

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN NUTRICIÓN**



**“PROPIEDADES FUNCIONALES Y FISIOLÓGICAS DE DIETAS  
CON FIBRA SOLUBLE (Goma de Tara) E INSOLUBLE (Hojas de  
Agave) EN RATAS HOLTZMAN”**

**Presentada por:**

**FULGENCIO VILCANQUI PÉREZ**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR  
*DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN NUTRICIÓN**

**Lima – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN NUTRICIÓN**

**“PROPIEDADES FUNCIONALES Y FISIOLÓGICAS DE  
DIETAS CON FIBRA SOLUBLE (Goma de Tara) E INSOLUBLE  
(Hojas de Agave) EN RATAS HOLTZMAN”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR**

*Doctoris Philosophiae*

**Presentada por:**

**FULGENCIO VILCANQUI PÉREZ**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dra. Rosalva Chirinos Gallardo  
**PRESIDENTE**

Ph.D. Carlos Vifchez Perales  
**PATROCINADOR**

Dra. María Elena Villanueva Espinoza  
**MIEMBRO**

Dra. Ritva Repo de Carrasco  
**MIEMBRO**

Ph.D. Walter D. Estela Escalante  
**MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa, Yanet Marisol y mis adorados hijos, Manuel Eduardo y Nicole Alexandra por su amor y ternura. Como siempre a mis padres, Manuel y Jacinta, quienes aún nos proveen alimentos nutritivos y saludables. A mis cinco hermanos, por sus sabios consejos. A todos los familiares que supieron dar cariño y amor a mis hijos durante mi ausencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Asesor de Tesis, Ph.D. Carlos Vílchez Perales, por la profundidad en la revisión del presente trabajo de investigación en sus diferentes etapas.

Al comité de tesis doctoral, Dra. Rosana Chirinos, Dra. María Elena Villanueva, Dra. Ritva Repo Carrasco y Ph.D. Waldir Estela; por la contribución significativa en el presente trabajo.

A mis compañeros de estudios de programa Doctoral en Nutrición, Ciencia de los Alimentos y Ciencia Animal, con quienes pude compartir momentos muy gratos y de quienes guardaré por siempre su valiosa amistad.

A los estudiantes y egresados de la Facultad de Zootecnia, muy jóvenes ellos, pero con un entusiasmo admirable por el trabajo.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por la licencia concedida para realizar los estudios de doctorado. De igual forma a los profesores de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

## INDICE GENERAL

### RESÚMEN

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1	DEFINICIÓN DE LA FIBRA DIETARIA .....	3
2.2	CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETARIA .....	4
2.3	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA FIBRA DIETARIA .....	6
2.4	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA FIBRA DIETARIA .....	9
a.	Celulosa.....	9
b.	Hemicelulosa.....	11
c.	Lignina .....	11
d.	Pectinas .....	12
e.	Inulina .....	13
f.	Gomas y mucílagos .....	13
g.	$\beta$ -glucanos .....	14
h.	Almidones resistentes.....	14
i.	Alginatos .....	15
2.5	PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA FIBRA DIETARIA.....	16
a.	Solubilidad y capacidad de hidratación.....	16
b.	Capacidad de adsorción de aceite .....	17
c.	Viscosidad y formación de geles.....	17
d.	Fermentabilidad.....	19
2.6	EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA FIBRA .....	20
a.	Apetito, saciedad, pH y regulación del peso corporal .....	20
b.	Estreñimiento y cáncer.....	22
c.	Absorción de minerales .....	23
d.	Efectos adversos de la fibra dietaria.....	24
2.7	FUENTES DE FIBRA DIETARIA .....	24
a.	Endospermo de semilla de tara .....	24
b.	Fibra de las hojas de <i>agave</i> .....	26
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	27
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN Y FUENTE DE FINANCIAMIENTO.....	27
3.2	FUENTES DE FIBRA DIETARIA E INSUMOS.....	27

3.3	EVALUACIÓN <i>In vitro</i> DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES .....	28
a.	Solubilidad en agua (SA) .....	28
b.	Capacidad de absorción y retención de agua (CAA y CRA) .....	28
c.	Capacidad de hinchamiento (CH) .....	29
d.	Capacidad de adsorción de aceite (CAAC) .....	29
3.4	EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS Y LA ABSORCIÓN APARENTE DE Ca Y P .....	29
a.	Animales de experimentación y formulación de dietas .....	30
b.	Efectos fisiológicos relacionados con la regulación del peso .....	30
c.	Efectos fisiológicos relacionados con el tránsito intestinal .....	32
d.	Efectos fisiológicos relacionados la absorción aparente de minerales.....	32
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
4.1	PROPIEDADES FUNCIONALES .....	34
a.	Solubilidad y capacidad de hidratación (absorción, retención e hinchamiento) .....	34
b.	Capacidad de adsorción de aceite .....	40
4.2	EFFECTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS GANANCIA DEL PESO CORPORAL .....	41
4.3	EFFECTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS CON EL TRÁNSITO INTESTINAL .....	46
4.4	EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA FIBRA RELACIONADOS CON LA ABSORCIÓN APARENTE DE CALCIO Y FÓSFORO.....	51
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de la fibra según el grado de solubilidad en el agua. ....	5
Tabla 2.	Clasificación de la fibra según el grado de fermentabilidad.....	7
Tabla 3.	Clasificación de la fibra dietaria según el grado de polimerización .....	8
Tabla 4.	Métodos para la cuantificación de los componentes de la fibra dietaria .....	10
Tabla 5.	Propiedades funcionales de las diferentes fuentes de fibra dietaria.....	18
Tabla 6.	Composición porcentual de las dietas experimentales conteniendo diferentes fuentes y niveles de fibra dietaria.....	31
Tabla 7.	Propiedades funcionales <i>in vitro</i> de las fuentes de fibra.....	35
Tabla 8.	Efectos fisiológicos relacionados con la regulación del peso.....	44
Tabla 9.	Efectos fisiológicos relacionados con la velocidad de tránsito intestinal ....	47
Tabla 10.	Efectos relacionados con la absorción de Ca y P.....	52

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mecanismo de regulación de sobrepeso y obesidad .....	22
Figura 2.	Estructura química del carbohidrato contenido en la goma de tara... ..	25
Figura 3.	Solubilidad en agua de las diferentes fuentes de fibra dietaria.....	37
Figura 4.	Capacidad de absorción de agua en las diferentes fuentes de fibra dietaria .....	38
Figura 5.	Capacidad de hinchamiento de las diferentes fuentes de fibra dietaria... ..	39
Figura 6.	Capacidad de adsorción de aceite de las diferentes fuentes de fibra dietaria.....	42



## INDICE DE ANEXOS

Anexo I.	Clasificación taxonómica del <i>Agave americana</i> .....	67
Anexo II.	Diagrama de flujo para la obtención del polvo de las hojas de <i>Agave americana</i> .....	68
Anexo III.	Especificaciones técnicas del endospermo de semilla de tara .....	69
Anexo IV.	Especificaciones técnicas de los insumos para los bioensayos.....	70
Anexo V.	Constancia de autorización para el uso de animales de experimentación .....	76
Anexo VI.	Datos de las propiedades funcionales <i>in vitro</i> del endospermo de semilla de tara y polvo de hojas de <i>Agave americana</i> .....	77
Anexo VII.	Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la regulación del peso corporal en ratas Holtzman .....	82
Anexo VIII.	Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la velocidad de tránsito intestinal en ratas Holtzman .....	87
Anexo IX.	Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la absorción aparente de Ca y P en ratas Holtzman.....	91

## ABREVIATURAS

Almidones resistentes	ARs
American Association of Cereal Chemists	AACC
Ácidos grasos de cadena corta	AGCC
Association of Official Analytical Chemistry	AOAC
Capacidad de adsorción de aceite	CAAC
Capacidad de absorción de agua	CAA
Capacidad de retención de agua	CRA
Capacidad de hinchamiento	CH
Celulosa	CEL
European Food Safety Authority	EFSA
Endospermo de semilla de tara	EST
Enfermedades no transmisibles	ENTs
Fructo-oligosacáridos	FOS
Fibra dietaria de alto peso molecular (High molecular weight dietary fiber)	HMWDF
Fibra dietaria de bajo peso molecular (Low molecular weight dietary fiber)	LMWDF
Galacto-oligosacáridos	GOS
Péptido similar al glucagon tipo 1	GLP-1
Péptido tirosina-tirosina	PYY
Polvo de las hojas de <i>Agave americana</i>	HAA
Solubilidad en agua	SA

## RESÚMEN

Los objetivos del estudio fueron evaluar las propiedades funcionales, efectos fisiológicos y efectos en la absorción de minerales del endospermo de semilla de tara (EST) y polvo de las hojas de *Agave americana* (HAA); teniendo como control a alfa celulosa (CEL). Mediante estudios *in vitro*, se estimaron: solubilidad (SA), capacidades de absorción y retención de agua (CAA y CRA), hinchamiento (CH) y adsorción de aceite (CAAC). Mediante estudios *in vivo* (ratas Holtzman), se evaluaron los efectos relacionados con la regulación del peso corporal, tránsito intestinal y absorción de Ca y P; a través del suministro de dietas con 6 y 10 por ciento de cada fuente de fibra dietaria y 6 por ciento de CEL. El EST tuvo 32,18 por ciento de SA, 44,99 g/g de CAA, 47,86 g/g de CRA, 45,99 ml/g de CH; y el HAA tuvo 6,38 g/g de CAAC; valores significativamente superior ( $p < 0,050$ ) a CEL. Dietas con 6 y 10 por ciento del EST, presentaron efectos en la reducción de la ingesta de alimento, ganancia de peso corporal, digestibilidad aparente de la grasa y pH fecal; resultados significativamente diferentes ( $p < 0,050$ ) a CEL. Dietas con 6 y 10 por ciento de HAA, tuvieron efectos en el incremento de la humedad, masa y volumen fecal; resultados significativamente diferentes ( $p < 0,050$ ) a la dieta control. Dietas con la inclusión del EST y HAA, no exhibieron efectos en la absorción aparente de Ca y P ( $p > 0,050$ ) respecto a la dieta control. El EST presenta alta capacidad de hidratación y con efectos en la regulación del peso corporal en ratas Holtzman, y el HAA presenta alta capacidad de adsorción de aceite y con efectos en la reducción del tiempo de tránsito intestinal; sin embargo, las dos fuentes de fibra dietaria no presentaron efectos sobre la absorción aparente de Ca y P.

**Palabras clave:** Fibra dietaria; Propiedades funcionales; Efectos fisiológicos; Peso corporal; Tránsito intestinal.

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the inclusion of endosperm of tara seeds (EST) and powder of *Agave americana* leaves (HAA) on the functional and physiological properties and as well as the apparent absorption of minerals as compared with alpha cellulose (CEL). Solubility (SA), water absorption and retention capacities (CAA and CRA), swelling (CH) and fat adsorption (CAAC) capacities were determined in *In vitro* studies. The effects related to the regulation of body weight, intestinal transit and Ca and P apparent absorption were determined in *In Vivo* studies using Holtzman rats. The experimental diets contained 6 and 10 percent of each source of dietary fiber and 6 percent of CEL. The results showed that EST had 32,18 percent of SA, 44,99 g/g of CAA, 47,86 g/g of CRA, 45,99 ml/g of CH; and the HAA had 6,38 g/g CAAC, values significantly higher than CEL ( $p < 0.050$ ). Diets with 6 and 10 percent of EST decreased feed intake, body weight gain, apparent fat digestibility and faeces pH, results significantly different than CEL ( $p < 0.050$ ). Diets with 6 and 10 percent HAA showed increased moisture, mass and volume of the faeces and it were significantly different than those observed in the control diet ( $p < 0.050$ ). The apparent absorption of Ca and P was not influenced by the dietary treatments ( $p > 0.050$ ). In conclusion, EST has high hydration capacity and affects body weight gain in Holtzman rats while HAA has a high capacity for fat adsorption and with influences intestinal transit time; however, the two sources of dietary fiber showed no effects on the apparent absorption of Ca and P.

**Key words:** Dietary fiber; Functional properties; Physiological effects; body weight; Intestinal transit.

## I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas hubo un incremento acelerado del número de casos de las enfermedades no transmisibles (obesidad, hipertensión arterial, diabetes tipo 2, cáncer en el colon y otros) en países desarrollados y en vías de desarrollo (Reicks *et al.*, 2014; Kranz *et al.*, 2012). Alimentos altamente procesados y con elevado contenido en grasas saturadas y carbohidratos refinados y la insuficiente cantidad en fibra dietaria, se constituye como un factor de riesgo de estas enfermedades.

La fibra dietaria se define como el grupo de polímeros y oligómeros de carbohidratos que escapan a la digestión de las enzimas del intestino delgado y pasan al intestino grueso donde son fermentados en forma parcial o completa por la microbiota intestinal (Westenbrink *et al.*, 2013; De Menezes *et al.*, 2013). Además, las fibras deben evidenciar efectos laxantes, atenuación de los niveles de glucosa y reducción del colesterol sérico (Dhingra *et al.*, 2012; McCleary *et al.*, 2010). El consumo de la cantidad adecuada de la fibra dietaria, puede ayudar en la prevención y tratamiento de las enfermedades no transmisibles (Kranz *et al.*, 2012).

La Organización Mundial de la Salud recomienda el consumo de 30 g/día de fibra dietaria en promedio por cada 2500 kcal/día de dieta; sin embargo, el consumo actual llega tan solo a 17 g/día (Dahl *et al.*, 2015); existiendo una brecha muy grande para llegar al nivel recomendado. Esto sugiere la necesidad de identificar nuevas fuentes de fibra dietaria.

A través de estudios *in vitro*, fueron identificados importantes propiedades funcionales (capacidad de retención de agua y lípidos, capacidad de hinchamiento, viscosidad) de diferentes fuentes de fibra dietaria (salvado de trigo, hojas del *Agave tequilana*, albedo de naranja y otros). Por otro lado, en estudios *in vivo*, a través de la inclusión en la dieta de fibras solubles, teniendo como referencia a la alfa celulosa, se ha demostrado efectos en la ingesta de alimento, el apetito, la saciedad y la regulación peso corporal (Adam *et al.*, 2014; Rao, 2016). En cambio, la fibra dietaria insoluble ha demostrado efectos en el incremento del peso y volumen fecal y la reducción del tiempo de tránsito intestinal (Mudgil y Barak, 2013). Al mismo tiempo, existen estudios que demuestran que las fibras en general ejercen

efectos sobre la absorción de ciertos minerales (Fuller *et al.*, 2016). La información de las propiedades funcionales de la fibra dietaria, predicen parcialmente las alternativas del uso en la tecnología de procesamiento de alimentos y los efectos fisiológicos para la salud (Elleuch *et al.*, 2011); siendo recomendable su estudio por ambos métodos (*in vitro* e *in vivo*) cuando se tratan de nuevas fuentes de fibra dietaria.

Sobre el endospermo de semilla de tara (*Caesalpineia spinosa*), con más del 75 por ciento en el contenido de galactomananos (EFSA Panel, 2017), no existe información de las propiedades funcionales y los efectos fisiológicos mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*. Por otro lado, de las plantas del *Agave americana* (principalmente las hojas), se pueden atribuir un alto contenido de fibra insoluble conforme a los estudios realizado por Zamora *et al.* (2014) con el *Agave tequilana*, y sobre estos no existen información de las formas de aprovechamiento como insumo para la inclusión en alimentos con déficit en fibra dietaria o como un suplemento dietético. Por lo tanto, es necesario identificar las propiedades funcionales *in vitro* y los efectos fisiológicos a través de estudios *in vivo* del EST y HAA como nuevas fuentes de fibra dietaria.

Dentro de este marco, se ha propuesto los siguientes objetivos:

1. Evaluar las propiedades funcionales *in vitro* expresados en solubilidad en agua, capacidades absorción y retención de agua, capacidad de hinchamiento y la capacidad de adsorción de aceite; teniendo como fuentes de fibra dietaria al endospermo de semilla de tara y el polvo de las hojas de *Agave americana*.
2. Evaluar los efectos fisiológicos *in vivo* relacionados con la regulación del peso corporal y el tiempo de tránsito intestinal, mediante la inclusión del endospermo de semilla de tara y el polvo de las hojas de *Agave americana* en las dietas de ratas Holtzman.
3. Evaluar los efectos relacionados con la absorción de Ca y P, mediante la inclusión del endospermo de semilla de tara y el polvo de las hojas de *Agave americana* en las dietas de ratas Holtzman.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 DEFINICIÓN DE LA FIBRA DIETARIA

La definición de la “fibra dietaria” se remonta al año 1953 realizada por Hipsley, quien se refiere al constituyente no digerible de las paredes celulares de los vegetales (Hipsley, 1953); desde entonces, el concepto ha sido objeto de varias revisiones. Entre los años 1960 y 1970, se formula la hipótesis de la relación que existe entre el consumo inadecuado de la fibra dietaria y algunas enfermedades de las poblaciones en países desarrollados. También en este periodo se define a la fibra dietaria como la suma de polisacáridos de origen vegetal constituidos por celulosa, hemicelulosa y lignina, que escapan a la digestión de las enzimas secretadas por el tracto digestivo de los mamíferos (Burkitt *et al.*, 1972) y en 1985, Trowell incluye dentro de este grupo a los oligosacáridos (polidextrosas, maltodextrinas resistentes), pectinas, gomas y ceras (Dhingra *et al.*, 2012; Westenbrink *et al.*, 2013).

En 2000, la AACC, otorga un concepto más amplio a la fibra dietaria, mediante la inclusión de los efectos fisiológicos que puede tener este componente. Para esta organización, la fibra dietaria es considerada como la parte comestible de las plantas o análogos de los carbohidratos, resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano; con fermentación parcial o completa en el intestino grueso y están constituidos por polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas a la pared celular de las plantas (Dhingra *et al.*, 2012). Además, la fibra dietaria debe promover efectos atenuantes de los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, éstos últimos relacionados con la diabetes tipo 2, obesidad y enfermedades cardiovasculares (DeVriers, 2003; Cherbut, 2002; Escudero y González, 2006; Lattimer y Haud, 2010).

En el año 2009, el *Codex Alimentarius*, a través de sus delegados científicos, proponen la nueva definición de la fibra dietaria, basada en la inclusión de carbohidratos no digeribles de 3 a 9 grados de polimerización, tales como la inulina, fructo-oligosacáridos, galacto-oligosacáridos, maltodextrinas resistentes, rafinosa y otros (Westenbrink *et al.*, 2013; *Codex Alimentarius* Commission, 2009; De Menezes *et al.*, 2013; McCleary *et al.*, 2010). Los países como Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Unión Europea, Brasil, Chile, China, Indonesia,

Corea, Malasia, México y Tailandia adoptaron esta sugerencia; sin embargo, otros países como los Estados Unidos están a la espera de la decisión de la autoridad competente (Jones, 2014; Westenbrink *et al.*, 2013; Fuller *et al.*, 2016). Por otro lado, el *Codex Alimentarius* ha reconocido a la lignina y otros componentes menores (polifenoles, ceras, saponinas, fitatos, cutinas y fitoesteroles) como parte de la fibra dietaria, éstos últimos siempre que estén asociados a la pared celular de las plantas (De Menezes *et al.*, 2013).

Por consiguiente, la definición de la fibra dietaria ha sido abordada en diferentes periodos con importantes modificaciones, existiendo un consenso global en la definición fisiológico y con controversias desde la perspectiva química.

## **2.2 CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETARIA**

En forma convencional, la fibra dietaria se clasifica de acuerdo a su grado de solubilidad en dos categorías (Tabla 1): fibra dietaria insoluble tales como la celulosa, lignina y parte de la hemicelulosa; fibra dietaria soluble, tales como las pectinas, gomas y mucílagos (Chawla y Patil, 2010; Escudero y González, 2006; Westenbrink *et al.*, 2013; Papatathanasopoulos *et al.*, 2010).

Otro criterio de clasificación es de acuerdo al grado de fermentación por las enzimas del intestino humano principalmente en el colon tal como se presentan en la Tabla 2 (no fermentables: <10 por ciento, parcialmente fermentables: 10 a 70 por ciento y los fermentables: >70 por ciento (Fuller *et al.*, 2016). Para esto, es importante tener en cuenta que la degradación total o parcial de la fibra en el colon no sólo depende del tipo de ésta, sino también de la velocidad con que se realiza el tránsito a lo largo del mismo; en el caso de un tránsito rápido, la cuota de degradación es más pequeña que si acontece de forma lenta (El Oufir *et al.*, 2000). Todos los tipos de fibra a excepción de la lignina pueden ser fermentados por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles en mayor cantidad que las insolubles. Así, los fructanos y los almidones resistentes tienen una fermentación cercana al 100 por ciento; las pectinas, gomas y mucílagos con 80-95 por ciento; mientras que la celulosa entre un 15 y 50 por ciento (Redondo, 2002).



**Tabla 1: Clasificación de la fibra según el grado de solubilidad en el agua**

Fibras insolubles en agua	Fibras solubles en agua	Fibras altamente solubles en agua
Lignina	Hemicelulosa tipo A	Inulina
Celulosa	Pectinas	Fructo-oligosacáridos
Hemicelulosa tipo B	Gomas	Almidones resistentes
	Mucílagos	Azúcares no digeribles
	Otros polisacáridos	

FUENTE: Escudero y González (2006).

Existe una estrecha relación entre la solubilidad y fermentación de las fibras y esto depende del tamaño del peso molecular. Por ejemplo, la fibra dietaria de bajo peso molecular (siglas en Inglés: LMWDF), aquellas que tienen de 3 a 9 grados de polimerización (inulina, FOS y GOS), son altamente solubles en agua y altamente fermentables (Tablas 1, 2 y 3). Por otro lado, la fibra dietaria de alto peso molecular (siglas en Inglés: HMWDF), aquellas que tienen mayores a 9 grados de polimerización, están agrupadas en cuatro categorías: las fibras solubles altamente fermentables (almidones resistentes, pectinas, goma guar), las fibras solubles con fermentación intermedia (avena), las fibras insolubles con baja o escasa fermentación (salvado de trigo, frutas y verduras), las fibras insolubles y no fermentables (celulosa, lignina y metilcelulosa) (Westenbrink *et al.*, 2013; Eswaran *et al.*, 2013).

Las fibras insolubles pueden ser convertidas en fibras solubles por tratamientos químicos o enzimáticos; sin embargo, los riesgos son las alteraciones en el aspecto sensorial. El tratamiento con *trichoderma* (organismo productor de enzimas celulolíticas) ha sido probado con mucho éxito y se ha logrado un incremento de tres veces el contenido de fibra soluble, sin disminuir el contenido total de fibra dietaria (Chawla y Patil, 2010).

