VARIABLE b^*

El diseño completo simplex de mezclas para la variable de respuesta b^* se muestra en la tabla 21. Se observa que los valores del cuadrante b^* en los experimentos estuvo en un intervalo de 10.05-19.86%.

Tabla 21. Diseño simplex de mezclas para la variable de respuesta b^*

Formulación	Cerdo (X_1)	Pavo (X_2)	CFD-BPE (SC) (X_3)	b^*
1	1	0	0	10.05±0.59^h
2	0.9	0	0.1	17.19±0.34^{bc}
3	0	0.9	0.1	19.87±0.96^a
4	0	1	0	13.19±1.21^g
5	0.475	0.475	0.05	15.57±1.32^{de}
6	0.95	0	0.05	15.003±0.66^{ef}
7	0	0.95	0.05	15.76±0.53^{cde}
8	0.45	0.45	0.1	20.55±1.49^a
9	0.5	0.5	0	13.57±0.30^{fg}
10	0.675	0.25	0.075	17.27±0.93^b
11	0.25	0.675	0.075	16.86±0.48^{bcd}
12	0.725	0.25	0.025	12.95±0.32^g
13	0.25	0.725	0.025	13.81±0.92^{fg}

Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La ecuación 12 que modela los datos experimentales y predichos de la variable de respuesta b^* es la siguiente.

$$y = 10.6512526x_1 + 13.0200776x_2 + 312.394065x_3 + 4.05449928x_1x_2 - 253.281039x_1x_3 - 259.380202x_2x_3 + 9.35440137x_1x_2x_3 \dots \dots \dots \text{Ec. 12}$$

El coeficiente de correlación ($R^2=0.8895$) obtenido por el análisis de regresión lineal del modelo estudiado indico que hubo una correlación alta entre los valores experimentales y los predichos, indicando que este parámetro es determinante en el color de las salchichas tipo Viena formuladas en este trabajo.

La ecuación del modelo también demostró que considerando una mezcla pura constituida únicamente por carne de cerdo, pavo o del CFD-BP tuvieron un efecto

significativo sobre el parámetro de b^* ($p < 0.05$). Dicha respuesta, aumentó conforme se aumentó la concentración de cada uno de los componentes.

Se encontró también evidencias de antagonismo binario al combinar cualquiera de las carnes con el CFD-BP ($p < 0.05$), lo que significa que hay una menor respuesta cuando se combinan estos componentes. Sin embargo, se mostró efecto de un sinergismo ternario cuando se mezclan los dos tipos de carne con el CFD-BP, lo que sugiere que hay un aumento en la variable de respuesta.

En la tabla 21 se puede observar que los valores más bajos de b^* (10.05-12.9) se obtuvieron con las formulaciones que no contenían CFD-BP y con las que se enriquecieron con la más baja concentración del mismo. Asimismo, se observa que los máximos valores de b^* (17.1-20.5) lo presentaron las formulaciones enriquecidas con la mayor concentración del CFD-BP. Como se puede observar en la tabla el valor del parámetro de color b^* (el cual corresponde a coloraciones amarillas en la escala de color CIE-LAB) aumentó conforme se aumentó la concentración del CFD-BP en las salchichas tipo Viena, por lo que este aumento podría atribuirse a la presencia de los carotenoides presentes en la fibra (Viuda-Martos *et al.*, 2003; Fernández-López *et al.*, 2004; García y Vera, 2010).

De acuerdo a la literatura, Viuda-Martos *et al.* (2010) reportaron valores de amarillez (b^*) de 7.3 para las salchichas tipo Boloña sin adición de fibra de cítricos, mientras que para las Boloña enriquecida con fibra mostró un valor de b^* de 9.