Algunos investigadores consideran que el criterio de clasificación de la fibra dietaria de acuerdo al grado de solubilidad en el agua (soluble e insoluble) debe quedar obsoleta y proponen su reemplazo por viscosos y no viscosos o fermentables y no fermentables, debido a que no todas las fibras solubles tienen la misma capacidad viscosa, tal como la inulina que forma solución de baja viscosidad (Slavin, 2005).

### **2.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA FIBRA DIETARIA**

Es importante identificar el método apropiado para cuantificar el contenido de fibra dietaria, debido a que los alimentos tienen diferentes tipos de fibra; esto implica que las cantidades pueden sobre o sub estimarse cuando no hay una selección apropiada. Los métodos se pueden resumir en no enzimático-gravimétrico, enzimático-gravimétrico, enzimático-químico, enzimático-colorimétrico y enzimático-cromatográfico (Elleuch *et al.*, 2011).

**Tabla 2: Clasificación de la fibra según el grado de fermentabilidad**

Fermentación total en el colon	Fermentación parcial en el colon	Fermentación nula en el colon
Gomas	Celulosa	Lignina
Pectinas	Hemicelulosa tipo B	
Mucílagos		
Fructo-oligosacáridos		
Galacto-oligosacáridos		
Inulina		
Almidones resistentes		
Hemicelulosa tipo A		

FUENTE: Escudero y González (2006).

**Tabla 3: Clasificación de la fibra dietaria según el grado de polimerización**

Oligosacáridos no disponibles de LMWDF (3≤GP≤9)	Polisacáridos (>9 GP)	
	Homo-polisacáridos no Disponibles de HMWDF	Hetero-polisacáridos no Disponibles de HMWDF
Inulina	Almidones resistentes tipo I	Hemicelulosa
Fructo-oligosacáridos	Almidones resistentes tipo II	Pentosanos solubles
Galacto-oligosacáridos	Almidones resistentes tipo III	Pentosanos solubles
Polidextrosas	Almidones resistentes tipo IV	Goma guar (galactomananos)
Maltodextrinas resistentes	Celulosa	Goma arábica (hidrocoloide)
Rafinosa	β -glucanos solubles	Pectina soluble
Estaquiosa	β-glucanos insolubles	Pectina insoluble
Nistosa		Carragenina
		Alginato
		Quitosano
		Xantana
		Quitina
		Lignina

GP: Grado de polimerización, LMWDF: Fibra dietaria de bajo peso molecular y HMWDF: Fibra dietaria de alto peso molecular

FUENTE: Westenbrink *et al.* (2013).

El método no enzimático-gravimétrico también conocido como “fibra cruda” o “fibra bruta”, viene a ser el residuo de la digestión ácida luego alcalina. Este método fue el primero en su diseño por los años sesenta y en la actualidad tiene cierta vigencia por ejemplo, en el análisis proximal de alimentos para animales y humanos. También están los tratamientos con bromuro de cetyl trimetil amonio conocido como fibra ácido detergente y con lauril sulfato de sodio como fibra neutro detergente, diseñados específicamente para cuantificar la celulosa, hemicelulosa y lignina (Elleuch *et al.*, 2011; Mertens, 2003; Southgate *et al.*, 1978). Los tratamientos con ácidos y detergentes fueron cuestionados debido al uso de reactivos muy agresivos puesto que durante la hidrólisis de proteínas y almidones también lo hacen con algunas fibras, dando como resultados la subestimación de una buena cantidad de fibra dietaria, por lo que estos métodos son poco precisos en los análisis de productos para consumo humano (Vilcanqui y Vilchez, 2017).

Desde 1985 el método oficial para medir la fibra total, fibra dietaria soluble e insoluble es el AOAC 985.29 (enzimático-gravimétrico), que consiste en la digestión de los carbohidratos y proteínas por las enzimas correspondientes (McCleary *et al.*, 2010). Este método permite cuantificar a la fibra dietaria de alto peso molecular, lignina, algunos almidones resistentes, inulina, aunque subestima, por ejemplo, a las maltodextrinas resistentes y algunos oligosacáridos (Jones, 2014). Los métodos más recientes son la AOAC 2009.01 y AOAC 2011.25 y éstos tienen las mejores aproximaciones para la cuantificación de la fibra dietaria y además, están acorde con la última definición sugerida por el *Codex Alimentarius* (Jones, 2014); por lo que estos métodos son los más utilizados en la actualidad para los estudios científicos (Tabla 4).

## **2.4 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA FIBRA DIETARIA**

### **a. Celulosa**

La celulosa tiene una estructura lineal no ramificada de alto peso molecular formado por unidades de D-glucosa unidas por los enlaces  $\beta(1,4)$ ; con 10000 unidades de monómeros de glucosa (Mudgil y Barak, 2013). En su estructura química, la celulosa presenta un ordenamiento de cadenas paralelas que se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares donde los oxidrilos generan fuertes uniones y con propiedades cristalinas; las que otorgan resistencia al estirado (Badui, 2006).

**Tabla 4: Métodos para la cuantificación de los componentes de la fibra dietaria**

<b>Método</b>	<b>Lignina</b>	<b>PNA</b>	<b>AR</b>	<b>Inulina</b>	<b>Oligosa- cáridos</b>	<b>Polidextro- sa</b>	<b>Maltodextrinas resistentes</b>
AOAC 985.29	Si	Si	Algunos	Algunos	No	No	No
AOAC 991.43	Si	Si	Algunos	Algunos	No	No	No
AOAC 992.16	Si	Si	No	No	No	No	No
AOAC 993.21	Si	Si	Algunos	Algunos	No	No	No
AOAC 994.13	Si	Si	Algunos	No	No	No	No
AOAC 997.08	No	No	No	Sí	No	No	No
AOAC 999.03	No	No	No	Sí	FOS	No	No
AOAC 2000.11	No	No	Algunos	No	No	Sí	No
AOAC 2001.03	Si	Si	Algunos	Sí	Sí	Sí	Sí
AOAC 2002.02	No	No	Algunos	No	No	No	No
AOAC 2009.01 a AOAC 2011.25	Sí	Sí	Sí (algunos)	Sí	Sí	Sí	Sí

PNA: Polisacáridos no almidónicos; AR, almidón resistente

FUENTE: Fuller *et al.* (2016).

Las moléculas de la celulosa se localizan en las membranas celulares de las plantas otorgando rigidez principalmente en la superficie, por lo que están presentes en frutas, verduras y cereales (Mudgil y Barak, 2013).

#### **b. Hemicelulosa**

La hemicelulosa es un polímero de estructura química heterogénea que contiene de 50 a 200 unidades de pentosas (xilosas y arabinosas) y unidades de hexosas (glucosa, galactosa, manosa, ramnosa y ácidos galacturónico y glucorónico) (Mudgil y Barak, 2013); y a menudo contiene una estructura ramificada de peso molecular no muy elevado (Dhingra *et al.*, 2012). Generalmente, son solubles en soluciones alcalinas concentradas (18 a 24 por ciento de los hidróxidos de sodio o de potasio) y presentan una estructura amorfa aun cuando algunos tipos desarrollan una forma fibrilar (Badui, 2006; Dhingra *et al.*, 2012; Tungland y Meyer, 2002).

La hemicelulosa, al igual que la celulosa, forma parte de la pared celular de las plantas y no es digerible en el intestino delgado humano; sin embargo, pueden desdoblarse parcialmente en el colon por la acción de la microbiota y de esta forma puede incrementar el número de bacterias benéficas para la producción de ácidos grasos de cadena corta (Dhingra *et al.*, 2012).

La hemicelulosa está presente en los cereales, legumbres, frutas y nueces; en las que representan la tercera parte de la fibra dietaria total (Mudgil y Barak, 2013).

#### **c. Lignina**

La lignina sin ser un polisacárido, está químicamente asociada a la hemicelulosa y se trata de un polímero complejo que contiene aproximadamente 40 unidades de fenilpropano oxigenado que incluye a alcoholes de coniferilo, sinapilo y curamilo, y están unidos entre sí por enlaces tipo alquil-aril-éter o carbono-carbono (Fuller *et al.*, 2016; Dhingra *et al.*, 2012). La definición de la lignina no ha sido tan clara como la de otros polímeros tales como la celulosa y las proteínas, debido a la dificultad en su aislamiento, análisis de la composición y la caracterización estructural (Chávez y Domine, 2013).

Después de la celulosa, la lignina es el polímero más abundante en el mundo vegetal y su función es asegurar protección contra la humedad y los agentes atmosféricos, además de actuar como elemento aglomerante de las fibras. Forma parte de la estructura más dura y

leñosa de los vegetales y es completamente indigerible en el intestino delgado gracias a la fuerte unión intramolecular que incluye enlaces de carbono-carbono. Una de sus propiedades más importantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado (Escudero y González, 2006).

Las verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3 por ciento de lignina, en especial en estado de maduración. En la capa externa de los cereales tal como el salvado puede llegar hasta el 3 por ciento de contenido en lignina (Escudero y González, 2006; Mudgil y Barak, 2013).

#### **d. Pectina**

Las pectinas son polisacáridos formadas por cadenas de ácido D-galacturónico unidos por enlaces  $\alpha(1,4)$  e intercaladas con unidades de ramnosa. Contienen cadenas ramificadas con unidades de pentosa y hexosa (Mudgil y Barak, 2013). Algunos de los grupos carboxilo de la cadena están esterificadas con metanol. El grado de esterificación varía en función del tipo de alimento en que se encuentre la pectina, por lo que hay pectinas de “bajo metoxilo” y “alto metoxilo”. Asimismo, los grupos carboxilo libres pueden formar enlaces con iones divalentes, como el calcio que estabiliza la estructura (Badui, 2006).

Las pectinas de bajo metoxilo tienen la mayoría de grupos de carboxilo libres, ya que solo el 20 a 40 por ciento de ellos están esterificados con el metanol. Por lo tanto, pueden formar enlaces cruzados con el calcio, formando una red tridimensional que atrapa el líquido, formando un gel. Por otra parte, las pectinas de alto metoxilo tienen más de la mitad de sus grupos carboxilo esterificados, y por tanto, no están disponibles para formar enlaces cruzados, de manera que no pueden formar geles, a excepción cuando se adiciona azúcar o ácidos (Voragen *et al.*, 2009). Debido a estas capacidades, las pectinas tienen un gran interés tecnológico en la industria alimentaria como espesante y gelificantes. En el tracto digestivo, al absorber agua, forman geles viscosos que retrasa la absorción de ciertos nutrientes, lo cual puede resultar una ventaja, para reducir el colesterol sérico y las sales biliares (Mudgil y Barak, 2013).

Las pectinas son polisacáridos que se encuentran en las paredes celulares de las plantas, así como en la piel y la corteza externa de las frutas y verduras; por ejemplo, la corteza de la naranja contiene 30 por ciento, la cáscara de manzana el 15 por ciento y la piel de la cebolla el 12 por ciento de pectina respectivamente (Mudgil y Barak, 2013).



#### **e. Inulina**

La inulina es un polisacárido constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces  $\beta$  (2,1) fructosil-fructosa, siendo el término “fructanos” usado para denominar a este tipo de compuestos. Las cadenas de fructosa pueden ser lineales o ramificadas, y el grado de polimerización varía ampliamente, desde 10 hasta 150 unidades (Shoaib *et al.*, 2016); sin embargo, también se puede encontrar entre 3 a 10 grados de polimerización, dependiendo de la naturaleza de la planta (Mudgil y Barak, 2013).

La inulina es utilizada en el procesamiento de alimentos como sustituto de azúcar que representa el 10 por ciento de la sacarosa; además, debido a las propiedades fisicoquímicas de solubilidad y formación de soluciones de baja viscosidad, pueden alcanzar hasta el 100 por ciento de fermentación en el colon, favoreciendo el crecimiento de bacterias de las especies *lactobacillus* y *bifidobacteria*; por lo que es considerada como prebiótico (Cherbut, 2002).

Las fuentes naturales de la inulina son las raíces de achicoria, alcachofa, tubérculos como el yacón, espárrago, cebolla, plátano, trigo y ajo (Raninen *et al.*, 2011); además, pueden ser sintetizados por métodos enzimáticos a partir de la sacarosa (Mudgil y Barak, 2013).

#### **f. Gomas y mucílagos**

Las gomas y mucílagos son polisacáridos altamente ramificados de alto peso molecular, con presencia de grupos hidroxilo que permite una alta actividad a través de los puentes de hidrógeno (Dhingra *et al.*, 2012; Mudgil y Barak, 2014).

Existen diversas fuentes de goma, tales como de origen marino (agar, carragenina y alginatos), de las plantas (arábiga, mezquite, tragacanto, karaya), de las semillas (goma guar, goma de algarrobo, goma de tamarindo) y de origen microbiano (xantana, gellan) (Jani *et al.*, 2009). Dentro de este grupo, la más conocida es la goma guar, que proviene del endospermo de la semilla de la planta guar, polisacárido de alto peso molecular de galactomananos (relación de manosa:galactosa, 2:1), con cadena lineal unidas por el enlace (1 $\rightarrow$ 4) de residuos de  $\beta$ -D-manopiranosilo; y en la cadena lateral a través de (1 $\rightarrow$ 6) de  $\alpha$ -D-galactopiranosilo (Mudgil y Barak, 2014).

Los mucílagos están presentes en las células de la capa externa de las semillas de plántago, chíá, flores de malva, semillas de lino y algas (Escudero y Gonzalez, 2006). Dentro del

grupo de mucílagos, el más conocido es el plántago ovata (también conocido como *psyllium*), el que está formada por una cadena principal de xilano y con cadenas laterales de residuos de xilosa y arabinosa (Jani *et al.*, 2009).

Tanto las gomas como los mucílagos, se usan en pequeñas cantidades como agentes gelificantes, espesantes, estabilizantes y emulsionantes en ciertos productos alimenticios (Dhingra *et al.*, 2012). Los efectos fisiológicos de estas fuentes de fibra son las que corresponden a la fibra soluble, tales como la reducción de los niveles de colesterol y la glucosa en la sangre y la reducción del peso corporal en personas obesas (Mudgil y Barak, 2014).

#### **g. $\beta$ -glucanos**

Los  $\beta$ -glucanos son grupo de polisacáridos heterogéneos no amiláceos formados por  $\beta$ -D-glucosa (1 $\rightarrow$ 4) y por  $\alpha$ -D-glucosa (1 $\rightarrow$ 3), estructura muy parecida a la celulosa, con la diferencia de que son ramificados y de menor tamaño de peso molecular (Fuller *et al.*, 2016). Una molécula de los  $\beta$ -glucanos contiene aproximadamente 250000 unidades de glucosa (Chawla y Patil, 2010).

Los  $\beta$ -glucanos tienen propiedades de solubilidad en agua y forman soluciones viscosas. También presentan efectos sobre el índice glicémico, el colesterol y la insulina, gracias a la formación de una red de geles en el sistema gastrointestinal, que contribuye a una mayor excreción de los ácidos biliares. Estos efectos fueron demostrados con el salvado de avena, la principal fuente de los  $\beta$ -glucanos (Mudgil y Barak, 2013).

Los  $\beta$ -glucanos son los principales componentes de la pared celular del endospermo de los granos de avena y cebada con 3 a 4,5 por ciento del peso total, y en menor cantidad en el trigo (Mudgil y Barak, 2013); también se encuentran en las levaduras de panadería y en algunos tipos de hongos y bacterias (Chawla y Patil, 2010).

#### **h. Almidones resistentes**

En general los almidones están compuestos por la amilosa y amilopectina. Los almidones resistentes están divididos en cuatro tipos: el almidón físicamente inaccesibles (AR-I), los gránulos de almidón nativo (AR-II), el almidón retrodegradado (AR-III) y el almidón modificado por medios químicos (AR-IV) (Mudgil y Barak, 2013).

Los ARs son las fracciones no hidrolizables por las enzimas del intestino delgado de los seres humanos y cuando alcanzan el intestino grueso (colon), se comporta como un sustrato importante para la fermentación bacteriana; por tanto, son considerados como un tipo de fibra dietaria. Los principales productos de la fermentación son los ácidos grasos de cadena corta o ácidos grasos volátiles, metano, hidrógeno y dióxido de carbono. Este tipo de almidones pueden contribuir con el volumen fecal, modificar la microflora colónica, aumentar la pérdida del nitrógeno fecal y la síntesis del butirato con la posibilidad de reducir el riesgo del cáncer (Chawla y Patil, 2010).

Cada tipo de almidón resistente proviene de distintas fuentes, tal como el AR-I de los granos de cereales y legumbres; el AR-II, de papas crudas, plátano verde y harina de maíz; el AR-III, de los panes, cereales extruidos, papas cocidas y enfriadas y los alimentos precocinados y el AR-IV, de alimentos procesados tales como pasteles y alimentos infantiles (Escudero y González, 2006).

#### **i. Alginatos**

Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales, conteniendo cantidades variables de ácido  $\beta$ -D-manurónico (M: 1,4-enlace ácido  $\beta$ -D-manopiranosilurónico  $^4C_1$ ) y ácido  $\alpha$ -L-gulurónico (G: 1,4-enlace ácido  $\alpha$ -L-gulopiranosilurónico  $^1C_4$ ). Su composición (dada por la relación característica manurónico/gulurónico M/G) y secuencias, varían dependiendo de la fuente de la cual proviene el polisacáridos (Jensen *et al.*, 2013).

El alginato purificado presenta propiedades importantes de viscosidad, capacidad de retención de agua, capacidad de geleficación y un alto grado de fermentación en el colon. Debido a estas propiedades tienen aplicaciones en la industria alimentaria, en la industria farmacéutica y en el micro-encapsulado de probióticos. En el campo de la nutrición, a los alginatos se les atribuyen efectos sobre la reducción del sobrepeso y la obesidad, control de los niveles del colesterol, glucemia; factores que desencadenan algunas de las enfermedades no transmisibles (Jensen *et al.*, 2012).

Los alginatos son extraídos principalmente de tres especies de algas marrones: *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su estado natural, los alginatos se presentan como una mezcla de las sales de los cationes que comúnmente se localizan en el agua del mar, principalmente  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Na^+$  (Jensen *et al.*, 2013).

## 2.5 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA FIBRA DIETARIA

Las propiedades funcionales de la fibra dietaria pueden ser medidas a través de la capacidad de retención y absorción de agua, capacidad de hinchamiento, la viscosidad, la capacidad de unión de las moléculas orgánicas, capacidad de intercambio iónico y la fermentación. La información de estas propiedades predicen parcialmente las alternativas del uso en la tecnología de procesamiento de alimentos y son responsables en los efectos fisiológicos (Elleuch *et al.*, 2011; Mudgil y Barak, 2013).

### a. Solubilidad y capacidad de hidratación

La solubilidad en el agua de la fibra dietaria está relacionada con la estructura de los polisacáridos, que pueden estar en forma de cadenas lineales o ramificadas. Un polisacárido lineal, tal como la celulosa que forma una matriz cristalina, son energéticamente más estables e insolubles; por el contrario, la presencia de estructuras ramificadas (goma de acacia) y con presencia de grupos iónicos (pectina metoxilada), incrementan la solubilidad (Dhingra *et al.*, 2012).

La presencia de grupos de sustitución como el carboxilo (-COOH), hidroxilo (-OH) o  $\text{SO}_4^{2-}$  incrementan la solubilidad. Los grupos -OH presentes en la fibra dietaria establecen puentes de hidrógeno con moléculas de agua y por su parte los grupos -COOH establecen interacciones iónicas más fuertes con los metales y éstos a su vez con el agua. Los factores como la temperatura, pH y los grupos iónicos también influyen en la solubilidad (Elleuch *et al.*, 2011).

La capacidad de absorción y retención de agua está referida a la cantidad de agua atrapada por una cantidad conocida del peso de fibra seca en determinadas condiciones de temperatura, tiempo de hidratación y velocidad del centrifugado (Mudgil y Barak, 2013). Las CAA y CRA, proveen información útil para las aplicaciones tecnológicas y nutricionales (Ma y Mu, 2016) y éstos determinan en gran medida el destino de la fibra dietaria en el tracto digestivo (Dhingra *et al.*, 2012). Se ha establecido que la capacidad de retención de agua predice las características de las heces en cuanto al peso y volumen, cuyo incremento puede causar tiempos cortos de la velocidad de tránsito intestinal y limitada exposición de los ácidos biliares secundarios y toxinas en el intestino (Yamasaki *et al.*, 2005).

La capacidad de hinchamiento se refiere al incremento del volumen de la fibra hidratada en determinadas condiciones de temperatura y tiempo con respecto al volumen de la fibra seca

(Robertson *et al.*, 2000). Las fibras insolubles como la celulosa y lignina, incrementan el volumen fecal, debido a las propiedades de retención de agua y a su escasa fermentación por la microflora colónica (Mudgil y Barak, 2013). La capacidad de hinchamiento y absorción de la fibra dietaria, pueden ser afectados por los procesos tales como la molienda, secado y la composición química, al mismo tiempo por los factores como la porosidad, tamaño de partículas, pH y temperatura (Elleuch *et al.*, 2011).

En la Tabla 5, se presentan a las fuentes de fibra de tipo soluble con mejores propiedades de hidratación, tales como el musgo (*Sphagnum magellanicum*) y el albedo de maracuyá, éste último debido al alto contenido de pectina (López *et al.*, 2013).

#### **b. Capacidad de adsorción de aceite**

La capacidad de adsorción de aceite, se refiere a la cantidad de aceite adsorbido por las fibras después de mezclado y centrifugado, bajo determinadas condiciones de tiempo y temperatura (Elleuch *et al.*, 2011). La unión entre el aceite y la fibra está relacionada con la composición química y la porosidad de este último. En las fibras con alta capacidad de hidratación, el agua ocupa los espacios porosos y reduce significativamente la unión con el aceite (Tungland y Meyer, 2002).

En tecnología de alimentos, la alta capacidad de adsorción de aceite es importante porque favorece a la estabilización de emulsiones en productos con alto contenido de grasa (Elleuch *et al.*, 2011). En la nutrición y la salud, una alta capacidad de adsorción de aceite es importante porque la fibra dietaria es capaz formar geles en el intestino delgado, lo que permite la adsorción de algunos ácidos biliares con la consecuente eliminación en las heces; propiedades que son atribuidos principalmente a las fibras solubles (Mudgil y Barak, 2013). Por otro lado, la lignina (fibra insoluble), tiene la capacidad de unir hidrofóticamente a las sales biliares y reducir la formación de sustancias carcinógenas (Fardet, 2010).