CONCLUSIONES

VIII. CONCLUSIONES

- El bagazo de piña como residuo agroindustrial representa una materia prima potencial para su uso en la obtención de concentrados de fibra dietaria, debido a su alto contenido de FDT con compuestos bioactivos asociados y con actividad antioxidante.
- Las muestras sometidas al escaldado incrementaron sus valores en todas las determinaciones realizadas (polifenoles, capacidad antioxidante, carotenoides, FDT, FDS).
- Se seleccionó el concentrado de fibra dietaria de bagazo de piña escaldado secado por charolas para adicionarlo a las salchichas ya que fue el que presentó el mayor contenido de fibra dietaria, polifenoles, capacidad antioxidante, además de carotenos. Por lo que este CFD podría ser utilizado como ingrediente funcional para enriquecer alimentos.
- La mezcla de carne de cerdo o pavo con el CFD-BP mostró un efecto de antagonismo binario reduciendo el contenido de nitritos residual, encogimiento y humedad de las salchichas tipo Viena.
- La combinación de las carnes de cerdo o pavo con el CFD-BP tuvieron un efecto significativo de sinergismo binario en el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y fuerza de corte.
- El CFD influyó en la disminución de compuestos indeseables (nitritos) y en el encogimiento de las salchichas, obteniendo un producto que contiene compuestos bioactivos (polifenoles con capacidad antioxidante y carotenos).

BIBLIOGRAFÍA

IX. BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists. (2001). The definition of dietary fiber. Report of the dietary fiber definition committee to the board of directors of the American association of Cereal Chemists. *Cereal Foods World*, 46, 112-126.
- Ajila, C., Aalami, M., Leelavathi, K., & Rao, U. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.*, 11 (1), 219-224.
- AOAC. (1997). Association of Official Analytical Chemist. *Official Methods of Analysis (15 th ed)*. Washington, USA.
- Baena, L., & García, N. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera colombiana. *Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.*
- Baixauli, R. (2007). Influencia de la adición de un ingrediente funcional en la calidad de un producto de Bollería. Aspectos reológicos y texturales y su relación con la aceptación sensorial. 197. [Tesis Doctoral]. Valencia. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad Politécnica de Valencia.
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47, 502-509.
- Baquero, C., & Bermudez, A. (1998). Los residuos vegetales de la Industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. *Tecnología de Alimentos*, 2, 207-214.
- Baquero, C., & Bermúdez, A. S. (1998). Los residuos vegetales de la industria de jugo de maracuya como fuente de fibra dietaria. *Eds.*, 2, 207-214.

- Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56 (11), 317-333.
- Burkitt, D. P., Walker, A., & Painter, N. (1972). Effect of dietary fibre on stools and transit times and its role in the causation of disease. *Lancet*, 2, 1048-1412.
- Caamal, I., & Tian Kú, J. (2003). *Distribución, comportamiento y rentabilidad del cultivo de la piña en México, Texcoco*. PRONISEA-DICEA, Universidad autónoma de Chapingo.
- Cañas Ángel, Z., Restrepo Molina, D. A., & Cortés Rodríguez, M. (2011). Revisión: Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos. *Fac.Nal.Agr.Medellín*, 64 (1), 6023-6035.
- Casellis-Ramos, M., Luna-Suárez, S., & López-Valdez, F. (2003). Obtención de bromelinas a partir de desechos agroindustriales de la piña. 1-2.
- Castañeda, P. (2003). *Manual técnico: Seminario sobre producción y manejo post-cosecha de la piña para la exportación*. San Salvador: Proyecto VIFINEX.
- Chang, C., Lin, H., Chang, C., & Liu, Y. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze dried and hot air dried tomatoes. *J. Food Eng.*, 77, 478-485.
- Chávez-Zepeda, L. P., Cruz-Méndez, G., Gracia de Caza, L., Díaz-Vela, J., & Pérez-Chabela, M. L. (2009). Utilización de subproductos agroindustriales como fuente de fibra para productos cárnicos. *Nacameh*, 3 (2), 71-82.
- Ching-Hui, C., Hsing-Yu, L., Chi-Yue, C., & Yung-Chuan, L. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77, 478-485.
- Correia, R., McCue, P., Magalhaes, M., Macedo, G., & Shetty, K. (2004). Production of phenolic antioxidants by the solid-state bioconversion of pineapple waste mixed with soy flour using *Rhizopus oligosporus*. *Process Biochemistry*, 39 (12), 2167-2172.

- Cruz, M. (2002). *Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (Pasiflora edulis)*. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química. México: [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico].
- Cummings, J., & Stephen, A. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, S5-S18.
- Da Silva, D. I., Nogueira, G. D., Duzzioni, A. G., & Barrozzo, M. A. (2013). Changes of antioxidant constituents in pineapple (*Ananas comosus*) residue during drying process. *Industrial Crops and Products*, 50, 557-562.
- De Escalada Pla, M. F., Uribe, M., Fissore, E. N., Gerschenson, L. N., & Rojas, A. M. (2010). Influence of the isolation procedure on the characteristics of fiber-rich products obtained from quince wastes. *Journal of Food Engineering*, 96, 239-248.
- De Vries, J. W., Prosky, L., Li, B., & Cho, S. (1999). A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Foods World*, 44 (5), 367-369.
- Dikeman, C., & Fahey Jr., G. (2006). Viscosity as Related to Dietary Fiber: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46-8, 649-663.
- Dominguez-Barradas, D. (2013). *Potencial del cultivo de piña MD-2 Ananas comosus en el municipio de Juan Rodriguez Clara Veracruz*. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana.
- Eim, V. S., Simal, S., Roselló, C., & Femenia, A. (2008). Effects of addition of carrot dietary fibre on the ripening process of a dry fermented sausage (sobrassada). *Meat Science*, 80, 173-182.
- Eim, V. S., Simal, S., Roselló, C., Femenia, A., & Bon, J. (2013). Optimisation of the addition of carrot dietary fibre to a dry fermented sausage (sobrassada) using artificial neural networks. *Meat Science*, 96, 341-348.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing:

Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, 124, 411-421.

Englyst, K., Liu, S., & Englyst, H. (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, S19-S39.

Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72.

FAO. (16 de Diciembre de 2015). *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Producción animal*. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015

FAOSTAT. (2013). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistic Division*. www.faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor. Recuperado el 01 de Diciembre de 2015

Fennema, O. (2000). *Química de los Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.

Fernández-Ginés, J. M.-Á.-L.-B. (2004). Lemon albedo as new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. *Meat Science*, 67, 7-13.

Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 176-185.

Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat Science*, 80, 410-417.

- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sendra, E., Sayas-Barbera, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2007). Orange fibre as potential functional ingredient for dry-cured sausages. *Eur Food Res Technol*, 226, 1-6.
- Ferreira Dominguez, L., Giglioti, R., Alves Feitosa, K., Regina Fantatto, R., Dias Rabelo, M., de Sena Oliveira, M. C., . . . de Souza Chagas, A. C. (2013). In vitro and in vivo evaluation of the activity of pineapple (*Ananas comosus*) on *Haemonchus contortus* in Santa Ines sheep. *Veterinary Parasitology*, 197, 263-270.
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91 (3), 395-401.
- Fuertes. (1998). Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación. *Séptimo simposio de alimentos. Universidad Autónoma de Yucatán*, 1-25.
- Garau, M. C., Simal, S., Roselló, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024.
- Goñi, I., & Hervert-Hernández, D. (2011). By-Products from Plant Foods are Sources of Dietary Fibre and Antioxidants. *Phytochemicals – Bioactivities and Impact on Health*, 95-116.
- Grigelmo-Miguel, N., Gorinstein, S., & Martín-Belloso, O. (1999). Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food Chemistry*, 65 (2), 175-181.
- Guillon, F., & Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33 (3-4), 233-245.

- Hajar, N., Zainal, S., Nadzirah, K., Siti Roha, A., Atikah, O., & Tengku Elida, T. (2012). Physicochemical Properties Analysis of Three Indexes Pineapple (Ananas comosus) Peel Extract Variety N36. *APCBEE Procedia*, 4, 115-121.
- Herrero, A., de la Hoz, L., Ordóñez, J., Herranz, B., Romero de Ávila, M., & Cambero, M. (2008). Tensile properties of cooked meat sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters and physico-chemical characteristics. *Meat Science*, 80 (3), 690-696.
- Holst, B., & Williamson, G. (2008). Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*, 19 (2), 73-82.
- Jaworska, G., Pogon, K., Bernas, E., & Skrzypczak, A. (2014). Effect of Different Drying Methods and 24-Month Storage on Water Activity, Rehydration Capacity, and Antioxidants in Boletus edulis Mushrooms. *Drying Technology: An International Journal*, 32, 291-300.
- Jimenez-Escrig, A., Rincón, M., Pulido, R., & Saura-Calixto, F. (2001). Guava fruit (Psidium guajava L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49 (11), 5489-5493.
- Kapoor, S., & Aggarwal, P. (2014). Drying Method Affects Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Carrot. *International Journal of Vegetable Science*, 1-28.
- Ktari, N., Smaoui, S., Trabelsi, I., Nasri, M., & Salah, R. B. (2014). Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. *Meat Science.*, 96, 521-525.
- Larrauri, J. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Food Science and Technology*, 10, 3-8.