#### **c. Viscosidad y formación de geles**

La viscosidad se describe como la resistencia al flujo cuando se aplica un esfuerzo de corte y es una propiedad tecnológica de la fibra dietaria con efectos fisiológicos importantes. En general, conforme incrementa el peso molecular o la longitud de la cadena de las moléculas de la fibra, incrementa la viscosidad. Las gomas (goma guar, goma de algarrobo, goma de tragacanto), conocidos como polímeros de cadena larga, se unen significativamente al agua y exhiben soluciones de alta viscosidad; en cambio, las fibras solubles con cadena corta y

**Tabla 5: Propiedades funcionales de las diferentes fuentes de fibra dietaria**

Fuente de fibra	Propiedades funcionales <sup>1</sup>			Fuente
	CRA (g/g)	CH (ml/g)	CAAC (g/g)	
<i>Ulva lactuca</i> a 20°C	9,32	ND <sup>2</sup>	1,08	Yaich <i>et al.</i> (2011)
<i>Ulva lactuca</i> a 80°C	10,30	ND	1,01	Yaich <i>et al.</i> (2011)
Naranja (entera)	8,71	ND	3,50	De Moraes <i>et al.</i> (2013)
Cáscara de naranja	9,63	ND	3,63	De Moraes <i>et al.</i> (2013)
Fibra de comino (extracción alcalina)	3,30	3,75	5,17	Ma y Mu (2016)
Fibra de comino (extracción enzimática)	5,48	3,49	5,76	Ma y Mu (2016)
Albedo de maracuyá	13,00	37,00	2,03	López <i>et al.</i> (2013)
Pulpa y semilla de maracuyá	1,80	5,00	1,43	López <i>et al.</i> (2013)
Musgo: <i>Sphagnum magellanicum</i>	34,00	8,00	27,68	Villarroel <i>et al.</i> (2003)
Bagazo <i>Agave tequilana</i> (sin tratamiento)	3,33	1,27	2,57	Vega (2014)
Bagazo <i>Agave tequilana</i> (tratado con etanol 40 por ciento)	5,32	2,17	5,39	Vega (2014)
Bagazo <i>Agave tequilana</i> (tratado con acético 40 por ciento)	6,18	2,49	5,58	Vega (2014)

<sup>1</sup>CRA, capacidad de retención de agua; CH, capacidad de hinchamiento; CAAC, capacidad de adsorción de aceite.

<sup>2</sup>ND, datos no disponibles.

ramificada exhiben soluciones de baja viscosidad, entre ellos la goma arábica, la inulina y los arabinogalactanos (Mudgil y Barak, 2013).

A mayor concentración de fibra en soluciones, se incrementa la viscosidad; en cambio, a mayor temperatura, disminuye la viscosidad. El pH, la fuerza iónica y la velocidad del esfuerzo de corte, son factores que también influyen sobre la viscosidad (Tunghland y Meyer, 2002).

Las fibras solubles incrementan la viscosidad y forman geles del contenido gastrointestinal, fenómeno que explica el retraso del tiempo de tránsito intestinal y la lubricación de las heces (Mudgil y Barak, 2013). La formación de soluciones viscosas y geles del contenido estomacal, reducen el contacto físico entre las enzimas digestivas y los nutrientes que son atrapados y eliminados junto a las heces (Dhingra *et al.*, 2012; Isken *et al.*, 2010).

#### **d. Fermentabilidad**

La fermentabilidad de la fibra dietaria es probablemente la propiedad más importante, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales como sistémicos. La fibra dietaria llega al intestino grueso sin alteraciones y aquí las bacterias del colon, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerir en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. La digestión se produce en condiciones anaeróbicas, cuyos productos son los ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato en una proporción molar de 60:25:15, respectivamente) (Escudero y González, 2006).

La reducción del pH de las heces es como consecuencia de la presencia de los AGCC en la luz del colon y está asociada con la reducción de la incidencia del cáncer del colon en diversas poblaciones. Por otro lado, la fermentación de las fibras están asociadas con la salud gastrointestinal en términos del perfil filogenético de los microorganismos, incremento de la producción de butirato y la modificación de la morfología del colon (Chawla y Patil, 2010).

Los principales microorganismos que participan en la fermentación están distribuidos en dos *phylus*: Firmicutes (*Ruminococcus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*; 60 por ciento), Bacteroidetes (*Alistipes*, *Prevotella*, *Bacteriodes*; 15 por ciento) y con un número significativo de Actinobacteria (*Bifidobacterium*) y Protobacteria (López *et al.*, 2014). La mayor parte de estos microorganismos se localizan a lo largo de tracto digestivo, situándose la mayor concentración de éstos en el colon (Druart *et al.*, 2014).

La fibra dietaria proveniente de las frutas (manzanas y plátanos) y otros vegetales (papas y frejoles) tienen una rápida fermentación y pueden contribuir muy poco con el volumen fecal; en cambio, el *Psyllium* (plántago ovata) y el salvado de trigo, con fermentación lenta, permite la acumulación del volumen fecal en el colon (Mudgil y Barak, 2013).

## **2.6 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA FIBRA**

### **a. Apetito, saciedad, pH y regulación del peso corporal**

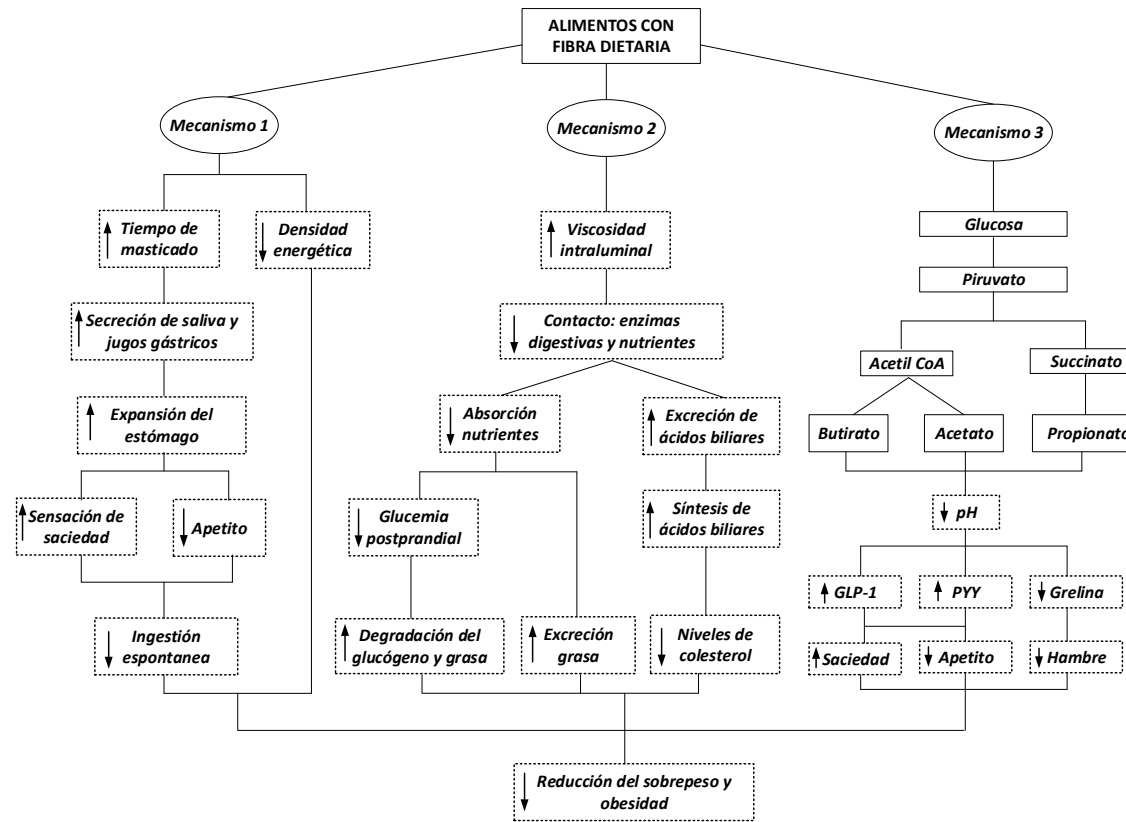
La fibra cumple un rol importante en el sistema digestivo desde la masticación hasta la evacuación de las heces. Los efectos fisiológicos del apetito, saciedad y la regulación del peso corporal pueden ser explicados a través de diversos mecanismos (Figura 1).

Dietas con una elevada cantidad de fibra requieren de mayor tiempo de masticación y una disminución en la velocidad de deglución, esto implica una mayor salivación y la producción de ácidos gástricos, lo que puede aumentar la distensión gástrica. Las fibras solubles y viscosas, por su alta capacidad de retención de agua, también pueden contribuir con la distensión gástrica. La distensión del estómago desencadena señales aferentes y probablemente aumenta la saciedad y contribuye con el control del apetito (Slavin, 2013).

La fermentación bacteriana de las fibras dietaria solubles en el colon, cuyos productos son los AGCC, son potentes mediadores en las células enteroendocrinas secretoras de hormonas péptido similar al glucagon tipo 1 (GLP-1), péptido tirosina-tirosina (PYY), grelina y leptina. El incremento de la concentración de GLP-1 y PYY en la sangre, promueven efectos positivos en la saciedad y la disminución del apetito y la baja concentración de grelina tienen efectos contrarios (Lattimer y Haud, 2010; Devaraj *et al.*, 2013; Druart *et al.*, 2014).

Los AGCC, producidos como consecuencia del proceso de fermentación acidifican el pH intraluminal, reduciendo la difusión del amonio a la sangre portal. El descenso en el pH provoca un ambiente hostil para la supervivencia de las bacterias productoras de ureasa (*Proteus*, *Klebsiella*) y, a su vez, crea un ambiente propicio para el crecimiento de bacterias no productoras de ureasa (*Lactobacillus*, *Bifidobacteria*) (Druart *et al.*, 2014).





**Figura 1: Mecanismo de regulación de sobrepeso y obesidad.**

1: efectos físicos de la fibra; 2: efectos fisicoquímicos y bioquímicos y 3: efectos colónico-hormonales.

FUENTE: Vilcanqui y Vílchez (2017).

Dietas con alto contenido de fibra suelen presentar un bajo contenido en grasa y densidad energética, con efectos a corto plazo en la regulación del peso corporal (Slavin, 2013). En el intestino delgado, las fibras solubles promueven la formación de soluciones viscosas, propiedad que tiene impactos sobre el índice glicémico, sobre los lípidos sanguíneos, la actividad enzimática, la digestibilidad y laxación. El incremento del espesor de la capa de agua que debe traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos, aminoácidos y la disminución de la absorción de los ácidos biliares ya que estos se unen a los residuos fenólicos en la matriz de los polisacáridos (Escudero y González, 2006; Mudgil y Barak, 2013).

La disminución de la digestión y absorción de los nutrientes en el intestino delgado, obliga al organismo a movilizar la reserva de glucógeno y grasa como fuentes de energía y para mantener los niveles adecuados de glucosa en la sangre. Por otro lado, ocurre la depleción de los ácidos biliares, puesto que son atrapados por las fibras y excretados por las heces, obligando a la síntesis de nuevos ácidos biliares a partir del colesterol hepático disponible, lo que explica la reducción del colesterol y los niveles de lipoproteínas de baja densidad en la sangre (Slavin, 2013).

#### **b. Estreñimiento y cáncer**

La Asociación Americana de Gastroenterología describe el estreñimiento como un trastorno basado en los síntomas de defecación insatisfactoria debido al movimiento poco frecuente del intestino, con dificultades en el paso de las heces, sensación incompleta, heces duras y voluminosas y tiempos prologados (Kranz *et al.*, 2012). La ingesta de alimentos con bajo contenido en fibra dietaria ha sido relacionada con el estreñimiento, problema clínico común que afecta a los niños y adultos (Anderson *et al.*, 2009; Ueberall *et al.*, 2011).

La ingesta de alimentos con contenidos de fibras dietarias, principalmente por la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina (con capacidades de retención de agua y la formación de mezclas de baja viscosidad), incrementan la masa y el volumen fecal. Estos efectos favorecen la estimulación mecánica, promoción de los movimientos regulares y al peristaltismo, que aceleran la velocidad de tránsito intestinal (Slavin, 2013; Devaraj *et al.*, 2013). El salvado de trigo, con alto contenido de fibra insoluble ha demostrado que tiene gran capacidad para el incremento de la masa y volumen fecal, por consiguiente en la reducción del tiempo de tránsito intestinal (Eswaran *et al.*, 2013; Ueberall *et al.*, 2011).

El incremento de la masa microbiana en el colon debido al proceso de fermentación de la fibra dietaria, contribuye directamente a la masa y volumen fecal. Esto es gracias a las bacterias que están compuestas por 80 por ciento de humedad y tiene la habilidad para resistir a la deshidratación, lo que hace posible que las heces tengan una alta capacidad de retención de agua. El número de bacterias en las heces humanas es aproximadamente de  $4 \times 10^{11}$  a  $8 \times 10^{11}/g$  y que constituye el 50 por ciento de la material fecal. La producción de los gases durante la fermentación, también puede tener cierta influencia en el volumen fecal (Tungland y Meyer, 2002).

El cáncer del colon y del recto representa una causa muy importante de morbilidad y mortalidad en todo el mundo, especialmente en los Estados Unidos, Europa y en algunos países del Asia (Huxley *et al.*, 2013). Las causas fueron atribuidos principalmente a la ingesta de carnes rojas y procesadas; en cambio, el consumo de alimentos con alto contenido de fibra dietaria fueron atribuidos a una disminución de 40 a 45 por ciento de riesgo de desarrollar cáncer, entre ellos los granos de los cereales y frutas (Kendall *et al.*, 2010).

Los posibles mecanismos anticancerígenos de las fibras insolubles es el incremento de la masa fecal y la reducción del tiempo de tránsito intestinal; en cambio, las fibras solubles, contribuyen con la fermentación, producción de los AGCC y reducción del pH del colon, condiciones que promueven el desarrollo del tipo y numero de microorganismos benéficos (Murphy *et al.*, 2012; Fuchs *et al.*, 1999).

### **c. Absorción de minerales**

La literatura señala que la fibra dietaria puede ejercer efectos positivos o negativos en la biodisponibilidad de minerales, dependiendo de su estructura química y las propiedades funcionales. Las frutas y verduras, cuyas fibras tienen la capacidad de intercambio catiónico y con residuos de ácido galacturónico no metilado, ácido fítico, oxalatos y taninos, reducen la absorción de minerales en el intestino (Otles y Ozgoz, 2014).

Por otro lado, está demostrado que las fibras altamente fermentables (inulina, fructo-oligosacáridos, lactulosa) por la microbiota colónica, mejoran la absorción de ciertos minerales como el calcio, magnesio y hierro, aun en presencia de ciertas cantidades de ácido fítico. El mecanismo está atribuido a la producción de los ácidos grasos de cadena corta, metabolitos que estimulan la proliferación de células epiteliales y la reducción del pH luminal (Otles y Ozgoz, 2014; Dahl *et al.*, 2015).

Sobre la absorción del calcio, la literatura señala que este mineral se encuentra en los alimentos en forma de sales y/o asociado a otros constituyentes, bajo la forma de complejos o iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). En condiciones fisiológicas se absorbe principalmente en el intestino delgado, responsable del 90 por ciento y de modo progresivo va decreciendo en el duodeno, yeyuno e íleon (Quesada y Sosa, 2011).

#### **d. Efectos adversos de la fibra dietaria**

Dietas con altos contenidos de fibra pueden ser voluminosas y con una densidad energética baja, que pueden afectar principalmente a niños y a adultos mayores. Existe información de las fibras aisladas o sintetizadas, tales como los oligosacáridos y almidones resistentes, de los síntomas gastrointestinales tales como la flatulencia, distensión abdominal, meteorismo y dolor abdominal, debido a la fermentación de la fibra por las bacterias del colon; por lo que se recomienda el consumo gradual mientras se adapte el tracto gastrointestinal. Fueron reportados algunos casos de obstrucción intestinal y de formación de fitobezoares con la ingestión de dosis altas de fibra no fermentable, especialmente cuando existe un escaso aporte hídrico (Escudero y Gonzalez, 2006).

También hay evidencias de que la ingesta de elevadas cantidades de algunos tipos de fibra, particularmente que están asociadas con el fitato, pueden reducir la biodisponibilidad de algunos minerales tales como hierro, calcio, magnesio y zinc. Sin embargo, esta última observación es incierta en cuanto a la salud ósea, pues el equilibrio entre el calcio y magnesio no es afectado negativamente por el consumo de grandes cantidades de cereales, frutas y verduras (Mudgil y Barak, 2013).

## **2.7 FUENTES DE FIBRA DIETARIA**

### **a. Endospermo de semilla de tara**

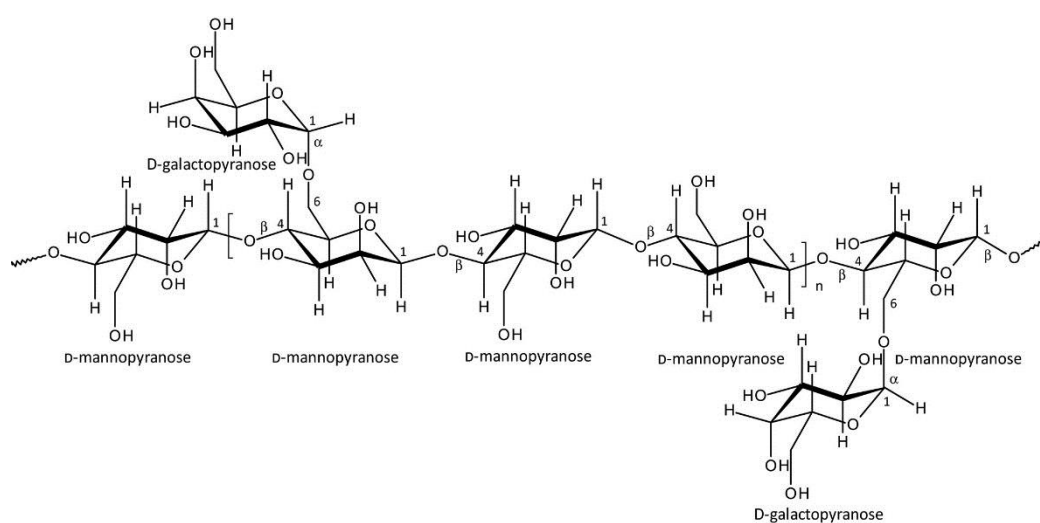
El endospermo de semilla de tara proviene de los frutos del árbol de la tara que crece principalmente en Perú, también conocido como algarrobo peruano. Los frutos que están en forma de vainas de 8 a 10 cm de longitud, contienen un número de cuatro a siete semillas con un promedio de 6 a 7 mm de diámetro. Aproximadamente el 40 por ciento de la semilla corresponde a la cáscara, el 26 por ciento al endospermo, 25 por ciento al germen y 8 por ciento a la humedad. Mediante el proceso de molienda, del endospermo de semilla de tara se obtiene un polvo de color blanco a amarillo blanco y este producto es conocido con el

nombre comercial de “goma de tara” con el código E-417 como aditivo alimentario (EFSA ANS Panel, 2017).

El EST es un polisacárido de alto peso molecular, compuesto por 77 a 78 por ciento de galactomananos (Figura 2), 14 a 15 por ciento de humedad, 2,5 por ciento de fibra cruda, 3 a 4 por ciento de compuestos nitrogenados, 1,5 por ciento de minerales y 1 por ciento de compuestos grasos. La composición de los galactomananos es similar a las otras gomas con una proporción de manosa:galactosa de 3:1, que viene a ser el intermedio de la goma de la semilla de algarrobo (4:1) y goma guar (2:1) (EFSA ANS Panel, 2017).

El peso molecular de la goma de tara, determinado por la técnica del viscosímetro capilar, y dependiendo de la temperatura, presión y el tiempo, está en el rango de  $10^6$  y  $2,33 \times 10^6$  g/mol. La solución acuosa al 1 por ciento de goma de tara tiene una viscosidad de 2000-3600 cP y esta propiedad es muy estable al rango del pH de 3 a 7,5 (Picout *et al.*, 2002).

Los estudios sobre la degradación *in vitro* con fluidos gastrointestinales humanos y los estudios de la digestibilidad *in vivo* en animales demostraron que la goma de tara no es hidrolizada por las enzimas y por consiguiente no es absorbible. Además, sobre la base de la fermentación de otros galactomananos, se ha considerado que la goma de tara puede fermentar y producir ácidos grasos de cadena corta tales como propionato, butirato y acetato durante su paso por el intestino grueso (EFSA ANS Panel, 2017).



**Figura 2: Estructura química del carbohidrato contenido en la goma de tara**

FUENTE: EFSA ANS Panel (2017)

## **b. Fibra de las hojas de *agave***

Las plantas del género *Agave* se explotan principalmente en México, Colombia y Brasil. Las hojas de estas plantas están cubiertas por una fina película de cera constituida fundamentalmente por alcoholes, ésteres, ácidos grasos e hidrocarburos, además de gomas, pectinas, almidones, clorofila, que evitan la pérdida de agua. Las hojas de *Agave* son grandes, gruesas y pulposas, que les permite el uso como materia prima para la elaboración de artículos artesanales, cordeles, refuerzo de construcciones, alimentos para animales, fármacos, biomasa, abono y sustrato para cultivos (Guevara *et al.*, 2014).

El *Agave americana*, llega a su estado de madurez a los cinco años después de su plantación. Las hojas de las plantas son de color gris azulado y en tamaño pueden medir entre 1,80 y 2,30 m de largo y 0,25 m de ancho. Presentan espinas en los bordes con 25 mm de largo. Las fibras vegetales que se originan de las hojas y tallos del *Agave americana* se convierten en una alternativa interesante para muchas aplicaciones debido a que son materiales biológicos de bajo costo, baja densidad, poseen propiedades mecánicas aceptables y son biodegradables. Las fibras de las hojas pueden ser extraídas por diferentes métodos (mecánicos, químicos, o por inmersión en agua potable o destilada. En forma adicional, es posible aplicar pre-tratamientos como la hidrólisis parcial mediante el uso de enzimas celulolíticas o reactivos químicos como los ácidos y bases (Bezazi *et al.*, 2014).

A partir del *Agave* (de las hojas y de la piña) se obtienen productos con alto contenido de fibra dietaria. Por ejemplo, las hojas de *Agave tequilana* Weber, tienen el 70,94 por ciento de fibra insoluble (celulosa: 41,9 a 58,8 por ciento y de 3 a 15 por ciento de lignina) (Vilcanqui *et al.*, 2009) y el bagazo de la piña de *Agave tequilana* con 80 por ciento; por lo que constituye un material rico en este componente. También se realizaron estudios de las propiedades funcionales (Tabla 5) sobre el bagazo de la piña del *Agave tequilana*, identificándose buena capacidad de absorción de agua y grasa, los que pueden relacionarse con el comportamiento de fibra dietaria en el intestino (Vega, 2014).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Los experimentos se desarrollaron en el Bioterio de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Algunos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) y La Molina Calidad Total Laboratorios de la UNALM.

#### **3.2 FUENTES DE FIBRA DIETARIA E INSUMOS**

Las muestras de las hojas de *Agave* fueron recolectadas en el valle de Pachachaca a 2060 m.s.n.m., ubicada en la provincia de Abancay, región Apurímac. La identificación taxonómica del *Agave* se realizó en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Anexo I). A partir de las hojas del *Agave americana* con dimensiones en promedio de 110 cm de largo y 18 cm de ancho, fue obtenida del polvo de color blanco en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac-Perú (diagrama de flujo del Anexo II). Para esto fueron realizado las siguientes operaciones: acondicionamiento de las hojas (selección, eliminación de espinas y cutícula), pre-tratamiento de la pulpa (cortado en cubos de 1x1 cm. y triturado en húmedo), extracción por inmersión con agua destilada (agua:materia, 3:1) a temperatura de 90°C por 15 min y lavado (operación que se repite por dos veces), secado a 104°C por 12 h, molienda y tamizado (Vilcanqui *et al.*, 2009).

El endospermo de semilla de tara, con las características que se describen en el Anexo III, fue donado por la empresa Molinos Asociados S.A.C., Lima-Perú.

La alfa celulosa, almidón de maíz, caseína de leche, aceite de maíz, mezcla de minerales y mezcla de vitaminas (MP Biomedicals USA, AIN 93); con las características que se describen en el Anexo IV, fueron adquiridos a la empresa ABIOC S.A.C., Lima-Perú.

### 3.3 EVALUACIÓN *in vitro* DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

Las propiedades funcionales expresadas en solubilidad en agua, capacidad de absorción y retención de agua, capacidad de hinchamiento y capacidad de adsorción de aceite, fueron evaluadas mediante estudios *in vitro*. Las fuentes de fibra dietaria fueron (tratamientos): alfa celulosa (referencia), endospermo de semilla de tara, polvo de hojas de *Agave americana* y una mezcla con una relación de 1:1 de EST:HAA. Cada tratamiento estuvo compuesto por cinco repeticiones independientes ( $n=5$ ). Los procedimientos para cada análisis se describen a continuación:

#### a. Solubilidad en agua (SA)

La SA se determinó acorde a las metodologías propuestas por Zhang *et al.* (2009) y Chen *et al.* (2014). La fuente de fibra dietaria fue mezclada con agua destilada al 1 por ciento (p/v) y calentadas a 90°C por 30 min en un baño de agua con agitación. La solución fue enfriada a temperatura ambiente y centrifugada a 3.000 g por 30 min. El sobrenadante fue recuperado en un recipiente y secado en una estufa a 105°C por 2 h. Los resultados de la solubilidad en agua fueron calculados con la ecuación (1) y los valores están expresados en porcentaje (por ciento).

$$SA = (m_2/m_1) \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde  $m_1$  es el peso seco (g) inicial de la muestra y  $m_2$  es el peso seco (g) de la muestra después de la evaporación de agua.

#### b. Capacidad de absorción y retención de agua (CAA y CRA)

La CAA y CRA fue determinada acorde al método descrito por Ma y Mu (2016). 200 mg de cada fuente de fibra fue hidratada con exceso de agua destilada (20 ml) en los tubos cónicos y agitados hasta obtener una mezcla homogénea. Para la CAA de agua, las muestras hidratadas se dejaron a temperatura ambiente por una hora y para la CRA fueron almacenadas a 37°C por 18 h. Al finalizar este tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 3.000 g por 10 min y luego eliminadas la fase sobrenadante. Los resultados fueron calculados con la ecuación (2) y expresados en g de agua absorbida o retenida por g de materia seca (g/g).

$$CAA \text{ y } CRA = (m_2 - m_1)/m_1 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde  $m_1$  es el peso seco (g) de la muestra y  $m_2$  es el peso (g) de la muestra húmeda.



### c. Capacidad de hinchamiento (CH)

La CH se determinó acorde al método descrito por Ma y Mu (2016) y Requena *et al.* (2016). 100 mg de muestra de cada fuente de fibra fueron añadidas en tubos con graduación volumétrica de 0,2 ml y se agregaron 15 ml de agua destilada. Las muestras se agitaron suavemente hasta obtener una mezcla homogénea y almacenada por 18 horas a temperatura ambiente. Los resultados fueron calculados con la ecuación (3) y expresados en ml de agua por g de materia seca (ml/g).

$$CH = (v_2 - v_1)/m \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde  $v_1$  es el volumen (ml) de la muestra seca,  $v_2$  el volumen de la muestra hidratada (ml) y  $m$  es el peso de la muestra seca (g).

### d. Capacidad de adsorción de aceite (CAAC)

La CAAC se determinó acorde al método descrito por Ma y Mu (2016) y Requena *et al.* (2016). 200 mg de muestra de cada fuente de fibra fueron pesadas en tubos cónicos y se adicionaron 10 ml de aceite de oliva. Las muestras fueron agitadas hasta obtener una mezcla homogénea y almacenada por 18 h a temperatura ambiente. Al finalizar este tiempo se centrifugaron a 3.000 g por 20 min. El aceite sobrenadante en cada tubo fue removido. Los resultados fueron calculados con la ecuación (4) y expresados en g de aceite adsorbido por g de materia seca (g/g).

$$CAAC = (m_2 - m_1)/m_1 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde  $m_1$  es el peso seco (g) de la muestra y  $m_2$  es el peso (g) de la muestra con aceite.

## 3.4 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS Y LA ABSORCIÓN APARENTE DE Ca Y P

Los efectos fisiológicos relacionados con la regulación del peso corporal fueron medidos a través de: ingesta de alimento, ganancia de peso corporal, contenido de grasa fecal y digestibilidad aparente y pH fecal.

Los efectos fisiológicos relacionados con el tránsito intestinal fueron medidos a través de: humedad en las heces, peso de las heces, volumen de las heces y tiempo de tránsito intestinal.

El efecto de las dietas con diferentes fuentes de fibra relacionados con la absorción de minerales fue medido a través de la absorción aparente de calcio y fósforo.

#### **a. Animales de experimentación y formulación de dietas**

Veinticinco ratas machos Holtzman ( $212,66 \pm 13,82$  g) con 45 días de nacidos, fueron organizadas en cinco grupos y con cinco unidades de observación ( $n=5$ ) en forma aleatoria. Cada animal fue alojado en jaulas individuales. La sala del experimento fue acondicionada a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  de temperatura y 12 h de ciclo de luz-oscuridad. Las dietas experimentales fueron suministradas después de cinco días de adaptación.

La composición de las dietas experimentales (Tabla 6) se formularon tomando como referencias a Isken *et al.* (2010); Adam *et al.* (2014) e Hino *et al.* (2012). Las fuentes de energía estuvieron compuestos por los hidratos de carbono (almidón de maíz), seguido de la proteína de leche (alto contenido en nitrógeno) y la grasa de maíz. Los insumos no energéticos (vitaminas y minerales), sustancias necesarias para la transformación de los nutrientes en energía, estuvieron compuestos por la mezcla de minerales y vitaminas. La composición específica de cada insumo se presenta en la Tabla 6.

Para los protocolos de bioseguridad, se obtuvo la autorización N° 2016-004-CEBA-UNMSM del Comité de Ética y Bienestar Animal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Anexo V).

#### **b. Efectos fisiológicos relacionados con la regulación del peso corporal**

La ingesta del alimento y la ganancia de peso corporal se obtuvieron mediante el registro diario de datos (pesos) por un periodo de 21 días y los resultados se expresaron en g/día.

El contenido de grasa fecal (g/100 g), se determinó por método AOAC 920.39, mediante el uso del equipo extractor ANKOM<sup>XT15</sup>-USA. Para dicho análisis, las heces de las ratas fueron recolectadas y deshidratadas en forma diaria por el periodo del experimento (21 días). La digestibilidad aparente de la grasa (por ciento) fue calculada sobre la base de los registros del peso del alimento ingerido y la excreción de las heces con sus contenidos grasos.

Los valores del pH fueron determinados sobre las muestras de las heces frescas y diluidas en agua destilada (proporción de 1:9) con el uso del potenciómetro Thermo Scientific Orion 4 Star (Chung *et al.*, 2007).

**Tabla 6: Composición porcentual de las dietas experimentales conteniendo diferentes fuentes y niveles de fibra dietaria**

Componentes (por ciento)	Tratamientos <sup>1</sup>				
	1	2	3	4	5
Almidón de maíz <sup>2</sup>	65	65	65	61	61
Caseína de leche <sup>3</sup>	18	18	18	18	18
Aceite de maíz <sup>4</sup>	6	6	6	6	6
Mezcla de minerales	4	4	4	4	4
Mezcla de vitaminas	1	1	1	1	1
Alfa celulosa (CEL)	6	0	0	0	0
Endospermo de semilla de tara (EST)	0	6	0	10	0
Polvo de las hojas de <i>Agave americana</i> (HAA)	0	0	6	0	10
Total	100	100	100	100	100

<sup>1</sup>1: 6 por ciento CEL; 2: 6 por ciento EST; 3: 6 por ciento HAA; 4: 10 por ciento EST; 5: 10 por ciento HAA.

<sup>2</sup>Composición de almidón de maíz: amilopectina, 75 por ciento; amilosa, 25 por ciento.

<sup>3</sup>Composición de proteína de leche: proteína, 95 por ciento; grasa, 1,5 por ciento; lactosa, 0,2 por ciento.

<sup>4</sup>Composición del aceite de maíz: grasa, 98,8 por ciento.

### **c. Efectos fisiológicos relacionados con el tránsito intestinal**

La humedad de las heces (por ciento) fue determinada siguiendo el método AOAC 930.15 (2000), con este propósito se tomaron muestras de heces frescas y fueron secadas en estufa a 105°C por toda la noche.

Para el volumen fecal, las heces frescas fueron recolectadas y secadas en una estufa en forma diaria por un periodo de veintiuno días (21) días. Una vez finalizado el experimento, el volumen fue calculado por el principio del desplazamiento de semillas de mostaza en una probeta graduada, conforme al métodos descrito por Datta *et al.* (2007), con ligeras modificaciones y los resultados fueron expresados en cm<sup>3</sup>/día.

El tiempo de tránsito intestinal se determinó acorde al métodos descrito por Kim *et al.* (2012). En el día veintidós (22) del experimento fue incorporado un marcador no absorbible (óxido férrico al 0,5 por ciento) en las dietas experimentales y suministradas a los animales después de tres horas de abstinencia. A la primera aparición de las heces marcadas de color, fueron registrados el tiempo de tránsito intestinal y los resultados fueron expresados en min.

### **d. Efectos fisiológicos relacionados con la absorción de minerales**

El contenido de calcio (Ca) y fósforo (P) se determinaron sobre las heces recolectadas y deshidratadas durante el periodo del experimento. El contenido de Ca se determinó por el método AOAC 968.08. Cap. 4. Pág 60-61, 19th Edition 2012 (espectrofotometría de absorción atómica de llama). El contenido de P se determinó por el método AOAC 986.24. Cap. 50. Pág 13-14, 19th Edition 2012 (espectrofotometría), respectivamente. Los valores fueron expresados en mg/100 g de muestra seca.

La absorción aparente (AA) de cada mineral fue determinado mediante el empleo de los datos del peso de alimento ingerido y las heces; cada uno con la cantidad correspondiente del mineral. La AA fue calculada mediante la ecuación (5) y los resultados expresados en porcentaje (por ciento) (Miyazato *et al.*, 2010).

$$AA(\text{por ciento}) = [(im - efm) / (im)] \times 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde *im*, es la ingesta del mineral (mg/100g) contenido en el alimento y *efm*, es el contenido de mineral (mg/100 g) en la excreta.

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para medir el efecto de la fuente de fibra dietaria sobre las propiedades funcionales, fisiológicas y la absorción de minerales, se utilizó el diseño completamente aleatorizado (DCA):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde  $Y$ , son las observaciones para las variables de respuesta;  $\mu$ , la media general;  $\tau_j$ , efecto de las diferentes fuentes de fibra dietaria (tratamientos) y  $\varepsilon_{ij}$ , el error experimental.

Los datos fueron expresados como el promedio  $\pm$  desviación estándar (DE) de cinco repeticiones ( $n=5$ ). La diferencia entre tratamientos se determinó por el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación múltiple de medias de Tukey (estadísticamente significativos:  $p < 0,050$ ), con el programa IBM SPSS Statistics versión 20.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPIEDADES FUNCIONALES

#### a. Solubilidad y capacidad de hidratación (absorción, retención e hinchamiento)

Los resultados de las propiedades funcionales de la fibra dietaria evaluadas se presentan en la Tabla 7. El endospermo de semilla de tara presenta un alto grado de solubilidad en agua (32,18 por ciento) con respecto a alfa celulosa (1,32 por ciento) y el polvo de las hojas de *Agave americana* (13,53 por ciento), con diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,050$ ) entre ellos. Los valores altos en capacidad de absorción y retención de agua, también corresponden al EST (44,99 g/g y 47,86 g/g, respectivamente), resultados que son significativamente diferentes ( $p < 0,050$ ) con respecto a la CEL y HAA. En la capacidad de hinchamiento, el EST tuvo el valor más elevado (45,99 ml/g) y significativamente diferente ( $p < 0,050$ ) con respecto a la CEL (1,08 ml/g); en cambio, el HAA (5,48 ml/g) no presentó diferencias significativas ( $p > 0,050$ ) en este último.

De acuerdo al tamaño del peso molecular, la fibra dietaria se puede categorizar en HMWDF solubles y HMWDF insolubles (Westenbrink *et al.*, 2013). Además, Elleuch (2011), señala que la solubilidad de los polisacáridos está relacionada a la presencia de estructuras ramificadas (cadenas laterales) y de grupos de sustitución tales como el carboxilo (-COOH) e hidroxilo (-OH) cuyas características incrementan la solubilidad. Específicamente, Dhingra *et al.* (2012) afirman que las gomas y mucílagos son polisacáridos de alto peso molecular, con cadenas laterales y con gran capacidad de hidratación y formación de geles.

En la Figura 2, correspondiente a la estructura química de la goma de tara (EST), se aprecian un gran número de grupos hidroxilo disponible para interactuar con el agua. Además, el endospermo de semilla de tara está compuesto por polímeros de galactomananos mayor al 75 por ciento (fibra dietaria soluble) (Eswaran *et al.*, 2013; Gibson *et al.*, 2010; Holscher *et al.*, 2015). Por consiguiente, los valores altos de solubilidad, capacidad de absorción de agua,

**Tabla 7: Propiedades funcionales *in vitro* de las fuentes de fibra**

Fuente de fibra dietaria <sup>1</sup>	SA <sup>2</sup> (por ciento)	CAA (g/g)	CRA (g/g)	CH (ml/g)	CAAC (g/g)
CEL	1,32±0,48 <sup>3 c</sup>	4,32±0,19 <sup>d</sup>	4,43±0,07 <sup>d</sup>	1,08±0,06 <sup>c</sup>	4,54±0,13 <sup>b</sup>
EST	32,18±2,10 <sup>a</sup>	44,99±2,30 <sup>a</sup>	47,86±2,06 <sup>a</sup>	45,99±7,68 <sup>a</sup>	3,13±0,23 <sup>c</sup>
HAA	13,52±1,36 <sup>b</sup>	7,51±0,25 <sup>c</sup>	7,62±0,53 <sup>c</sup>	5,48±0,51 <sup>c</sup>	6,38±0,37 <sup>a</sup>
EST:HAA	30,61±6,75 <sup>a</sup>	14,75±1,57 <sup>b</sup>	14,80±1,70 <sup>b</sup>	34,25±2,30 <sup>b</sup>	4,52±0,29 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana* y EST: HAA (1:1).

<sup>2</sup>SA, solubilidad; CAA y CRA, capacidades de absorción y retención de agua; CH, capacidad de hinchamiento; CAAC, capacidad de adsorción de aceite.

<sup>3</sup>Valores son el promedio ± desviación estándar de cinco observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b,c,d</sup> Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0,050$ ).

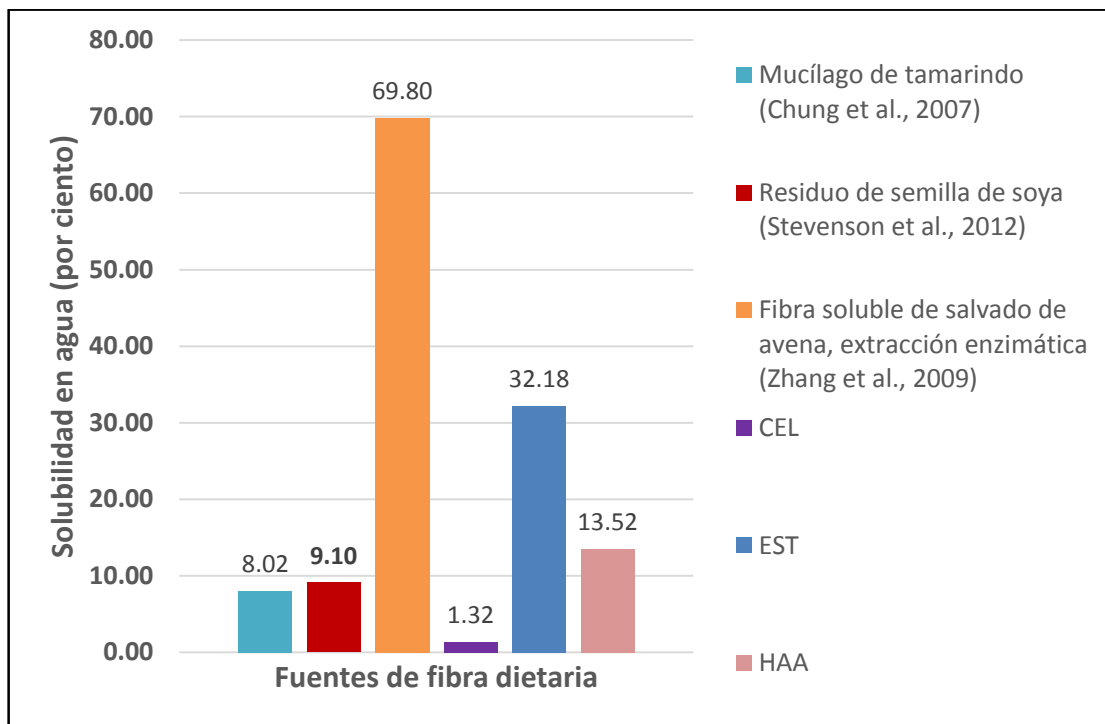
capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento del EST lo sitúan dentro del grupo de HMWDF solubles, con alta capacidad de hidratación.

En cambio, el polvo de las hojas de *Agave americana* y la alfa celulosa (control) se pueden categorizar dentro del grupo de HMWDF insolubles. Por ejemplo, el *Agave tequilana* presenta una composición del 70,94 por ciento de fibra insoluble (celulosa: 41,9 a 58,8 por ciento, hemicelulosa: 15 por ciento y lignina: 3 a 15 por ciento) (Vilcanqui *et al.*, 2009) y la alfa celulosa contiene el 99 por ciento de fibra insoluble (celulosa: 90 por ciento, hemicelulosa: 9,5 por ciento y lignina: 0,3 por ciento) (Anexo IV). En general, la celulosa es el mayor componente de las hojas de *Agave*, polímero de alto peso molecular con estructura química lineal y con cadenas paralelas ordenadas que se alinean sobre un eje longitudinal que permite establecer puentes de hidrógeno intermoleculares. Por otro lado, la hemicelulosa es el segundo mayor componente de las hojas de *Agave tequilana* (Vega, 2014), un polímero de alto peso molecular que contiene algunas ramificaciones dentro de su cadena y es considerada parcialmente soluble en agua (Dhingra *et al.*, 2012). Por lo tanto, la solubilidad y la capacidad de hidratación de HAA ligeramente superior a la CEL se pueden atribuir principalmente al contenido de hemicelulosa.

El 32,18 por ciento de solubilidad en agua del endospermo de semilla de tara, también supera a la mayoría de las otras fuentes de fibra (Figura 3), tales como el mucílago de tamarindo y el residuo de la semilla de soya (8,02 y 9,10 por ciento, respectivamente) (Chung *et al.*, 2007; Stevenson *et al.*, 2012); excepto al valor de la solubilidad de la fibra soluble del salvado de avena con 69.8 por ciento. Este último puede ser atribuido principalmente al elevado contenido de fibra soluble del salvado de avena con 81,4 por ciento (Zhang *et al.*, 2009) respecto al valor del EST con 75 por ciento (EFSA ANS Panel, 2018).