- Larrauri, J. A., Rupérez, P., & Saura-Calixto, F. (1997). Pineapple Shell as source of dietary fiber with associated polyphenols. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 45 (10), 4028-4031.
- Llamas, J. M. (2007). *Las salchichas*. Asociación de tiendas de Autoservicio y Departamentales, A.C.
- Mabel Selani, M., Canniatti Brazaca, S. G., dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., & Andreia, B. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23-30.
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémesy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition.*, 81 (1), 230-242.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food chemistry*, 1520-1526.
- Matos-Chamorro, A., & Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1 (1), 4-17.
- Mendoza, E., García, M. L., Casas, C., & Selgas, M. D. (2001). Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. *Meat Science*, 57, 387-393.
- Metzler, B., & Mosethin, R. (2008). A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Aust. Journal of Animal Science*, 21 (4), 603-615.

- Mhatre, M., Tilak-Jain, J., De, S., & Devasagayam, T. (2009). Evaluation of the antioxidant activity of non-transformed and transformed pineapple: A comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2696-2702.
- Nelson, A. L. (2001). High-fiber properties and analyses. In: High-fiber ingredients. American Association of Cereal Chemists, Inc. *Eagan Press Handbook Series*, 29-44.
- Nicoli, M. C., Anese, M., & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Food Science and Technology*, 10, 94-100.
- Nicoli, M., Anese, M., & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 10 (3), 94-100.
- Nindo, C., Sun, T., Wang, S., Tang, J., & Powers, J. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 36, 507-516.
- NMX-F-065-1984, N. M. (1984). *Alimento.-Salchichas.-Especificaciones. Secretaria de Patrimonio y fomento industrial. Dirección General de Normas.*
- NOM-122-SSA1-1994. (1994). *Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias.*
- Núñez. (2014). Extracción, cuantificación, caracterización fisicoquímica y funcional de fibra dietaria obtenida a partir de residuos de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg). *Tesis de grado. Universidad San Francisco de Quito.*
- O'shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 1-10.

- Okos, M., Campanella, O., Narsimham, G., Singh, R., & Weitnauer, A. (1992). *Food dehydration*. Handbook of food engineering. Taylor and Francis, Boca Raton, FL.: In: Heldman, D.R. and Lund, D.B.
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science.*, 76 (1), R6-R15.
- Paltrieri, G., & Meyer, M. (2007). *Elaboración de Productos Cárnicos. Manuales para educación agropecuaria. Área: Industrias Rurales* (Vol. 29). México, D.F.: SEP-Trillas, S.A de C.V.
- Pantaleón-Velasco, M. R., Ruiz-López, I. I., Pérez-Silva, A., Bravo-Clemente, L., Mateos, R., Ruiz-Espinosa, H., & Vivar-Vera, M. A. (2014). Antioxidant and functional properties of a high dietary fibre powder from carambola (Averrhoa carambola L.) pomace. *Food Science and Technology*, 1-10. doi:doi:10.1111/ijfs.12519
- Peraza, G. (2000). *Caracterización de los residuos Fibrosos de Canavalia ensiformis L. y Phaseolus Lunatus L. y su incorporación a un producto alimenticio*. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química. México: [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico].
- Pérez-Jiménez, J., Serrano, J., Taberner, M., Arranz, S., Diaz-Rubio, M. E., García-Díaz, L., . . . Saura-Calixto, F. (2009). . Bioavailability of phenolic antioxidants associated with dietary fiber: plasma antioxidant capacity after acute and long-term intake in humans. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum).*, 64 (2), 102-107.
- Plaami, S. P. (2009). Content of dietary fiber in foods and its physiological effects. *Food Reviews International*, 13 (1), 29-76.
- Pulido Salinas, A. G. (2007). Estudio Técnico-Económico para la Fabricación de Bromelina. Tesis Licenciatura. Instituto Tecnológico Nacional.