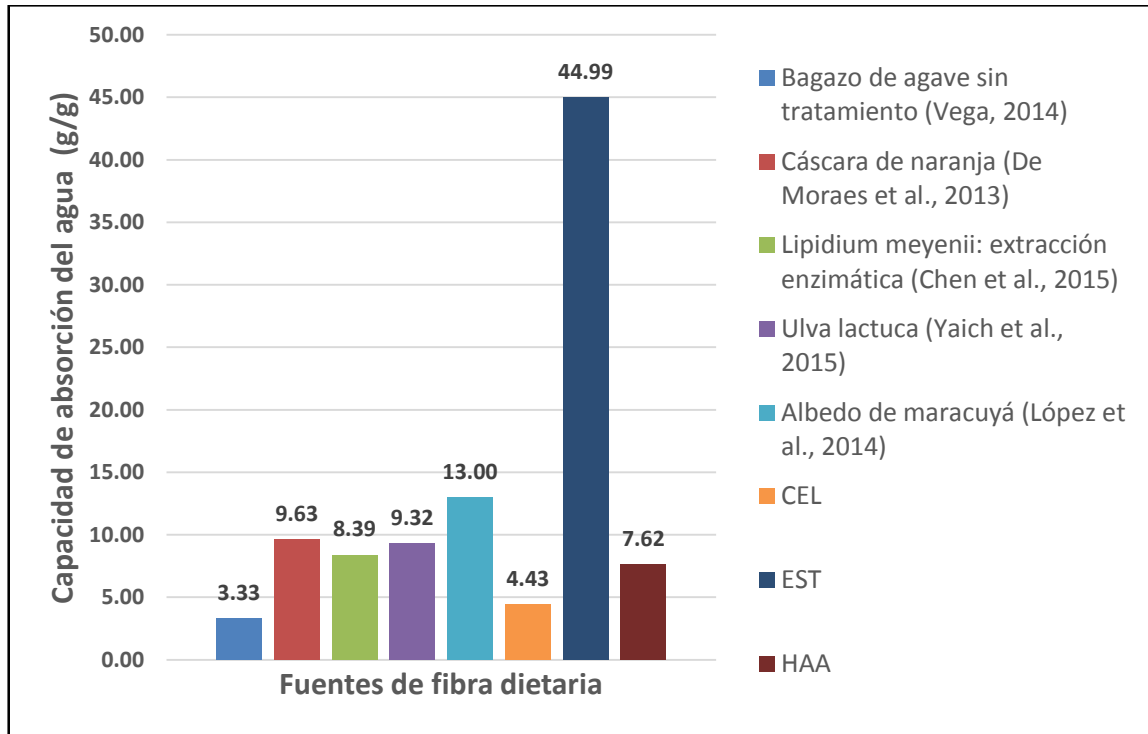
El valor de 44,99 g/g de capacidad de absorción de agua del EST, también supera a otras fuente de fibras (Figura 4), tales como *Ulva lactuca* con 9,32 g/g, *Sphagnum magellanicum* (alga marina) con 34 g/g, albedo de maracuyá con 13 g/g y extracto enzimático de *Lipidium meyenii* con 8,39 (Yaich *et al.*, 2015; Villarroel *et al.*, 2003; López *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2015). Esta tendencia también es para la capacidad de hinchamiento del EST con 45.99 ml/g, con valores que superan a otras fuentes de fibra (Figura 5), tales como el albedo de maracuyá (37 ml/g) y al *Sphagnum magellanicum* (8 ml/g).





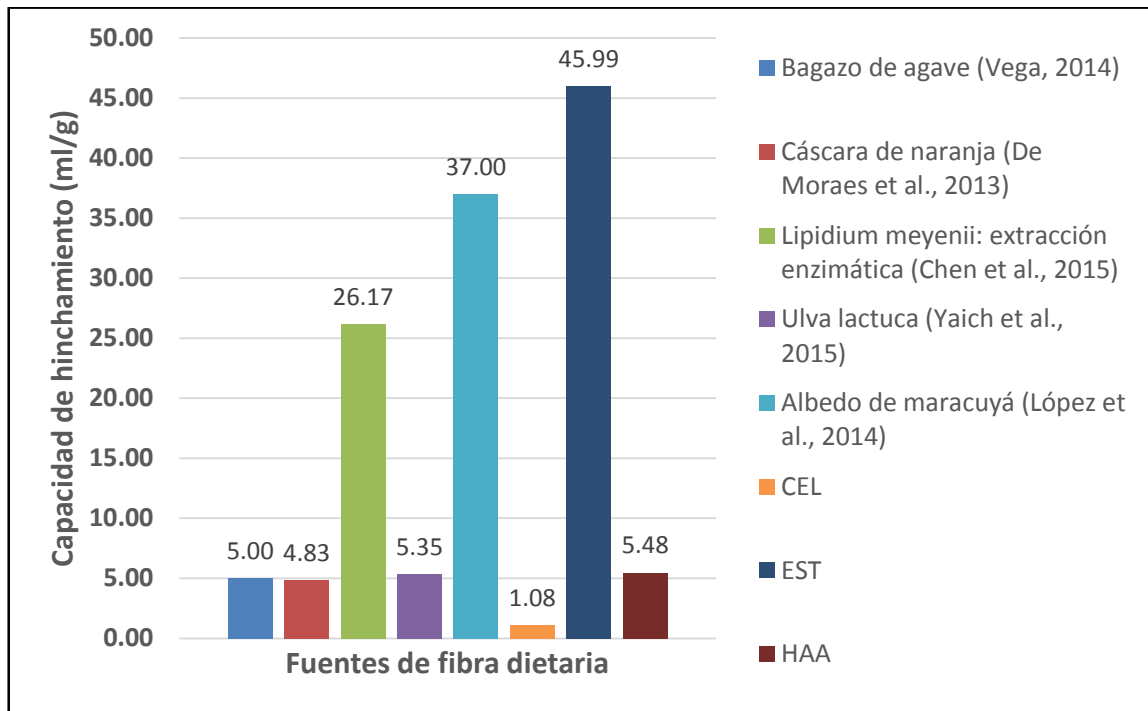
**Figura 3: Solubilidad en agua de las diferentes fuentes de fibra dietaria**

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.



**Figura 4: Capacidad de absorción de agua de las diferentes fuentes de fibra dietaria**

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.



**Figura 5: Capacidad de hinchamiento de las diferentes fuentes de fibra dietaria**

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

Alpizar *et al.* (2017), señala que la solubilidad es un factor importante en sistemas alimentarios porque influyen sobre las propiedades funcionales y sirve como un indicador del rendimiento del hidrocoloide en sistemas de dispersión. Además, la interacción del hidrocoloide con las moléculas de agua reduce la difusión de masa y estabiliza la presencia de otros componentes. Por otro lado, la solubilidad está directamente relacionada con la viscosidad; al respecto la literatura señala que existen polisacáridos como las gomas con una gran capacidad de formar soluciones viscosa en bajas concentraciones (solución al 1 por ciento: 2000 a 3500 cP de viscosidad) y una de ellas es la goma de tara (EFSA ANS Panel, 2017).

Las capacidades de absorción y retención de agua son propiedades importantes en la tecnología de alimentos desde el punto de vista de la estabilidad, el rendimiento y el aspecto sensorial tal como la textura en producto que fueron incluidos la fibra dietaria. La CRA y CAA también son importantes en productos que requieren de hidratación instantánea, desarrollo de viscosidades, la conservación de frescura como en alimentos horneados o productos cárnicos cocidos (Alpizar *et al.*, 2017; López *et al.*, 2013). Por lo que el endospermo de semilla de tara, con alta solubilidad e hidratación, puede convertirse en una alternativa para la inclusión en la industria alimentaria.

#### **b. Capacidad de adsorción de aceite**

Los resultados de la capacidad de adsorción de aceite forman parte de la Tabla 7. El polvo de las hojas de *Agave americana* presenta una mayor capacidad (6.38 g/g) con respecto a la alfa celulosa (4,54 g/g) y al endospermo de semilla de tara (3,13 g/g); con diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,050$ ) en todos los casos.

Sobre la capacidad de adsorción de aceite, Alpizar *et al.* (2017), señalan como la propiedad más importante y se define como la unión de aceite en los sitios no polares de las moléculas de proteína existentes en la fibra dietaria. Mudgil y Barak (2013), afirman que las fibras insolubles se caracterizan por su alta porosidad y baja densidad, refiriéndose a la celulosa, hemicelulosa y lignina. En esta misma dirección, Tunland y Meyer (2002), señala que las fibras con alta porosidad y poca capacidad de hidratación tienen las mejores posibilidades de adsorción de aceite; además, las fibras insoluble pueden atrapar el aceite hasta cinco veces de su peso (Yaich *et al.*, 2015). Bajo estos fundamentos, los valores altos de la CAAC del polvo de las hojas de *Agave americana*, identificados en el presente trabajo, coinciden en la

medida en que Vilcanqui *et al.* (2009) ha reportado valores de 70,94 por ciento del contenido de fibra insoluble en el *Agave tequilana*.

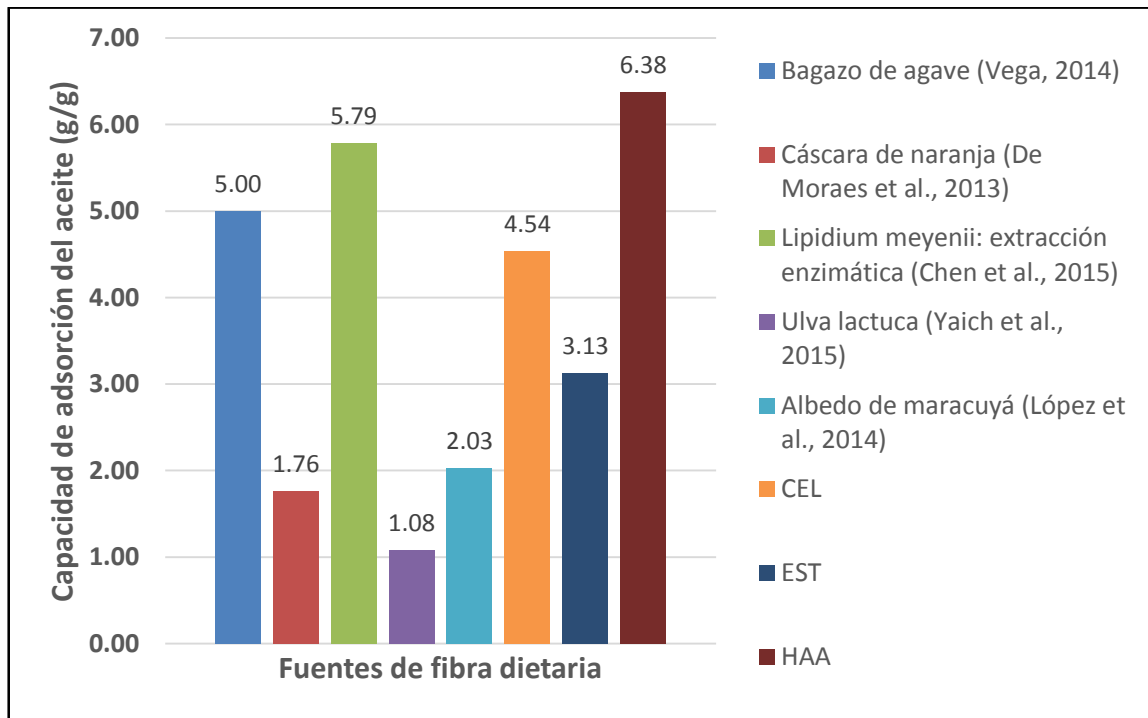
Continuando con el análisis de la influencia de la composición química sobre la capacidad de adsorción de aceite, las hojas de *Agave tequilana* contienen el 15,9 por ciento lignina (Iñiguez *et al.*, 2001), cuya molécula tiene la capacidad de unirse hidrofóbicamente al colesterol (Fardet, 2010, Escudero y González, 2006; Villarroel *et al.*, 2003), y en este caso al aceite; fundamento que también justifica los valores altos del CAAC del HAA con respecto EST.

Al efectuar una comparación de los resultados del CAAC de las fuentes de fibra en estudio con respecto a otras fuentes, se reportan por ejemplo del bagazo del agave con 5 g/g (Requena *et al.*, 2016), extracto de fibra de *Lipidium meyenii* con 5,79 g/g (Chen *et al.*, 2015); cuyos valores son muy cercanos al polvo de las HAA (Figura 6).

Desde el punto de vista de la funcionalidad tecnológica, la capacidad de adsorción de aceite de la fibra dietaria es importante para la estabilización de emulsiones y el efecto protector de los agentes oxidantes de los ácidos grasos; todo esto en productos formulados con altos contenidos de grasa. Sin embargo, la cantidad de fibra a agregar debe ser limitada puesto que pueden causar cambios indeseables en el color y la textura de los alimentos (Elleuch *et al.*, 2011). Otra propiedad tecnológica de las fibras es el uso como ingrediente para la retención de compuesto aromáticos tales como los aceites esenciales (Yaich *et al.*, 2015). Por lo que el valor alto de la CAAC de las hojas de *Agave americana*, comparado con otras fuentes, pueden ser muy bien aprovechadas como ingrediente en el procesamiento de alimentos con contenidos de grasa.

## **4.2 EFECTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS GANANCIA DEL PESO CORPORAL**

La ingesta de alimentos es un proceso voluntario cuyo objetivo principal es la obtención de energía. La fibra dietaria imparten diferentes efectos fisiológicos y ejercen beneficios para la salud y una de ellas es la saciedad (Slavin y Green, 2007). La saciedad es la satisfacción del apetito que se desarrolla durante la comida y termina con la interrupción de la alimentación y está influenciada por una serie de factores fisiológicos regulados por un sistema neuroendocrino redundante que se integra a nivel del hipotálamo (Kong *et al.*, 2014).



**Figura 6: Capacidad de adsorción de aceite de las diferentes fuentes de fibra dietaria**

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

En la Tabla 8, se presentan los resultados de los efectos fisiológicos de las dietas con diferentes fuentes de fibra sobre la ingesta del alimento y ganancia el peso corporal en ratas Holtzman. La inclusión de 6 por ciento y 10 por ciento del EST en la dieta reduce significativamente la ingesta de alimento (15,98 y 14,98 g/día, respectivamente) con respecto a la CEL (19,96 g/día;  $p < 0,050$ ). Las fibras solubles pueden regular el apetito y la saciedad a través de la formación de soluciones viscosas del contenido gástrico mediante la prolongación de la digestión y la absorción de nutrientes (Slavin y Green, 2007). Esto significa que los macronutrientes tendrían un mayor tiempo para interactuar con los mecanismos pre-absorbentes de la saciedad como por ejemplo prolongar las señales de post-absorción. Por consiguiente, el contenido del endospermo de semilla de tara en la dieta de los animales experimentales podría haber utilizado este mecanismo para la reducción de la ingesta de los alimentos.

Por otro lado, los resultados de propiedades funcionales (Tabla 7) evidenciaron que el endospermo de semilla de tara tiene una gran capacidad de hidratación e hinchamiento. Al respecto, Slavin y Green (2007), señalan que la propiedad del incremento del volumen es un factor pre-absortivo que contribuye con la distensión gástrica que conduce a un incremento de saciedad y la reducción del apetito. Por consiguiente, es posible que el EST ha utilizado este mecanismo para la reducción de la ingesta de alimento.

Otro mecanismo de regulación de la ingesta de alimento a través del apetito y la saciedad se fundamenta en la fermentación de las fibras solubles por las bacterias del colon tales como las *bifidobacterias* y los *lactobacilos*, cuyos productos son los ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato) (Ma y Mu 2016; Chawla y Patil, 2010). Los AGCC son potentes mediadores en células enteroendocrinas secretoras de las hormonas péptido tipo 1 similar al glucagon (en Inglés: GLP-1), péptido tirosina-tirosina (en Inglés: PYY), grelina y leptina. Las hormonas GLP-1 y PYY ejercen efectos anorexigénicos y envían señales al sistema nervioso central para el incremento de la saciedad y la disminución del apetito; en cambio, la grelina estimula el apetito (Devaraj *et al.*, 2013).

Estudios realizados con  $\beta$ -glucanos, fructo-oligosacáridos y pectina (fibras solubles) en ratas, evidenciaron una disminución en la ingesta de los alimentos y reducción de la ganancia del peso corporal y los mecanismos son atribuidos a la fermentación de estas fibras (Adam *et al.*, 2014).

**Tabla 8: Efectos fisiológicos relacionados con la regulación del peso**

Características fisiológicas	Tratamientos con diferentes fuentes de fibra <sup>1</sup>				
	1	2	3	4	5
Ingesta de alimentos (g/día)	19,96±1,53 <sup>2a</sup>	15,98±2,53 <sup>bc</sup>	18,56±2,10 <sup>ab</sup>	14,98±1,11 <sup>c</sup>	17,84±0,92 <sup>abc</sup>
Ganancia de peso corporal (g/día)	5,13±0,53 <sup>a</sup>	3,23±1,01 <sup>bc</sup>	4,63±0,99 <sup>ab</sup>	2,52±0,63 <sup>c</sup>	4,03±0,65 <sup>ab</sup>
Grasa en las heces (g/100 g)	2,59±0,38 <sup>c</sup>	12,60±3,60 <sup>b</sup>	3,91±1,64 <sup>c</sup>	18,59±4,00 <sup>a</sup>	2,64±0,38 <sup>c</sup>
Digestibilidad aparente grasa (por ciento)	92,63±1,16 <sup>ab</sup>	82,94±5,75 <sup>b</sup>	91,40±3,64 <sup>ab</sup>	66,43±11,37 <sup>c</sup>	94,71±0,87 <sup>a</sup>
pH de las heces	7,95±0,25 <sup>a</sup>	7,21±0,06 <sup>cd</sup>	7,86±0,25 <sup>ab</sup>	7,04±0,27 <sup>d</sup>	7,51±0,07 <sup>bc</sup>

<sup>1</sup>1: dietas con 6 por ciento de CEL (alfa celulosa); 2: dietas con 6 por ciento de EST (endospermo de semilla de tara); 3: dietas con 6 por ciento de HAA (polvo de las hojas de *Agave americana*); 4: dietas con 10 por ciento de EST; 5: dietas con 10 por ciento de HAA.

<sup>2</sup>Valores son el promedio ± desviación estándar de cinco observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b,c,d</sup> Superíndices con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0,050).



Es posible atribuir que el endospermo de semilla de tara utilizó este mecanismo para la reducción de la ingesta de alimento, idea que es fortalecida por EFSA ANS Panel (2017), al señalar que los galactomananos de la goma de tara pueden fermentar y producir ácidos grasos de cadena corta tales como propionato, butirato y acetato durante su paso por el intestino grueso.

Los resultados del pH fecal que se presentan en la Tabla 8, fortalecen los argumentos por los que el EST puede reducir la ingesta de alimento. Se puede apreciar la inclusión del 6 y 10 por ciento del endospermo de semilla de tara en la dieta de ratas Holtzman, presentan un pH de 7,21 y 7,04, respectivamente; valores significativamente inferiores ( $p < 0,050$ ) al pH fecal (7,95) del grupo de animales alimentados con 6 por ciento de alfa celulosa (Tabla 8). Al respecto, Otles y Ozgoz (2014) señalan que es posible reducir el pH fecal debido a la presencia de los AGCC (butirato, acetato y propionato) en el colon. Las fibras solubles y fermentables tales como la inulina, los almidones resistentes, las gomas, los  $\beta$ -glucanos y algunas hemicelulosas, actúan como sustratos para la microbiota intestinal y promueven la proliferación de las *bifidobacterias*, con la consiguiente reducción del pH en la luz del colon (Dahl y Stewart, 2015). Estudios en humanos mediante la suplementación de inulina de *Agave* (fuente de fibra soluble con grado de polimerización entre 25 a 34, y altamente fermentable) hasta 7,5 g/día por 21 días, presentaron una disminución del pH fecal desde 6,88 hasta 6,74; resultado que es atribuido al incremento de la fermentación sacarolítica y la reducción de la fermentación proteolítica, confirmando el efecto prebiótico de la inulina del *Agave* (Holscher *et al.*, 2015). Una reducción del grado de polimerización del endospermo de semilla de tara mediante la hidrólisis parcial, puede convertir en un sustrato altamente fermentable y con posibilidades de reducir más aún los valores de pH, tal como la inulina.

Sobre la regulación del peso corporal, se puede apreciar que la inclusión del 6 y 10 por ciento del endospermo de semilla de tara en las dietas de ratas Holtzman, reduce significativamente la ganancia del peso corporal ( $p < 0,050$ ) (3,23 y 2,52 g/día) con respecto al grupo de animales alimentado con la inclusión del 6 por ciento de alfa celulosa en la dieta (5,13 g/día). Sin embargo, la inclusión en los dos niveles (6 y 10 por ciento) del polvo de las hojas de *Agave americana* en la dieta, no tuvo efectos en la reducción de la ganancia del peso corporal ( $p > 0,050$ ) con respecto al 6% de alfa celulosa.

En la Tabla 8, también se presentan los resultados del efecto de las diferentes fuentes de fibra dietaria sobre el contenido de grasa fecal y la digestibilidad aparente. La inclusión en la dieta

del 6 y 10 por ciento del EST incrementa significativamente ( $p < 0,050$ ) el contenido de grasa fecal (12,60 y 18,59 g/100 g, respectivamente) con respecto a la CEL (2,59 g/100 g). Los resultados de la digestibilidad aparente de la grasa también exhiben esta tendencia. El incremento del contenido de grasa fecal por la presencia del endospermo de semilla de tara en la dieta, pueden ser explicados por Escudero y González (2006) y Mudgil y Barak (2013), quienes señalan que las fibras solubles tienen capacidades para la formación de soluciones viscosas y geles del contenido gastrointestinal, quedando retenido la grasa dentro de esta estructura. Estos efectos reducen la capacidad emulsificante de los ácidos biliares sobre las grasas, y por consiguiente, disminuye la actividad enzimática de la lipasa pancreática; finalizando con la excreción de la grasa a través de las heces. En cambio las fibras insolubles del polvo de las hojas de *Agave americana*, compuesto en su mayoría por la celulosa, hemicelulosa y lignina, no tiene la capacidad de formar soluciones viscosas y por consiguiente no ejerce efectos en la digestión y absorción de este nutriente. Estos fundamentos explican los valores altos de grasa fecal en el grupo de animales alimentado con la inclusión del EST en la dieta.

La alta capacidad de hidratación exhibida por el endospermo de semilla de tara mediante estudios *in vitro* (Tabla 7), puede correlacionarse con el incremento del espesor de la capa de agua que debe traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que origina la disminución en la absorción de lípidos, glucosa y aminoácidos (Slavin, 2013). Este mecanismo explica los resultados de la reducción de la ganancia del peso corporal de las ratas alimentadas con la inclusión del endospermo de semilla de tara.

#### **4.3 EFECTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS CON EL TRÁNSITO INTESTINAL**

Los resultados de los efectos fisiológicos se presentan en la Tabla 9. El grupo de animales alimentados con 10 por ciento de polvo de HAA presenta un contenido de humedad (33,04 por ciento) significativamente diferente ( $p < 0,050$ ) a la dieta con 6 por ciento de alfa celulosa (11,37 por ciento); sin embargo, el EST (al 6%) no presentó diferencia ( $p > 0,050$ ). Para los resultados de la masa fecal, se presentaron la misma tendencia, donde el 10 por ciento de las HAA exhibió una masa fecal de 1,97 g/día con respecto a la CEL que tuvo 1,62 g/día. Por otro lado, la masa fecal de los animales alimentados con 6 y 10 por ciento del EST, disminuyeron significativamente ( $p < 0,050$ ) con respecto a la dieta control (CEL).

**Tabla 9: Efectos fisiológicos relacionados con la velocidad de tránsito intestinal**

Características fisiológicas	Tratamientos con diferentes fuentes de fibra <sup>1</sup>				
	1	2	3	4	5
Humedad de las heces (por ciento)	11,37±3,45 <sup>2c</sup>	21,47±7,69 <sup>bc</sup>	26,43±8,75 <sup>ab</sup>	25,75±1,70 <sup>ab</sup>	33,04±5,12 <sup>a</sup>
Peso de las heces (g/día)	1,62±0,13 <sup>b</sup>	0,96±0,19 <sup>d</sup>	1,46±0,11 <sup>bc</sup>	1,24±0,19 <sup>cd</sup>	1,97±0,17 <sup>a</sup>
Volumen de las heces (cm <sup>3</sup> /día)	3,38±0,19 <sup>b</sup>	1,48±0,37 <sup>d</sup>	3,01±0,41 <sup>bc</sup>	2,42±0,60 <sup>c</sup>	4,59±0,37 <sup>a</sup>
Tiempo de tránsito intestinal (min)	642±103,60 <sup>ab</sup>	778±70,85 <sup>a</sup>	660±125,10 <sup>ab</sup>	612±32,71 <sup>b</sup>	531,8±25,34 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>1: dietas con 6 por ciento de CEL (alfa celulosa); 2: dietas con 6 por ciento de EST (endospermo de semilla de tara); 3: dietas con 6 por ciento de HAA (polvo de las hojas de *Agave americana*); 4: dietas con 10 por ciento de EST; 5: dietas con 10 por ciento de HAA.

<sup>2</sup>Valores son el promedio ± desviación estándar de cinco observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b,c,d</sup> Superíndices con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas (p<0,050).

En los resultados del volumen fecal, la dieta con HAA (10%) reportó un promedio 4,59 cm<sup>3</sup>/día cuyo valor es significativamente superior ( $p < 0,050$ ) al volumen de las heces del grupo de referencia (3,38 cm<sup>3</sup>/día). Al igual que para la masa fecal, los valores de volumen fecal del grupo de animales alimentadas con el EST presentaron valores significativamente inferiores ( $p < 0,050$ ) a la dieta patrón (1,48 y 2,42 cm<sup>3</sup>/día, respectivamente). Los resultados del tiempo de tránsito intestinal reportaron que las dietas con 10 por ciento de HAA y 10 por ciento de EST exhibieron los valores de 531,8 y 612 min, respectivamente, con respecto a la dieta con 6 por ciento de CEL (642 min); sin embargo, estos valores no presentan diferencias significativas ( $p > 0,050$ ). En cambio, para el grupo de animales alimentados con 6 por ciento de EST, se tuvo el mayor tiempo de tránsito intestinal (778 min).

El incremento significativo de la humedad, la masa y el volumen fecal ( $p < 0,050$ ) y la disminución del tiempo de tránsito intestinal (aunque no significativos;  $p > 0,050$ ) con el polvo de las hojas de *Agave americana* y efectos contrarios con el EST ( $p > 0,050$ ), se atribuyen principalmente a la composición química de cada fuente de fibra. Las hojas de *Agave* en general están compuestas en su mayoría por celulosa, seguidos por hemicelulosa y lignina, que pertenecen al tipo de fibra insoluble con escasa fermentación en el colon. En cambio, el endospermo de semilla de tara tiene una composición predominantemente de galactomananos (>80 por ciento), considerada como un polímero soluble en agua. Al respecto, Slavin (2013), Ueberall *et al.* (2011) y Escudero y González (2006), coinciden en afirmar que la fibra dietaria insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina); tiene la capacidad para retener agua en su matriz estructural y formar mezclas de baja viscosidad en el contenido gastrointestinal, lo que se traduce en el aumento de la masa y volumen fecal. Estas propiedades favorecen los movimientos regulares del peristaltismo y la aceleración del tiempo de tránsito intestinal, contribuyendo a la prevención y el tratamiento del estreñimiento (Eswaran *et al.*, 2013; Fuller *et al.*, 2016).

En estudios anteriores concluyeron que el salvado de trigo (45,6 por ciento de fibra insoluble y 2,4 por ciento de fibra soluble) tiene una gran capacidad para incrementar la masa y volumen fecal; por consiguiente, en la reducción del tiempo de tránsito intestinal, comparados con las fuentes de fibra soluble (pectina, goma guar y salvado de avena) (Stevenson *et al.*, 2012). Estas afirmaciones coinciden con los resultados del presente trabajo, puesto que el EST no tuvo efectos para reducir el tiempo de tránsito intestinal ( $p > 0,050$ ).

Otro de los resultados del presente trabajo que merece tomar en cuenta es el tiempo de tránsito intestinal de las dietas con 6 y 10 por ciento del EST en el orden de 778 min y 612 min, respectivamente; donde una mayor cantidad del EST reduce el tiempo de tránsito. Al respecto, Tungland y Meyer (2002) señalan que fibras solubles pueden contribuir al volumen fecal y la consiguiente reducción de tiempo de tránsito en una menor proporción debido al incremento del número de bacterias y a su contenido de humedad del 80 por ciento, lo que permite el incremento del volumen fecal; además de la formación de gases producto de la fermentación que quedan atrapados dentro de la materia fecal del colon (Stevenson *et al.*, 2012).

Por otro lado, al efectuar una comparación entre los ensayos *in vitro* e *in vivo*, existen contradicciones entre valores altos de CAA, CRA y CH (Tabla 7) *versus* la escasa materia fecal, reducido volumen y tiempos prolongados de tránsito intestinal (Tabla 9) del EST; puesto que era de esperarse una relación positiva entre ellos (a mayor capacidad de hidratación, mayor velocidad de tránsito intestinal). Sin embargo, se debe precisar que la fibra soluble es disuelta y es utilizada como sustrato por la microbiota intestinal del colon; mecanismo que justifica la reducción de la masa fecal de las dietas con EST. En cambio, la fibra insoluble, como el HAA, contribuyen en la reducción de tiempo de tránsito, debido a que la microbiota intestinal no lo descompone con facilidad, entonces mantiene la masa e incrementa el volumen fecal (Stevenson *et al.*, 2012).

Otro de los beneficios atribuidos a la fibra dietaria en general, es el efecto protector del cáncer del colon. Al respecto, existen propuestas de dos mecanismos de protección: los efectos directos relacionados con la reducción de tiempo de tránsito por parte de las fibras insolubles, tal como el de las hojas de *Agave americana* y los efectos indirectos como consecuencia de la degradación de las fibras solubles por parte de los microorganismos y la formación de los AGCC, tal como el de endospermo de semilla de tara (Otlés y Ozgoz, 2014).

La aceleración del tiempo de tránsito intestinal por la fibra insoluble reduce el tiempo de formación y absorción de los metabolitos tóxicos y la acción de agentes carcinógenos (Dhingra *et al.*, 2012). Al respecto, hubo estudios de intervención en humanos y se demostraron que la celulosa juega un rol importante en la prevención del cáncer del colon, gracias a la reducción de mutágenos y la excreción de éstos; lo que disminuye la concentración de los ácidos biliares secundarios en la heces (Fuller *et al.*, 2016). Por otro

lado, estudios con la lignina (componente importante en las hojas de agave) mediante la inclusión en la dieta de ratas, arribaron a la conclusión del efecto protector contra algunos tipos de cáncer, particularmente en el colon, debido a la capacidad que tiene para unir hidrofóbicamente a las sales biliares y reducir la formación de carcinógenos (Fardet, 2010). En este sentido, teniendo la composición de la fibra de las hojas del *Agave tequilana*, con 64,8 por ciento de celulosa y 15,9 por ciento de lignina y considerando valores similares para el *Agave americana*, puede convertirse en una alternativa en la prevención de estas enfermedades.

El otro mecanismo de protección del cáncer está relacionado con fermentación de la fibra soluble por la microbiota intestinal; en este caso, es posible modificar el número y el tipo de bacterias (incremento del número de *Bifidobacterias* en el colon). Esto origina el cambio de las actividades metabólicas en términos de formación de genotoxinas, carcinógenos y promotores tumorales. Por lo tanto, las fuentes selectas de prebióticos, tales como la inulina, almidones resistentes, algunos oligosacáridos y dentro de este grupo se incluye a las gomas tal como del endospermo de semilla de tara; actúan como sustrato para la producción de AGCC, con la consiguiente reducción del pH intestinal (Oglesby y Ozgoz, 2014). Específicamente, el butirato, además de ser fuente de energía para los colonocitos, tiene efecto protector contra el cáncer colorectal y la inflamación mediante la inhibición parcial de las histonas deacetilasas y el incremento de la apoptosis en las células tumorales del colon (Koh *et al.*, 2016).

El endospermo de semilla de tara que contiene un 77 a 78 por ciento en peso, con una relación de 3:1 de manosa:galactosa (EFSA ANS Panel, 2017), tiene una composición muy similar al endospermo de *Cyamopsis tetragonoloba* (goma guar), compuesto por 75 a 85 por ciento de galactomananos y una relación de 2:1 de manosa:galactosa de (Wu *et al.*, 2015). Al respecto se sugieren que estas macromoléculas deben ser hidrolizadas parcialmente mediante métodos enzimáticos con la finalidad de reducir el tamaño de peso molecular con la consiguiente reducción de la viscosidad cuando se disuelve en agua. Este tratamiento permite añadir mayores proporciones como fuente de fibra en alimentos sin alterar las propiedades nutricionales y sensoriales (Mudgil y Barak, 2014).

Por otro lado, los efectos relacionados con la salud, mediante estudios *in-vitro* se ha demostrado que los galactomananos de la goma guar reducen la digestibilidad del almidón mediante la formación de una barrera entre el sustrato y la enzima hidrolizante. También se

ha demostrado efectos en la reducción de la glucosa y el colesterol sanguíneo y en la prevención del sobrepeso y la obesidad a través de diversos mecanismos (Mudgil y Barak, 2014). Por lo que existe una gran oportunidad para el estudio del endospermo de semilla desde el punto de vista de las propiedades funcionales y los efectos en la salud.

#### **4.4 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA FIBRA RELACIONADOS CON LA ABSORCIÓN APARENTE DE CALCIO Y FÓSFORO**

La inclusión en la dieta de ratas del 6 y 10 por ciento del EST y con los mismos niveles del HAA, no tuvo efectos significativos ( $p > 0,050$ ) con respecto a la inclusión del 6 por ciento de CEL (referencia) sobre la absorción aparente de calcio y fósforo, tal como se presenta en la Tabla 10.

Es posible que el endospermo de semilla de tara no ha ejercido efectos positivos (tal como era de esperarse) en la absorción del Ca debido a una escasa reducción del pH del colon, debido a una baja tasa de fermentación como consecuencia del elevado peso molecular y a la formación de altas viscosidades en el contenido gastrointestinal. Como se ha visto los resultados del pH en la Tabla 8, ha llegado hasta un valor de 7,04, cuando en otros experimentos por ejemplo con la inulina del *Agave* pudieron llegar hasta 6,74 (Holscher *et al.*, 2015). Tunland y Meyer (2002) señalan las características de una fibra que incrementa la absorción de minerales son la solubilidad en agua, baja viscosidad y altamente fermentables, dentro de los cuales están los fructo-oligosacáricos, la goma guar hidrolizada, la maltodextrina resistente y la lactulosa. Los AGCC, principalmente el acetato, propionato y butirato, reducen el pH en la luz del colon y promueven la biodisponibilidad de algunos minerales (Dahl *et al.*, 2015). La capacidad del intestino delgado para absorber el calcio contenido en la dieta depende, además de la cantidad de calcio aportado, de la solubilidad e ionización de las sales de calcio, ambas dependientes del pH y la disponibilidad de la vitamina D (Quesada y Sosa, 2011).

Para una efectiva reducción del pH por la vía de la fermentación de la fibra dietaria solubles en el colon, se utilizaron estrategias como por ejemplo la hidrólisis parcial de la goma guar (con estructura química similar a la goma de tara) por el método enzimático, lo que permitió la reducción del tamaño del peso molecular y la viscosidad; estrategia que está relacionada con el incremento de la absorción de minerales (Mudgil y Barak, 2013).

**Tabla 10: Efectos relacionados con la absorción de Ca y P**

Absorción aparente	Tratamientos con diferentes fuentes de fibra <sup>1</sup>				
	1	2	3	4	5
Calcio (por ciento)	38,28±5,55 <sup>2a</sup>	26,63±8,60 <sup>a</sup>	23,49±2,44 <sup>a</sup>	25,51±12,86 <sup>a</sup>	27,09±10,49 <sup>a</sup>
Fósforo (por ciento)	60,58±4,69 <sup>a</sup>	59,41±4,13 <sup>a</sup>	54,16±3,08 <sup>a</sup>	51,05±8,92 <sup>a</sup>	49,50±12 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>1: dietas con 6 por ciento de CEL (alfa celulosa); 2: dietas con 6 por ciento de EST (endospermo de semilla de tara); 3: dietas con 6 por ciento de HAA (polvo de las hojas de *Agave americana*); 4: dietas con 10 por ciento de EST; 5: dietas con 10 por ciento de HAA.

<sup>2</sup>Valores son el promedio ± desviación estándar de cinco observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b,c,d</sup> Superíndices con diferentes letras dentro de una fila indican diferencias significativas ( $p < 0,050$ ).



Por otro lado, los AGCC, principalmente el butirato, cumplen la función de solubilizar al fosfato de calcio acumulado en el intestino grueso, lo que permite elevar las concentraciones de calbindin-D9k, proteína de unión al calcio que desempeña la función del transporte de Ca intestinal (Tungland y Meyer, 2002; Coudray *et al.*, 2005). Otro mecanismo importante es la estimulación para la proliferación de las células epiteliales por los AGCC; por consiguiente, el aumento de la superficie absorbente para los minerales (Baye *et al.*, 2017); al respecto, el EST puede convertirse en una alternativa para mejorar la absorción de ciertos minerales.

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que fue desarrollado el presente estudio, se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. El endospermo de semilla de tara tiene una alta capacidad de hidratación (SA, CAA, CRA y CH) con respecto a la alfa celulosa.
2. El polvo de las hojas de *Agave americana*, presenta una elevada capacidad de adsorción de aceite con valores significativamente superior a la alfa celulosa.
3. Dietas con la inclusión del 6 y 10 por ciento del endospermo de semilla de tara ejercen efectos en la reducción de la ganancia del peso corporal en ratas Holtzman, gracias a la reducción en la ingesta de alimento, digestibilidad aparente de la grasa y pH fecal, comparado con la dieta que contiene 6 por ciento de alfa celulosa.
4. La inclusión de 6 y 10 por ciento de polvo de las hojas de *Agave americana* en las dietas de ratas Holtzman, ejercen efectos fisiológicos expresados en el incremento de la humedad, masa y volumen fecal; sin embargo, estos valores no modifican el tiempo de tránsito intestinal con respecto a la dieta con 6 por ciento de alfa celulosa.
5. La inclusión del 6 y 10 por ciento del endospermo de semilla de tara y polvo de las hojas de *Agave americana*, en la dieta de ratas Holtzman, respectivamente, no ejercen efectos en la absorción aparente de Ca y P con respecto a la dieta con 6 por ciento de alfa celulosa.

## VI. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el presente trabajo de investigación, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Diseñar estudios *in vitro* que permita identificar las propiedades funcionales del endospermo de semilla de tara y del polvo de las hojas de *Agave americana*, expresados en capacidad de adsorción de glucosa, grado de inhibición de la actividad de  $\alpha$ -amilasa y su impacto en la digestibilidad del almidón.
2. Efectuar una hidrólisis enzimática parcial del endospermo de semilla de tara y evaluar el efecto sobre las propiedades funcionales *in vitro* y los efectos fisiológicos *in vivo*.
3. Evaluar el contenido de los ácidos grasos de cadena corta (propionato, butirato y acetato) en las heces de las ratas alimentadas con la inclusión del endospermo de semilla de tara entera y parcialmente hidrolizada.
4. Evaluar el progreso de las bacterias de los géneros *bifidobacterium* y *lactobacillus* en las heces de ratas alimentadas con la inclusión del endospermo de semilla de tara entera y parcialmente hidrolizada.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AACC, Dietary Fiber Technical Committee. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46:112-126.
2. ADAM, C. L., WILLIAMS, P. A., DALBY, M. J., GARDEN, K., THOMSON, L. M., RICHARDSON, et al. (2014). Different types of soluble fermentable dietary fibre decrease food intake, body weight gain and adiposity in young adult male rats. *Nutr. Metab.* 11(1): 1-12.
3. ALPIZAR, E., CARRILLO, H., GALLARDO, R., VARELA, V., ALVAREZ, J., PÉREZ, C. (2017). Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica L.*) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. *J. Food Eng.* 209(1):68-75.
4. ANDERSON, J., BAIRD, P., DAVIS, R.H., FERRERI, S., KNUDTSON, M., KORAYM, A., et al. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutr. Rev.* 64(4):188-205.
5. BADUI, S. (2006). *Química de los Alimentos, Cuarta Edición* (eds). Pearson Educación: México, pp. 78-109.
6. BAYE, K., GUYOT, J. P., MOUQUET, C. (2017). The unresolved role of dietary fibers on mineral absorption. *Crit. Rev. Food Sci.* 57(5):949-957.
7. BELITZ, H.D., GROSCH, W. (1997). *Química de Alimentos*. Editorial Acirbia S.A.: Zaragoza, pp. 336-337, 351-355, 884.
8. BEZAZI, A., BELAADI, A., BOURCHAK, M., SCARPA, F., BOBA, K. (2014). Novel extraction techniques, chemical and mechanical characterisation of Agave americana L. natural fibres. *Composites Part B. Engineering.* 66(1):194-203.

9. BURKITT, D.P., WALKER, A. R. P., PAINTER, N.S. (1972). Effect of dietary fibre on stools and transit times, and its role in the causation of disease. *Lancet* II. 300(7792):1408-1411.
10. CHÁVEZ, M., DOMINE, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Av. Cien. Ing.* 4(4):15-46.
11. CHAWLA, R., PATIL, G. R. (2010). Soluble fiber dietary. *Food. Sci. Food Saf.* 9(2):178-196.
12. CHEN, J., ZHAO, Q., WANG, L., ZHA, S., ZHANG, L., et al. (2015). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from maca (*Lepidium meyenii* Walp.) liquor residue. *Carbohydrate Polymers.* 132(1):509-512.
13. CHEN, Y., Y.E., R., YIN, L., ZHANG, N. (2014). Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation. *J. Food Eng.* 120(1):1-8.
14. CHERBUT, C. (2002). Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept. *Br. J. Nutr.* 87(2):S159-S162.
15. CHUNG, Y.C., HSU, C.K., KO, C.Y., CHAN, Y.C. (2007). Dietary intake of xylooligosaccharides improves the intestinal microbiota, fecal moisture, and pH value in the elderly. *Nutr. Res.* 27(12):756-761.
16. *CODEX Alimentarius* Commission. 2009. Report on the 30<sup>th</sup> session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, Appendix II, p. 46. In: *Codex Alimentarius* Commission, ALINORM 09/32/26 Rome, Italy. 83 p.
17. COUDRAY, C., FEILLET, C., TRESSOL, J. C., GUEUX, E., THIEN, S., JAFFRELO, L., et al. (2005). Stimulatory effect of inulin on intestinal absorption of calcium and magnesium in rats is modulated by dietary calcium intakes. *Eur. J. Nut.* 44(5):293-302.

18. DAHL, W.J., STEWART, M.L. (2015). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: health implications of dietary fiber. *J. Acad. Nutr. Diet.* 115(11):1861-1870.
19. DATTA, A.K., SAHIN, S., SUMNU, G., KESKIN, S.O. (2007). Porous media characterization of breads baked using novel heating modes. *J Food Eng.* 79(1):106-116.
20. De MENEZES, E.W., GIUNTINI, E.B., DAN, M.C.T., SARDÁ, F.A.H., LAJOLO, F.M. (2013). Codex dietary fibre definition-justification for inclusion of carbohydrates from 3 to 9 degrees of polymerisation. *Food Chem.* 140(3):581-585.
21. DEVARAJ, S., HEMARAJATA, P., VERSALOVIC, J. (2013). La microbiota intestinal humana y el metabolismo corporal: implicaciones con la obesidad y la diabetes. *Acta Bioquim. Clín. Latinoam.* 47(2):421-434.
22. DeVRIERS JW. (2003). On defining dietary fibre. *Proc. Nutr. Soc.* 62(1):37-43.
23. DHINGRA, D., MICHAEL, M., RAJPUT, H., PATIL, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *J. Food. Sci. Technol.* 49(3):255-266.
24. DRUART, C., ALLIGIER, M., SALAZAR, N., NEYRINCK, A. M., DELZENNE, N. (2014). Modulation of the gut microbiota by nutrients with prebiotic and probiotic properties. *Adv. Nutr.* 5(5):624S-633S.
25. EFSA ANS: PANEL ON FOOD ADDITIVES AND NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD. (2017). Scientific Opinion on the re-evaluation of tara gum (E 417) as a food additive. *EFSA Journal.* 15(6):4863, 37 pp
26. EL OUFIR, L., BARRY, J.L., FLOURIÉ, B., CHERBUT, C. (2000). Relationship between transit time and in vitro fermentation of dietary fiber by fecal bacteria. *Eur. J. Clin. Nutr.* 54(1):603-609.
27. ELLEUCH, M., BEDIGIAN, D., ROISEUX, O., BESBES, S., BLECKER, C., ATTIA, H. (2011). Dietary fibre and fibre rich by-product of food processing:

- Characterization, technological functionality and commercial applications. *Food Chem.* 124(2):411-421.
28. ESCUDERO, E., GONZÁLEZ, P. (2006). La fibra dietética. *Nutr Hosp.* 21(2):61-72.
  29. ESWARAN, S., MUIR, J., CHEY, W. D. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *Am. J. Gastroenterol.* 108(5):718-727.
  30. FARDET, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. *Nutr. Res. Rev.* 23(1):65-134.
  31. FUCHS, C.S., GIOVANNUCCI, E.L., COLDITZ, G.A., HUNTER, D.J., STAMPFER, M.J., ROSNER, B., et al. (1999). Dietary fiber and the risk of colorectal cancer and adenoma in woman. *N. Engl. J. Med.* 340(3):169-176.
  32. FULLER, S., BECK, E., SALMAN, H., TAPSELL, L. (2016). New Horizons for the study of dietary fiber and health: A review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 71(1):1-12.
  33. GIBSON, G.R., SCOTT, K.P., RASTALL, R.A., TUOHY, K.M., HOTCHKISS, A., DUBERT, A., et al. (2010). Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Sci. Technol. Bull. Funct. Foods.* 7(1):1-19.
  34. GUEVARA, C. S., CASTILLO, V., JAVIER, E. (2014). Potencialidades medicinales de los géneros *Furcraea* y *Agave*. *Rev. Cubana Plant Med.* 19(3), 248-263.
  35. HINO, S., TAKEMURA, N., SONOYAMA, K., MORITA, A., KAWAGISHI, H., AOE, S., MORITA, T. (2012). Small intestinal goblet cell proliferation induced by ingestion of soluble and insoluble dietary fiber is characterized by an increase in sialylated mucins in rats. *J. Nutr.* 142(8);1429-1436.
  36. HIPSLEY, H.B. (1953). Dietary "Fibre" and pregnancy Toxaemia. *Br. Med. J.* 2(4833):420-422.
  37. HOLSCHER, H. D., BAUER, L.L., GOURINENI, V., PELKMAN, C. L., FAHEY, G.C., SWANSON, K.S. (2015). Agave inulin supplementation affects the fecal

- microbiota of healthy adults participating in a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *J. Nutr.* 145(9):2025-2032.
38. HUXLEY, R.R., WOODWARD, M., CLIFTON, P. (2013). The epidemiologic evidence and potential biological mechanism for a protective effect of dietary fiber on the risk of colorectal cancer. *Curr. Nutr. Rep.* 2(1):63-70.
  39. IÑIGUEZ, G., DIAZ, R., SANJUAN, R., ANZALDO, J., ROWELL, R. M. (2001). Utilization of by-products from the tequila industry. Part 2: potential value of Agave tequilana Weber azul leaves. *Bioresource Technol.* 77(2):101-108.
  40. ISKEN, F., SUSANNE, K., OSTERHOFF, M., PFEIFFER, A., WEICKERT, M. (2010). Effects of long-term soluble vs. insoluble dietary fiber intake on high-fat diet-induced obesity in C57BL/6J mice. *J. Nutr. Biochem.* 21(4):278-248.
  41. JANI, G. K., SHAH, D. P., PRAJAPATI, V. D., JAIN, V. C. (2009). Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Asian J Pharm Sci.* 4(5):309-323.
  42. JENSEN, M., PEDERSEN, C., KRISTENSEN, M., FROST, G., ASTRUP, A. (2013). Review: efficacy of alginate supplementation in relation to appetite regulation and metabolic risk factors: evidence from animal and human studies. *Obes. Rev.* 14(2): 129-144.
  43. JENSEN, M.G., KRISTENSEN, M., ASTRUP, A. (2012). Effect of alginate supplementation on weight loss in obese subjects completing a 12-wk energy-restricted diet: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 96(1):5-13.
  44. JONES JM. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap”. *Nutr. J.* 13(1):1-10.
  45. KENDALL, C.W., ESFAHANI, A., JENKIS, D.J. (2010). The link between dietary and human health. *Food Hydrocoll.* 24(1):42-48.