- Pulido, R., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J. Agric. Food Chemistry*, 48, 3396-3402.
- Puupponen-Pimía, R., Aura, A. M., Oksman-Caldentey, K. M., Myllärinen, P., Saarela, M., Mattila-Sandholm, T., & Poutanen, K. (2002). Development of functional ingredients for gut health. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 3-13.
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Álvarez-Parrilla, E., . . . González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food and Function*, 5, 1063-1072.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS+ radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Sablani, S., Andrews, P., Davies, N., Walters, T., Saez, H., & Bastarrachea, L. (2011). Effect of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Drying Technology*, 29 (2), 205-216.
- Sánchez Aguirre, M. D. (2013). *Etiología y manejo de pudrición de frutos de piña (Ananas comosus L. Merr) en postcosecha*. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, EDO. de México.
- Sánchez-Alonso, I., Jiménez-Escrig, A., Saura-Calixto, F., & Borderias, A. (2007). Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodologies. *Food Chemistry*, 101 (1), 372-378.
- Santoyo Juárez, J., & Martínez Alvarado, C. (2011). *Fundación Produce Sinaloa. Paquete tecnológico para la producción de piña en el sur de Sinaloa*. Sinaloa. Recuperado el 02 de Diciembre de 2015, de

file:///C:/Users/ELETRA212/Documents/descargas%20diciembre/fundacion%20produce%20sinaloa.pdf

- Satyanarayana, K., Arizaga, G., & Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers: An overview. *Progress in Polymer Science*, 34 (9), 982-1021.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: a new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4303-4306.
- Saura-Calixto, F. (2010). Dietary Fiber as a Carrier of Dietary Antioxidants: An Essential Physiological Function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (1), 43-49.
- Saura-Calixto, F., Serrano, J., & Goñi, I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*, 101 (2), 492-501.
- Scalzo, R. L., Iannocari, T., Summa, C., Morelli, R., & Rapisarda, P. (2004). Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. *Food Chemistry*, 85, 41-47.
- Schneeman, B. (1999). Fiber, inulin and oligofructose: Similarities and differences. *Journal of Nutrition*, 129 (7), 1424S-1427S.
- Selgas, M. D., Cáceres, E., & García, M. L. (s.f.). Long-chain Soluble Dietary Fibre as Functional Ingredient in Cooked Meat Sausages. *Food Science and Technology International*, 11 (1), 41-47.
- Selma, M. V., Espin, J. C., & Tomas-Barbera, F. A. (2009). Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (15), 6485-6501.
- Shim, S. M., Ferruzi, M. G., Kim, Y. C., Janle, E. M., & Santerre, C. R. (2009). Impact of phytochemical-rich foods on bioaccessibility of mercury from fish. *Food Chemistry*, 112 (1), 46-50.

- SIAP-SAGARPA. (01 de Diciembre de 2015). *Produccion Agrícola: Ciclo de Cíclicos y Perennes 2014. Modalidad de Riego + Temporal, Piña*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2015, de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Solano Barrera, S. (2013). . *Efecto de la adición un concentrado de fibra dietaria de bagazo de carambola (averrhoa carambola l.) en las características químicas, físicas y sensoriales de salchichas tipo Viena*. . Instituto Tecnológico de Tuxtepec: Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias en Alimentos.
- Somogyi, L., Ramaswany, H., & Hui, Y. (1996). *Processing fruits science and technology*. Lancaster. PA. USA.: Technomic Publishing Co.
- Suleiman, N. (2004). Dietary fibre source from pineapple by product. *Food Chemistry, 85*, 189-194.
- Tamayo, Y., & Bermúdez, A. (1998). *Los residuos vegetales del jugo de naranja como fuente de fibra dietética*. Instituto Politécnico Nacional, Tecnología de Alimentos, México.
- Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International, 43*, 450-460.
- Totosaus, A. (2007). Productos cárnicos emulsionados bajos en grasa y sodio. *Nacameh, 1 (1)*, 53-66.
- Vásquez-Villalobos, C. E., Soto Simental, S., & Villalobos Delgado, L. H. (2010). Efecto de la Fibra Dietética Sobre la Textura de Salchichas Tipo Viena. *Nacameh, 4 (2)*, 37-43.
- Vergara-Valencia, N., Granados-Pérez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., & Bello-Pérez, L. A. (2007). Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *LWT, 40*, 722-729.