46. KIM, E., OH, T., KIM, L., CHO, Y. (2016). Improving effect of the acute administration of dietary fiber-enriched cereals on blood glucose levels and gut hormone secretion. *J. Korean Med. Sci.* 31(29):222-230.
47. KOH, A., DE VADDER, F., KOVATCHEVA, P., BÄCKHED, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell.* 165(6):1332-1345.
48. KONG, X., FERRACANE, R., DE LUCA, L., VITAGLIONE, P. (2016). Salivary concentration of N-acylethanolamines upon food mastication and after meal consumption: Influence of food dietary fiber. *Food Res. Int.* 89(1):186-193.
49. KRANZ, S., BRAUCHLA, M., SLAVIN, J.L. MILLER, K.B. (2012). What do we know about dietary fiber intake in children and health? The effects of fiber intake on constipation, obesity, and diabetes in children. *Adv. Nutr.* 3(1), 47-53.
50. LATTIMER, J.M., HAUD, M.D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients.* 12(2):1266-1289.
51. LEE, K. Y., MOONEY, D. J. (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Prog. Polym. Sci.* 37(1):106-126.
52. LIM, S.M., GOH, Y.M., MOHTARRUDIN, N., LOH, S.P. (2016). Germinated brown rice ameliorates obesity in high-fat diet induced obese rats. *BMC Complem. Altern. M.* 16(1):1-11.
53. LOPEZ, J.H., FERNANDEZ, J., PÉREZ, J.A., VIUDA, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Res. Int.* 51(2):756-763.
54. LOPEZ, P., FULLER, N.R., ZULET, M.A., MARTINEZ, J.A., CATERSON, I.D. (2014). The influence of mediterranean, carbohydrate and high protein diets on gut

- microbiota composition in the treatment of obesity and associated inflammatory states. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 23(3):360-368.
55. MA, M., MU, T. (2016). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chem.* 194(1):237-246.
56. McCLEARY, B.V., DE VRIES, J.W., RADER, J.I., COHEN, G., PROSKY, L., MUGFORD, D.C., et al. (2010). Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *J AOAC Int.* 93(1): 221-233.
57. MERTENS, D.R. (2003). Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *J. Anim. Sci.* 81(12):3233-3249.
58. MIYAZATO, S., NAKAGAWA, C., KISHIMOTO, Y., TAGAMI, H., HARA, H. (2010). Promotive effects of resistant maltodextrin on apparent absorption of calcium, magnesium, iron and zinc in rats. *Eur. J. Nutr.* 49(3):165-171.
59. MUDGIL, D., BARAK, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber. A review. *Int. J. Biol. Macromolec.* 61(1):1-6.
60. MUDGIL, D., BARAK, S., KHATKAR, B. S. (2014). Guar gum: processing, properties and food applications - Review. *J. Food Sci. Technol.* 51(3):409-418.
61. MURPHY, N., NORAT, T., FERRARI, P., JENAB, M., BUENO DE MESQUITA, B., SKEIE, G., et al. (2012). Dietary Fibre intake and risks of cancers of the colon and rectum in the European prospective investigation into cancer and nutrition. *PloS One.* 7(6):e39361.
62. OTLES, S., OZGOZ, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 13(2):191-202.

63. PAPATHANASOPOULOS, A., CAMILLERI, M. (2010). Dietary fiber supplements: effects in obesity and metabolic syndrome and relationship to gastrointestinal functions. *Gastroenterol.* 138(1):65-72.
64. PICOUT, D.R., SIMON, B., MURPHY, R., JUMEL, K., HARDING, S.E. (2002). Pressure cell assisted solution characterization of polysaccharides. 2. Locust bean gum and tara gum. *Biomacromolecules.* 3(4): 761-767.
65. QUESADA, J. M., SOSA, M. (2011). Nutrition and osteoporosis. Calcium and vitamin D. *Rev. Osteoporos. Metab. Miner.* 3(4):165-182.
66. RANINEN, K., LAPPI, J., MYKKÄNEN, H., POUTANEN, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutr. Rev.* 69(1):9-21.
67. RAO, T. P. (2016). Role of guar fiber in appetite control. *Physiol. Behav.* 164(1):277-283.
68. REDONDO, L. 2002. Propiedades de la Fibra Dietética. En: *La Fibra Terapéutica* (eds). Glosa: Barcelona, pp. 29-51.
69. REICKS, M., JONNALAGADDA, S., ALBERTSON, AM., JOSHI, N. (2014). Total dietary fiber intakes in the US population are related to whole grain consumption: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2009 to 2010. *Nutr. Res.* 34(3):226-234.
70. REQUENA, M. C., GONZÁLEZ, C. N., BARRAGÁN, L. A., CORREIA, T., ESQUIVEL, J. C., et al. (2016). Functional and physico-chemical properties of six desert-sources of dietary fiber. *Food Biosci.* 16(1), 26-31.
71. ROBERTSON, J. A., DE MONREDON, F. D., DYSSSELER, P., GUILLON, F., AMADO, R., THIBAUT, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Sci.* 33(2):72-79.

72. SHOAIB, M., SHEHZAD, A., OMAR, M., RAKHA, A., RAZA, H., et al. (2016). Inulin: properties, health benefits and food applications. *Carbohydr Polym.* 147(1):444-454.
73. SLAVIN, J. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition.* 21(3):411-418.
74. SLAVIN, J. (2013). Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients.* 5(4):1417-1435.
75. SLAVIN, J., GREEN, H. (2007). Dietary fibre and satiety. *Nutr Bull.* 32(suppl 1):32-42.
76. SOUTHGATE, D., HUDSON, G. J., ENGLYST, H. (1978). The analysis of dietary fibre the choices for the analyst. *J. Sci. Food Agric.* 29(11):979-989.
77. STEVENSON, L., PHILLIPS, F., O'SULLIVAN, K., WALTON, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 63(8):1001-1013.
78. TUNGLAND, B.C., MEYER, D. (2002). Nondigestible oligo-and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 1(3):90-109.
79. UEBERALL, M.A., MULLER, S., BUSCHMANN, C., BOSSE, B. (2011). The bowel function index for evaluating constipation in pain patients: definition of a reference range for a non-constipated population of pain patients. *J. Int. Med. Res.* 39(1):41-50.
80. VEGA, Q., ANGELINA, M. (2014). Aprovechamiento integral del bagazo de la piña de Agave tequilana Weber: Caracterización de fracciones lignocelulósicas obtenidas por un proceso organosolv. Tesis de maestría, IPN.
81. VILCANQUI, F., GARCÍA, C.L., ALANIS, M.G., BAEZ, J.G., MERCADO, R. (2009). Extracción y caracterización funcional de la fibra de hojas de *Agave tequilana* Weber destinados para la inclusión en alimentos. *Revista Salud Pública y Nutrición.*

10(e): 61-72. <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2009/ee-10-2009/index.html>.

Revisado en agosto del 2017.

82. VILCANQUI, F., VÍLCHEZ, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Arch. Latinoam. Nutr. 67(2):146-156.
83. VILLARROEL, M., ACEVEDO, C., YAÑEZ, E., BIOLLEY, E. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación en productos de panadería. Arch. Latinoam. Nutr. 2003; 53(4):1-14.
84. VORAGEN, A.G., COENEN, G.J., VERHOEF, R.P., SCHOLS, H.A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. Struc. Chem. 20(2): 263-275.
85. WESTENBRINK, S., BRUNT, K., VAN DER KAMP, J. W. (2013). Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data. Food Chem. 140(3):562-567.
86. WU, Y., DING, W., JIA, L., HE, Q. (2015). The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). Food Chem. 168(1):366-371.
87. YAICH, H., GARNA, H., BCHIR, B., BESBES, S., PAQUOT, M., et al. (2015). Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. Algal Res. 9(1):65-73.
88. YAMAZAKI, E., MURAKAMI, K., KURITA, O. (2005). Easy preparation of dietary fiber with the high water-holding capacity from food sources. Plant Food Hum. Nutr. 60(1):17-23.
89. ZAMORA, V. M., BELLO, L. A., ORTÍZ, R. I., TOVAR, J., SÁYAGO, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and in vitro starch hydrolysis. LWT-Food Sci. Tech. 56(2):309-314.

90. ZHANG, M., LIANG, Y., PEI, Y., GAO, W., ZHANG, Z. (2009). Effect of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber. *J. Food Sci.* 74(8):C628-C636.

## VIII. ANEXO

### Anexo I. Clasificación taxonómica del *Agave americana*



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

#### CONSTANCIA N° 62-USM-2016

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (hojas) recibida de **Fulgencio VILCANQUI PEREZ**, de la Universidad NACIONAL AGRARIA, ha sido estudiada y clasificada como: ***Agave americana* L.** y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

**DIVISION: MAGNOLIOPHYTA**

**CLASE: LILIOPSIDA**

**SUBCLASE: LILIIDAE**

**ORDEN: LILIALES**

**FAMILIA: AGAVACEAE**

**GENERO: *Agave***

**ESPECIE: *Agave americana* L.**

N.V. "maguey"

Determinado por: Mag. María Isabel La Torre A.

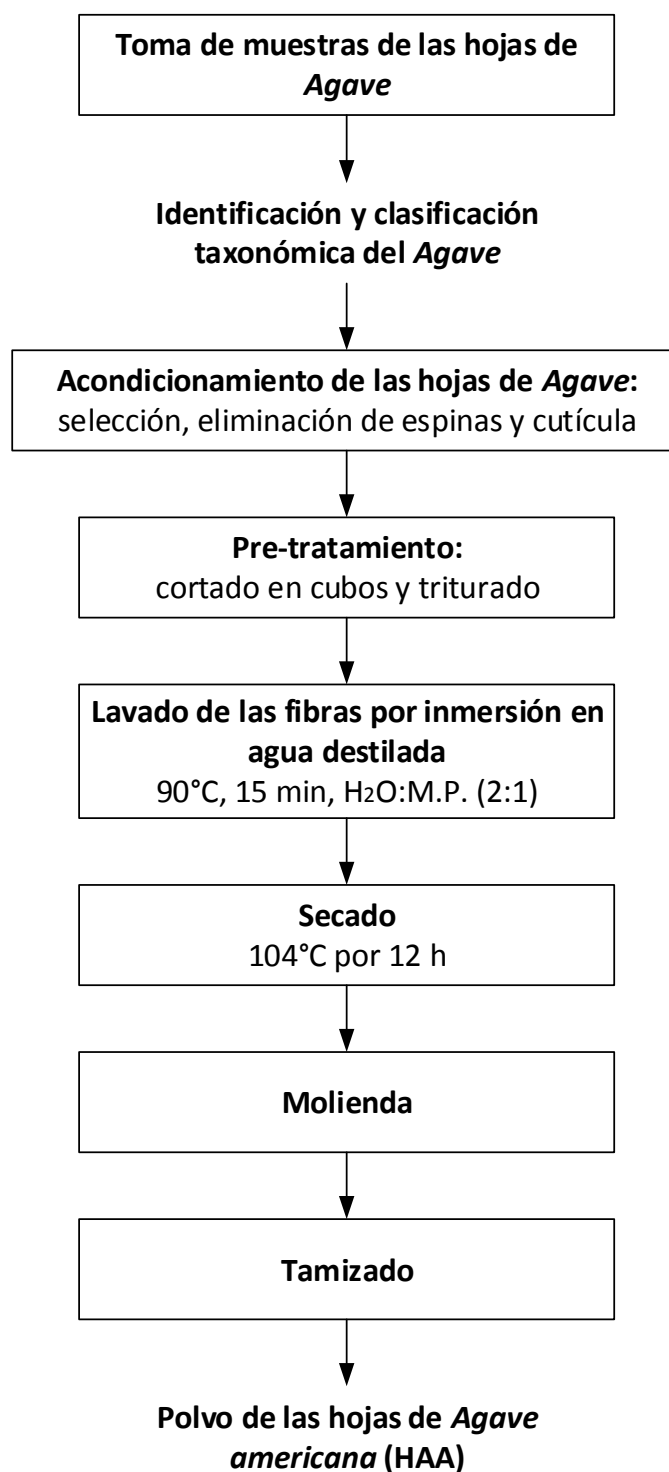
Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para fines de estudios.

Lima, 29 abril de 2016



*Haydee Montoya Terreros*  
**Dra. Haydee Montoya Terreros**  
JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

**Anexo II. Diagrama de flujo para la obtención del polvo de las hojas de *Agave americana***





### Anexo III. Especificaciones técnicas del endospermo de semilla de tara

MOLINOS ASOCIADOS SAC

#### CERTIFICADO DE ANALISIS / ANALYSIS CERTIFICATE

MOLIGUM HV

E-417

Producto / Product : MOLIGUM HV  
 Lote / Lot : M-560115  
 Calidad / Quality : STD  
 Empaque / Package : Papers Bag with Polyethylene Bag inside  
 Cantidad / Quantity : 1 kg  
 Fecha de Vencimiento / Expire Date : Jan. 2017  
 Fecha / Report Date : 06/05/2015  
 Hecho por/ Made By : Ginger Espinal

#### Analysis Físico -Químico / Physical and Chemicals Analysis

Color / Colour	Results	Specifications
Olор / Odour	White Powder	White Powder
Galactomananos / Galactomanans *	Odorless	Odorless
Proteínas / Proteins (Nx5,7) *	87,38%	Min 84%
Grasas / Fats *	2,21%	Max 3,0%
Cenizas / Ashes *	0,19%	Max 0,75%
Insolubles en ácido / Insolubles in Acid*	0,90%	Max 1,5%
Humedad / Moisture	1,60%	Max 2%
Plomo / Lead *	7,72%	Max 12%
Arsenico / Arsenic *	<0,2 mg/kg	Max 2 mg/kg
Mercurio / Mercury *	<0,1 mg/kg	Max 3 mg/kg
Cadmio / Cadmium *	<0,02 mg/kg	Max 0,1 mg/kg
Total metales pesados / Total heavy metals (Cu+Zn)*	<0,01 mg/kg	Max 1 mg/kg
Almidones / Starches*	1,25 mg/kg	Max 20 mg/kg
Viscosidad / Viscosity (Hot Dissolution)	Not detectable	Not detectable
Viscosidad / Viscosity (Cold Dissolution)	5820	5500/6800 cps
Granulometría / Particle size	3790	3500/4800 cps
	100,00%	(mesh 100): more than 95%

#### Analysis Bacteriológico / Bacteriological Analysis

Aerobios Mesófilos / Total Plate Count	u.f.c/g	<100	< or equal 200 u.f.c/g
Mohos y levaduras / Moulds and Yeast	u.f.c/g	<100	< or equal 100 u.f.c/g
Escherichia Coli - Coliforms	u.f.c/g	<1	< 1 u.f.c/g
D. Salmonella (Detection)*	25g	Negative	Negative in 25g

Methods: Moisture: FCC,p187 appendix II p749(Guar Gum loss and drying). Proteins: NTP-ISO 5983 2002 Alimentos para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculos de contenido de proteína bruta. Método Kjeldahl. Insolubles en medio ácido: Food Chemicals CODEX., p 210 Fifth Edition 2004. Guar Gum. ACID-INSOLUBLE MATTER. Arsenic: AOAC 952.13 On line 18th Ed. 2005 Arsenic in Food Diethylthiocarbamate Method. Mercurio: Norma Chilena Oficial N.Ch 2667.Of2001 Productos Hidrobiológicos-Determinación de mercurio-Método espectrofotométrico de absorción atómica por generación de vapor frío. Viscosity: Brookfield AOCs 10-87 (1cps=1mPas). Aerobic Microorganisms: AOAC (990.12 re-count Aerobics Microorganisms in food; dried rehydrate film) Yeast and Moulds: AOAC (997.02 Yeast and Moulds recount in food ; dried rehydrate film ). E. Coli -Coliforms: AOAC (991.14 E.Coli-Coliforms recount in food; dried rehydrate film). Salmonella (detección): ICMSF. Microorganisms in Foods 1. Their Significance and Methods of Enumeration; Vol. I; pp. 160-172; 2nd Ed. Reprinted 1988 (with revisions) - University of Toronto Press (excepto Serological Test for Salmonellas IV y V) 1978 SALMONELLAR ; Cadmium AOAC 999.11. On line, 18 TH Ed 2005. Determination of Lead, Cadmium, Cooper, Iron and Zinc in Foods; Metales Pesados: USP29 2006 pag 2780 <230> Metales Pesados Método II; Grasa: AOAC 920.39 C, On Line 18 th Ed 2005. Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed; Galactomananos: Food Chemical CODEX p.210 Fifth Edition 2004 Guar Gum. Galactomananos.

Quality Control Laboratory

GINGER ESPINAL HUAMANÍ  
 MOLINOS ASOCIADOS SAC.  
 JEFE DE CALIDAD



Calle 2 Mz. N Lote 4 Cooperativa Las Vertientes  
 Villa El Salvador, Lima - Perú  
 Central: (511) 719-4721 / 719-4720 / 493 1320  
[www.molinosasociados.com](http://www.molinosasociados.com)

## **Anexo IV. Especificaciones técnicas de los insumos para los bioensayos**

### **a. Hoja técnica de alfa celulosa (Alphacel Non-Nutritive Bulk)**

**Description:** An extremely fine, white, odorless tasteless, water insoluble, chemically pure cellulose powder, manufactured from natural fibers. It is the main structural component in the cell walls of all members of the plant kingdom.

**Preparation:** Alphacel is manufactured by a dry, mechanical process from bleached and purified wood pulp. It is pure cellulose as that word is understood in the pulp, paper and cellulose derivatives field. From the chemist's viewpoint, it is composed of roughly 90% beta-1,4-glucan and 9.5% of so-called hemi-celluloses such as xylan, arabar, mannan and galactan. These are not exact values, but will vary somewhat depending on cellulose source for Alphacel, which is usually northeastern U.S. hardwoods such as beech, birch and maple.

**Energy Content:** For many decades, Alphacel has been used as a harmless, biologically acceptable, bulking agent in the specialized diets of laboratory animals. In this use, the assumption is commonly made that the Alphacel is totally non-caloric. This is probably not completely correct and a certain small portion may be metabolized. The extent of possible digestion is obviously influenced by numerous factors such as the species of animal, the microflora in the digestive tract, the other components of the diet, the time of transit, the physical characteristics (such as a particle size) of the Alphacel, etc.

**Crude Fiber Content:** The current recognized measure of fiber content for food product labeling purposes is the so-called crude fiber analysis, such as the AOAC method (12th Edition, 7.050-7.054).

#### **Typical Analysis:**

Crude Fiber	: 87%
Protein	: 0%
Moisture	: <7%
Fat	: 0.2%
Ash	: <0.3%
Aerobic Plate Count	: < 50/g
Acid Detergent Fiber	: 91%
Neutral Detergent Fiber	: 99%
Lignin	: 0.3%
Pectin	: 0%

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_1\\_12&products\\_id=900453&depth=nested&keywords=900453](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_1_12&products_id=900453&depth=nested&keywords=900453)

**b. Hoja técnica de caseína (Casein, High Nitrogen)**

**Physical Description:** White to cream powder

**Source:** *Milk*

**Description:** Casein, high nitrogen, is a granular milk protein. It is produced by controlled acidification of pure, pasteurized skim milk, resulting in precipitation of casein curd. The curd is then washed, dried, and ground to a consistent particle size.

**Typical Analysis:**

Protein	: 95.0%
Moisture	: 5.0%
Fat	: 1.5%
Lactose	: 0.2%
Ash	: 2.1%
pH (10% Solution)	: 4.6 to 5.1
Free acids	: 0.2%

**Typical Nutritional Analysis:**

Calories (Kcal/100 g)	: 360
Calories from fat (Kcal/100 g)	: 10
Fiber (g/100 g)	: 0
Cholesterol (mg/100 g)	: 20
Saturated fat	: 0.7%

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_1\\_12&products\\_id=901293&depth=nested&keywords=90](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_1_12&products_id=901293&depth=nested&keywords=90)

**c. Hoja técnica de almidón de maíz (Corn Starch)**

**Composition:** Approximately 75% amylopectin and 25% amylose

**Typical Analysis:**

% Ash	: 0.10
% Protein	: 0.35
Viscosity (Scott Value)	: 70-100
Heavy Metals	: 10 ppm
% Fat	: 0.15
% Water	: 8.0-9.5
pH	: 4.8-5.8

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_1\\_12&products\\_id=902956&depth=nested&keywords=902956&processTab=product\\_information](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_1_12&products_id=902956&depth=nested&keywords=902956&processTab=product_information)

**d. Hoja técnica de aceite de maíz (Corn Oil)**

**Typical Fatty Acid Distribution, % of Total Fatty Acids:**

C <sub>12:0</sub> Lauric	: Trace
C <sub>14:0</sub> Myristic	: Trace
C <sub>16:0</sub> Palmitic	: 11.2%
C <sub>18:0</sub> Stearic	: 2.1%
C <sub>18:1</sub> Oleic	: 25.0%
C <sub>18:2</sub> Linoleic	: 59.9%
C <sub>18:3</sub> Linolenic	: 0.5%
All others	: 0.1%

**Typical Values:**

Iodine Value	: 129
Peroxide Number	: 0
Saponification Equivalent	: 191
Smoke Point	: 440°F

**Typical Components, % by Weight:**

Glycerides	: 98.8%
Unsaponifiable Matter	: 1.2%
Free Fatty Acids	: 0.07%

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_5\\_32&products\\_id=901414&depth=nested&keywords=901414](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_5_32&products_id=901414&depth=nested&keywords=901414)

**e. Hoja técnica de mezcla de minerales (AIN Mineral Mixture 76)**

Composition:

<i>Ingredient:</i>	<i>Quantity:</i>
Calcium Phosphate Dibasic	: 500.00 gm
Sodium Chloride	: 74.00 gm
Potassium Citrate Monohydrate	: 220.00 gm
Potassium Sulfate	: 52.00 gm
Magnesium Oxide	: 24.00 gm
Manganese Carbonate (43-48% Mn)	: 3.50 gm
Ferric Citrate (16-17% Fe)	: 6.00 gm
Zinc Carbonate (70% ZnO)	: 1.60 gm
Cupric Carbonate (53-55% Cu)	: 0.30 gm
Potassium Iodate	: 0.01 gm
Sodium Selenite	: 0.01 gm
Chromium Potassium Sulfate	: 0.55 gm
Sucrose, finely powdered	: 118.00 gm

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_1\\_12&products\\_id=905455&depth=nested&keywords=905455](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_1_12&products_id=905455&depth=nested&keywords=905455)

**f. Hoja técnica de mezcla de vitaminas (AIN Vitamin Mixture 76)**

**Composition:**

**Ingredients Amount**

Thiamine Hydrochloride	: 0.6 gm
Riboflavin	: 0.6 gm
Pyridoxine Hydrochloride	: 0.7 gm
Nicotinic Acid	: 3.0 gm
D-Calcium Pantothenate	: 1.6 gm
Folic Acid	: 0.2 gm
D-Biotin	: 0.02 gm
Cyanocobalamin (Vitamin B <sub>12</sub> )	: 0.001 gm
Retinyl Palmitate (Vitamin A) Pre-mix (250,000 IU/gm)	: 1.6 gm
DL- $\alpha$ -Tocopherol Acetate (250 IU/gm)	: 20.0 gm
Cholecalciferol (Vitamin D <sub>3</sub> , 400,000 IU/gm)	: 0.25 gm
Menaquinone (Vitamin K <sub>2</sub> )	: 0.005 gm
Sucrose, finely powdered	: 972.9 gm

Fuente:

[http://www.mpbio.com/product\\_info.php?cPath=491\\_5\\_31&products\\_id=905454&depth=nested&keywords=905454](http://www.mpbio.com/product_info.php?cPath=491_5_31&products_id=905454&depth=nested&keywords=905454)

## Anexo V. Constancia de autorización para el uso de animales de experimentación



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
*Comité de Ética y Bienestar Animal (CEBA)*



Lima, 20 diciembre de 2016

### Constancia de Autorización Ética N°. 2016-004

Visto la importancia del proyecto y considerando que en el mismo, se han tomado en cuenta los aspectos de Ética y Bienestar Animal. El CEBA de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos expide la presente **Constancia de Autorización Ética** al protocolo titulado "Evaluación de propiedades funcionales y fisiológicas en dieta de ratas Holtzman mediante la inclusión de fibras obtenidas del endospermo de semillas de tara y hojas de *Agave americana*" presentada por el investigador FULGENCIO VILCANQUI PÉREZ

Atentamente,



M.V. MSc. Alberto Sato Sato  
Presidente del Comité Ética y Bienestar Animal



**Anexo VI. Datos de las propiedades funcionales *in vitro* del endospermo de semilla de tara y polvo de hojas de *Agave americana***

a. Solubilidad en agua (SA)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	SA (por ciento)
CEL	1	1	1,10
CEL	2	2	1,88
CEL	3	3	1,00
CEL	4	4	1,80
CEL	5	5	0,84
EST	6	1	30,61
EST	7	2	31,38
EST	8	3	34,57
EST	9	4	34,28
EST	10	5	30,08
HAA	11	1	11,95
HAA	12	2	14,33
HAA	13	3	14,29
HAA	14	4	14,88
HAA	15	5	12,16
EST/HAA	16	1	35,25
EST/HAA	17	2	33,72
EST/HAA	18	3	22,87
EST/HAA	19	4	37,37
EST/HAA	20	5	23,85

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*; EST/HAA, combinación del 50 por ciento y 50 por ciento de cada fuente de fibra.

b. Capacidad de absorción de agua (CAA)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	CAA (g agua/g m.s.)
CEL	1	1	4,43
CEL	2	2	4,20
CEL	3	3	4,05
CEL	4	4	4,55
CEL	5	5	4,36
EST	6	1	47,24
EST	7	2	45,15
EST	8	3	47,24
EST	9	4	42,70
EST	10	5	42,60
HAA	11	1	7,45
HAA	12	2	7,25
HAA	13	3	7,30
HAA	14	4	7,80
HAA	15	5	7,75
EST/HAA	16	1	16,55
EST/HAA	17	2	14,30
EST/HAA	18	3	14,50
EST/HAA	19	4	15,90
EST/HAA	20	5	12,50

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*; EST/HAA, combinación del 50 por ciento y 50 por ciento de cada fuente de fibra.

c. Capacidad de retención de agua (CRA)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	CAA (g agua/g m.s.)
CEL	1	1	4.39
CEL	2	2	4.48
CEL	3	3	4.45
CEL	4	4	4.51
CEL	5	5	4.34
EST	6	1	48.80
EST	7	2	50.80
EST	8	3	45.70
EST	9	4	47.80
EST	10	5	46.20
HAA	11	1	7.35
HAA	12	2	7.4
HAA	13	3	7.55
HAA	14	4	8.55
HAA	15	5	7.25
EST/HAA	16	1	12.75
EST/HAA	17	2	16.6
EST/HAA	18	3	13.65
EST/HAA	19	4	16.45
EST/HAA	20	5	14.56

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*; EST/HAA, combinación del 50 por ciento y 50 por ciento de cada fuente de fibra.

d. Capacidad de hinchamiento (CH)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	CH (ml agua/g m.s.)
CEL	1	1	1.15
CEL	2	2	1.03
CEL	3	3	1.08
CEL	4	4	1.15
CEL	5	5	1.02
EST	6	1	38.08
EST	7	2	46.45
EST	8	3	53.42
EST	9	4	53.66
EST	10	5	38.30
HAA	11	1	5.87
HAA	12	2	5.67
HAA	13	3	4.91
HAA	14	4	6.00
HAA	15	5	4.96
EST/HAA	16	1	36.66
EST/HAA	17	2	34.03
EST/HAA	18	3	32.07
EST/HAA	19	4	36.54
EST/HAA	20	5	31.96

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*; EST/HAA, combinación del 50 por ciento y 50 por ciento de cada fuente de fibra.

e. Capacidad de adsorción de aceite (CAAC)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	CAAC (g aceite/g m.s.)
CEL	1	1	4.53
CEL	2	2	4.45
CEL	3	3	4.73
CEL	4	4	4.60
CEL	5	5	4.40
EST	6	1	3.15
EST	7	2	2.80
EST	8	3	3.45
EST	9	4	3.15
EST	10	5	3.10
HAA	11	1	6.50
HAA	12	2	6.70
HAA	13	3	6.70
HAA	14	4	6.15
HAA	15	5	5.85
EST/HAA	16	1	4.60
EST/HAA	17	2	4.65
EST/HAA	18	3	4.25
EST/HAA	19	4	4.90
EST/HAA	20	5	4.20

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*; EST/HAA, combinación del 50 por ciento y 50 por ciento de cada fuente de fibra.

**Anexo VII. Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la regulación del peso corporal en ratas Holtzman**

a. Ingesta de alimentos

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Ingesta (g/día)
CEL (6 por ciento)	1	1	20,88
CEL (6 por ciento)	2	2	21,59
CEL (6 por ciento)	3	3	17,94
CEL (6 por ciento)	4	4	18,81
CEL (6 por ciento)	5	5	20,59
EST (6 por ciento)	6	1	16,53
EST (6 por ciento)	7	2	13,41
EST (6 por ciento)	8	3	19,76
EST (6 por ciento)	9	4	16,29
EST (6 por ciento)	10	5	13,88
HAA (6 por ciento)	11	1	21,44
HAA (6 por ciento)	12	2	19,41
HAA (6 por ciento)	13	3	18,47
HAA (6 por ciento)	14	4	17,71
HAA (6 por ciento)	15	5	15,76
EST (10 por ciento)	16	1	15,79
EST (10 por ciento)	17	2	15,90
EST (10 por ciento)	18	3	13,26
EST (10 por ciento)	19	4	14,50
EST (10 por ciento)	20	5	15,44
HAA (10 por ciento)	21	1	17,18
HAA (10 por ciento)	22	2	16,71
HAA (10 por ciento)	23	3	18,53
HAA (10 por ciento)	24	4	18,94
HAA (10 por ciento)	25	5	17,82

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

b. Ganancia de peso corporal

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Ganancia de peso (g/día)
CEL (6 por ciento)	1	1	4,80
CEL (6 por ciento)	2	2	4,40
CEL (6 por ciento)	3	3	5,53
CEL (6 por ciento)	4	4	5,67
CEL (6 por ciento)	5	5	5,27
EST (6 por ciento)	6	1	3,47
EST (6 por ciento)	7	2	2,80
EST (6 por ciento)	8	3	4,87
EST (6 por ciento)	9	4	2,67
EST (6 por ciento)	10	5	2,33
HAA (6 por ciento)	11	1	5,80
HAA (6 por ciento)	12	2	4,13
HAA (6 por ciento)	13	3	5,47
HAA (6 por ciento)	14	4	4,33
HAA (6 por ciento)	15	5	3,40
EST (10 por ciento)	16	1	1,48
EST (10 por ciento)	17	2	3,08
EST (10 por ciento)	18	3	2,88
EST (10 por ciento)	19	4	2,75
EST (10 por ciento)	20	5	2,42
HAA (10 por ciento)	21	1	3,87
HAA (10 por ciento)	22	2	3,27
HAA (10 por ciento)	23	3	5,00
HAA (10 por ciento)	24	4	4,27
HAA (10 por ciento)	25	5	3,73

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

c. Contenido de grasa fecal

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Grasa fecal (g/100 g)
CEL (6 por ciento)	1	1	2,46
CEL (6 por ciento)	2	2	2,42
CEL (6 por ciento)	3	3	2,59
CEL (6 por ciento)	4	4	2,24
CEL (6 por ciento)	5	5	3,23
EST (6 por ciento)	6	1	13,38
EST (6 por ciento)	7	2	6,36
EST (6 por ciento)	8	3	15,35
EST (6 por ciento)	9	4	13,17
EST (6 por ciento)	10	5	14,72
HAA (6 por ciento)	11	1	5,74
HAA (6 por ciento)	12	2	2,26
HAA (6 por ciento)	13	3	5,49
HAA (6 por ciento)	14	4	2,49
HAA (6 por ciento)	15	5	3,58
EST (10 por ciento)	16	1	15,82
EST (10 por ciento)	17	2	24,94
EST (10 por ciento)	18	3	15,47
EST (10 por ciento)	19	4	20,11
EST (10 por ciento)	20	5	16,61
HAA (10 por ciento)	21	1	2,54
HAA (10 por ciento)	22	2	2,45
HAA (10 por ciento)	23	3	3,02
HAA (10 por ciento)	24	4	2,16
HAA (10 por ciento)	25	5	3,02

<sup>1</sup>CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.



d. Digestibilidad aparente de la grasa (por ciento)

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Digestibilidad (por ciento)
CEL (6 por ciento)	1	1	93,12
CEL (6 por ciento)	2	2	93,14
CEL (6 por ciento)	3	3	92,59
CEL (6 por ciento)	4	4	93,62
CEL (6 por ciento)	5	5	90,65
EST (6 por ciento)	6	1	82,32
EST (6 por ciento)	7	2	92,46
EST (6 por ciento)	8	3	78,17
EST (6 por ciento)	9	4	83,14
EST (6 por ciento)	10	5	78,63
HAA (6 por ciento)	11	1	88,00
HAA (6 por ciento)	12	2	95,54
HAA (6 por ciento)	13	3	87,47
HAA (6 por ciento)	14	4	94,36
HAA (6 por ciento)	15	5	91,63
EST (10 por ciento)	16	1	75,53
EST (10 por ciento)	17	2	50,25
EST (10 por ciento)	18	3	70,49
EST (10 por ciento)	19	4	59,23
EST (10 por ciento)	20	5	76,63
HAA (10 por ciento)	21	1	95,14
HAA (10 por ciento)	22	2	95,11
HAA (10 por ciento)	23	3	94,35
HAA (10 por ciento)	24	4	95,59
HAA (10 por ciento)	25	5	93,37

<sup>1</sup>CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

e. pH de las heces

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	pH
CEL (6 por ciento)	1	1	8,10
CEL (6 por ciento)	2	2	7,85
CEL (6 por ciento)	3	3	7,75
CEL (6 por ciento)	4	4	7,75
CEL (6 por ciento)	5	5	8,32
EST (6 por ciento)	6	1	7,21
EST (6 por ciento)	7	2	7,31
EST (6 por ciento)	8	3	7,13
EST (6 por ciento)	9	4	7,19
EST (6 por ciento)	10	5	7,22
HAA (6 por ciento)	11	1	7,60
HAA (6 por ciento)	12	2	7,81
HAA (6 por ciento)	13	3	7,65
HAA (6 por ciento)	14	4	8,17
HAA (6 por ciento)	15	5	8,06
EST (10 por ciento)	16	1	7,48
EST (10 por ciento)	17	2	6,79
EST (10 por ciento)	18	3	7,03
EST (10 por ciento)	19	4	6,84
EST (10 por ciento)	20	5	7,08
HAA (10 por ciento)	21	1	7,54
HAA (10 por ciento)	22	2	7,61
HAA (10 por ciento)	23	3	7,46
HAA (10 por ciento)	24	4	7,53
HAA (10 por ciento)	25	5	7,43

<sup>1</sup>CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

**Anexo VIII. Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la velocidad de tránsito intestinal en ratas Holtzman**

a. Humedad de las heces

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Por ciento
CEL (6 por ciento)	1	1	14,66
CEL (6 por ciento)	2	2	12,61
CEL (6 por ciento)	3	3	14,20
CEL (6 por ciento)	4	4	7,68
CEL (6 por ciento)	5	5	7,69
EST (6 por ciento)	6	1	17,77
EST (6 por ciento)	7	2	33,84
EST (6 por ciento)	8	3	23,98
EST (6 por ciento)	9	4	16,68
EST (6 por ciento)	10	5	15,10
HAA (6 por ciento)	11	1	15,46
HAA (6 por ciento)	12	2	37,19
HAA (6 por ciento)	13	3	29,04
HAA (6 por ciento)	14	4	19,74
HAA (6 por ciento)	15	5	30,74
EST (10 por ciento)	16	1	23,25
EST (10 por ciento)	17	2	27,93
EST (10 por ciento)	18	3	25,77
EST (10 por ciento)	19	4	25,36
EST (10 por ciento)	20	5	26,42
HAA (10 por ciento)	21	1	33,50
HAA (10 por ciento)	22	2	24,70
HAA (10 por ciento)	23	3	33,83
HAA (10 por ciento)	24	4	38,75
HAA (10 por ciento)	25	5	34,43

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

b. Peso de las heces

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Peso (g/día)
CEL (6 por ciento)	1	1	1,67
CEL (6 por ciento)	2	2	1,76
CEL (6 por ciento)	3	3	1,46
CEL (6 por ciento)	4	4	1,53
CEL (6 por ciento)	5	5	1,71
EST (6 por ciento)	6	1	0,98
EST (6 por ciento)	7	2	0,72
EST (6 por ciento)	8	3	1,24
EST (6 por ciento)	9	4	0,93
EST (6 por ciento)	10	5	0,91
HAA (6 por ciento)	11	1	1,62
HAA (6 por ciento)	12	2	1,39
HAA (6 por ciento)	13	3	1,53
HAA (6 por ciento)	14	4	1,45
HAA (6 por ciento)	15	5	1,33
EST (10 por ciento)	16	1	1,13
EST (10 por ciento)	17	2	1,47
EST (10 por ciento)	18	3	1,19
EST (10 por ciento)	19	4	1,38
EST (10 por ciento)	20	5	1,01
HAA (10 por ciento)	21	1	1,81
HAA (10 por ciento)	22	2	1,84
HAA (10 por ciento)	23	3	1,91
HAA (10 por ciento)	24	4	2,14
HAA (10 por ciento)	25	5	2,16

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

c. Volumen de las heces

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Peso (cm <sup>3</sup> /día)
CEL (6 por ciento)	1	1	3,46
CEL (6 por ciento)	2	2	3,55
CEL (6 por ciento)	3	3	3,17
CEL (6 por ciento)	4	4	3,18
CEL (6 por ciento)	5	5	3,55
EST (6 por ciento)	6	1	1,79
EST (6 por ciento)	7	2	0,90
EST (6 por ciento)	8	3	1,80
EST (6 por ciento)	9	4	1,52
EST (6 por ciento)	10	5	1,40
HAA (6 por ciento)	11	1	3,42
HAA (6 por ciento)	12	2	2,74
HAA (6 por ciento)	13	3	2,46
HAA (6 por ciento)	14	4	3,36
HAA (6 por ciento)	15	5	3,06
EST (10 por ciento)	16	1	1,89
EST (10 por ciento)	17	2	3,30
EST (10 por ciento)	18	3	1,95
EST (10 por ciento)	19	4	2,78
EST (10 por ciento)	20	5	2,19
HAA (10 por ciento)	21	1	4,06
HAA (10 por ciento)	22	2	4,42
HAA (10 por ciento)	23	3	4,89
HAA (10 por ciento)	24	4	4,66
HAA (10 por ciento)	25	5	4,95

<sup>1</sup>CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

d. Tiempo de tránsito intestinal

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Tiempo (min)
CEL (6 por ciento)	1	1	570
CEL (6 por ciento)	2	2	570
CEL (6 por ciento)	3	3	705
CEL (6 por ciento)	4	4	795
CEL (6 por ciento)	5	5	570
EST (6 por ciento)	6	1	800
EST (6 por ciento)	7	2	760
EST (6 por ciento)	8	3	720
EST (6 por ciento)	9	4	720
EST (6 por ciento)	10	5	890
HAA (6 por ciento)	11	1	620
HAA (6 por ciento)	12	2	570
HAA (6 por ciento)	13	3	630
HAA (6 por ciento)	14	4	600
HAA (6 por ciento)	15	5	880
EST (10 por ciento)	16	1	660
EST (10 por ciento)	17	2	600
EST (10 por ciento)	18	3	570
EST (10 por ciento)	19	4	610
EST (10 por ciento)	20	5	620
HAA (10 por ciento)	21	1	570
HAA (10 por ciento)	22	2	510
HAA (10 por ciento)	23	3	543
HAA (10 por ciento)	24	4	526
HAA (10 por ciento)	25	5	510

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

**Anexo IX. Datos de los efectos fisiológicos de las dietas sobre la absorción aparente de Ca y P en ratas Holtzman**

a. Absorción del Ca

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Absorción aparente (por ciento)
CEL (6 por ciento)	1	1	35,21
CEL (6 por ciento)	2	2	30,87
CEL (6 por ciento)	3	3	44,76
CEL (6 por ciento)	4	4	42,38
CEL (6 por ciento)	5	5	38,17
EST (6 por ciento)	6	1	19,00
EST (6 por ciento)	7	2	32,92
EST (6 por ciento)	8	3	17,76
EST (6 por ciento)	9	4	37,54
EST (6 por ciento)	10	5	25,92
HAA (6 por ciento)	11	1	27,40
HAA (6 por ciento)	12	2	23,85
HAA (6 por ciento)	13	3	20,97
HAA (6 por ciento)	14	4	23,09
HAA (6 por ciento)	15	5	22,11
EST (10 por ciento)	16	1	10,26
EST (10 por ciento)	17	2	23,84
EST (10 por ciento)	18	3	19,41
EST (10 por ciento)	19	4	29,78
EST (10 por ciento)	20	5	44,75
HAA (10 por ciento)	21	1	27,10
HAA (10 por ciento)	22	2	18,13
HAA (10 por ciento)	23	3	15,61
HAA (10 por ciento)	24	4	40,43
HAA (10 por ciento)	25	5	34,19

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

b. Absorción del P

Fuente de fibra	Observaciones	Réplicas	Absorción aparente (por ciento)
CEL (6 por ciento)	1	1	59,58
CEL (6 por ciento)	2	2	53,55
CEL (6 por ciento)	3	3	62,72
CEL (6 por ciento)	4	4	60,71
CEL (6 por ciento)	5	5	66,32
EST (6 por ciento)	6	1	48,72
EST (6 por ciento)	7	2	51,81
EST (6 por ciento)	8	3	45,41
EST (6 por ciento)	9	4	56,55
EST (6 por ciento)	10	5	49,54
HAA (6 por ciento)	11	1	53,49
HAA (6 por ciento)	12	2	58,07
HAA (6 por ciento)	13	3	56,24
HAA (6 por ciento)	14	4	50,13
HAA (6 por ciento)	15	5	52,85
EST (10 por ciento)	16	1	39,96
EST (10 por ciento)	17	2	53,95
EST (10 por ciento)	18	3	52,56
EST (10 por ciento)	19	4	45,37
EST (10 por ciento)	20	5	63,40
HAA (10 por ciento)	21	1	29,92
HAA (10 por ciento)	22	2	48,59
HAA (10 por ciento)	23	3	60,86
HAA (10 por ciento)	24	4	57,33
HAA (10 por ciento)	25	5	50,82

CEL, alfa celulosa; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*