- Villalobos Delgado, L. H., Vásquez Villalobos, C. E., & Soto Simental, S. (2009). Efecto de la adición de la fibra dietética sobre la textura de salchichas tipo Viena. *CNCYT*, 21-23.
- Viuda-Martos, M., Ruíz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Effect of orange dietary fibre, oregano essential oil and packaging conditions on shelf-life of bologna sausages. *Food Control*, 21, 436-443.
- Zambrano, Z., de la Luz, M., Hernández, A., & Gallardo, Y. (1998). *Caracterización fisicoquímica del Nopal*. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Zambrano, Z., de la Luz, M., Meléndez, R., & Gallardo, Y. (2001). *Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética*. Brasil: Fibra Dietética en Iberoamérica, Tecnología y Salud.
- Zhu, F., Du, B., Zheng, L., & Li, J. (2014). Advance on the bioactivity and potential applications of dietary fibre from grape pomace. *Food Chemistry*, 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.057>
- Zúñiga, M. (2005). *Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago: [Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica].

ANEXOS

X. ANEXOS

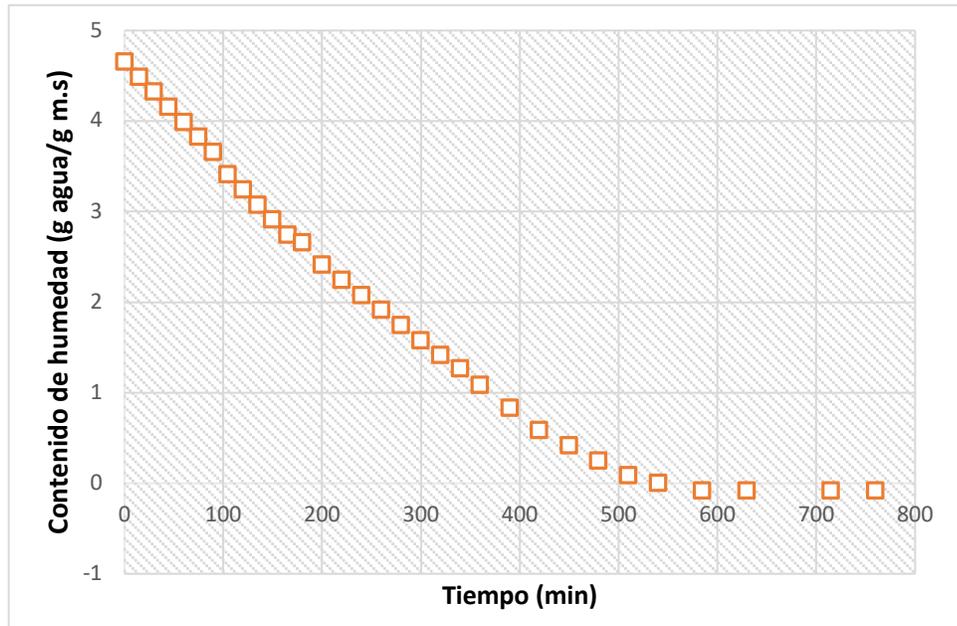


Figura 15. Cinética de secado del CFD obtenido del BP fresco secado por charolas.

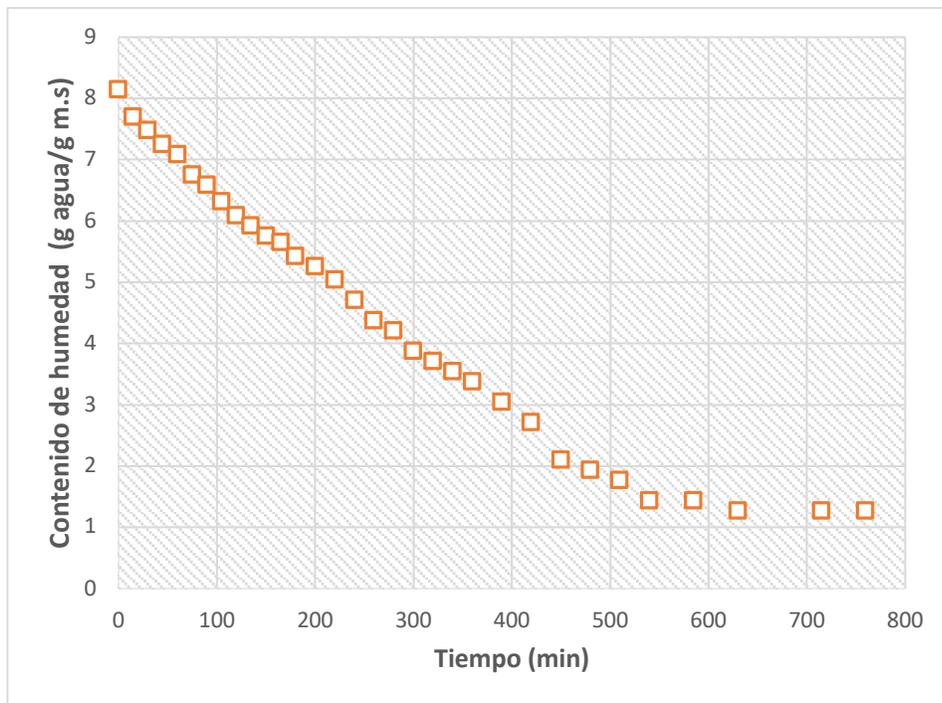


Figura 16. Cinética de secado del CFD obtenido del BP escaldado secado por charolas.

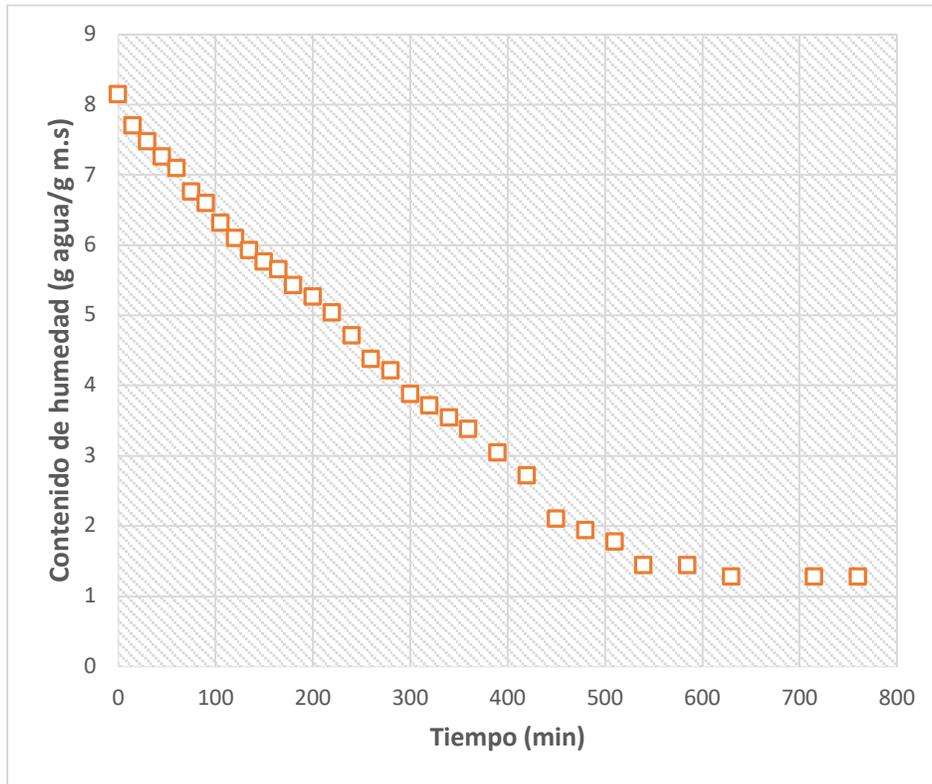


Figura 17. Cinética de secado del BP fresco secado por charolas.