

Artículo Original / Original Article

Propiedades funcionales *in-vitro* y efectos fisiológicos *in-vivo* sobre ratas Holtzman de dietas con nuevas fuentes de fibra

Functional properties *in vitro* and physiological effects *in vivo* of new sources of dietary fiber in Holtzman rats

RESUMEN

El endospermo de semilla de tara (EST) y polvo de las hojas de *Agave americana* (HAA) fueron evaluados como nuevas fuentes de fibra dietética teniendo como referencia al salvado de trigo (ST). Mediante experimentos *in vitro* se determinaron las propiedades funcionales y con experimentos *in vivo*, en ratas Holtzman, los efectos fisiológicos de las dietas alimentadas con 6% de fuente de fibra. El EST tuvo 32,2% de solubilidad; 45,0 g/g de capacidad de absorción; 47,9 g/g retención de agua y 46 ml/g de hinchamiento; valores significativamente superior al ST ($p < 0,01$). En cambio, el HAA presentó 6,38 g/g de capacidad de adsorción del aceite respecto al 5,27 del ST ($p < 0,01$). La dieta con EST, tuvieron 8,76% de grasa fecal, valor que supera al ST ($p < 0,01$). Sin embargo, no hubo efecto sobre el peso corporal de las ratas. El HAA incrementó el volumen fecal y redujo de 14,9 a 10,4 h el tiempo de tránsito intestinal ($p < 0,01$). El endospermo de semilla de tara, retiene la grasa de la dieta y la elimina a través de las heces; en cambio, el polvo de las hojas de *Agave americana*, reduce el tiempo de tránsito intestinal.

Palabras clave: Fibra dietética; Endospermo de semilla de tara; *Agave americana*; Propiedades funcionales; Efectos fisiológicos.

ABSTRACT

The endosperm of tara seeds (EST) and powder from the leaves of *Agave americana* (HAA) were evaluated as new sources of dietary fiber, using wheat bran (ST) as a reference. *In vitro* experiments were carried out to determine functional properties and *in vivo* experiments were used to determine the physiological effects of fed Holtzman rats with diets with 6% of each fiber source. Endosperm of tara had 32.2% solubility, 45.0 and 47.9 g/g absorption and water retention capacity, respectively, and 46 ml/g swelling, values significantly higher than wheat bran ($p < 0.01$). On the other hand, *Agave* had higher adsorption capacity of oil than wheat bran (6.38 g/g vs. 5.27 g/g; $p < 0.01$). Diets with endosperm of tara, were 8.76% of fecal fat, a value that exceeded that of wheat bran ($p < 0.01$); however, there was no effect on body weight of the rats. *Agave* increased fecal

Fulgencio Vilcanqui^{1,2}, María Elena Villanueva¹,
Carlos Vélchez¹.

1. Departamento Académico de Nutrición,
Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
2. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial,
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Perú.

Dirigir Correspondencia a: Fulgencio Vilcanqui Pérez,
Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia,
Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
Teléfono: 0051-83-983610255.
E-mail: 20150782@lamolina.edu.pe

Este trabajo fue recibido el 23 de agosto de 2017.
Aceptado con modificaciones: 31 de enero de 2018.
Aceptado para ser publicado: 06 de marzo de 2018.

volume and reduced ($p < 0.01$) intestinal transit time from 14.9 to 10.4 h. Endosperm of tara retained and eliminated fat from the diet through the feces; on the other hand, the powder of *Agave* leaves reduced intestinal transit time.

Key words: Dietary fiber; Endosperm of tara; American *agave*; Functional properties; Physiological effects.

INTRODUCCIÓN

Existen evidencias científicas del consumo de la fibra dietética como una estrategia para la prevención y tratamiento de las enfermedades no transmisibles, entre ellos el sobrepeso, la obesidad, hipertensión arterial, diabetes tipo 2, estreñimiento, cáncer en el colon y entre otros^{1,2}. La Organización Mundial de la Salud y la Organización de

las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, han establecido el consumo de 25 g/día para mujeres y 38 g/día para hombres^{3,4}. La fibra dietética es un 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 fermentadas en forma parcial o completa por la microbiota intestinal. Además, las fibras tienen efectos laxantes, reducción de los niveles de glucosa y colesterol sérico⁵. Desde el punto de vista químico, en 2009, el CODEX Alimentarius incluye dentro de la definición de la fibra dietética a polímeros no digeribles de 3 a 9 grados de polimerización, tales como la inulina, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, maltodextrinas resistentes y rafinosa; al mismo tiempo reconoce a la lignina y otros componentes menores (polifenoles, ceras, saponinas, fitatos, cutinas y fitoesteroles) como parte de la fibra, con la condición de estar asociada a la pared celular vegetal⁶.

Las propiedades funcionales de las fibras dietéticas proveen información útil sobre el comportamiento tecnológico que han de tener durante el procesamiento de los alimentos (absorción del agua, viscosidad, incremento de volumen) y en los productos finales relacionado con su aspecto sensorial (textura, color, sabor). Además, las propiedades funcionales *in-vitro* de las fibras dietéticas, se pueden correlacionar con la información de los posibles beneficios para la salud⁷, a través de los efectos fisiológicos en el sistema gastrointestinal, tales como el volumen fecal, el tiempo de tránsito intestinal, la retención y excreción de la grasa, regulación de sobrepeso y la obesidad y entre otros

La estructura y la composición química dependen de las fuentes de fibra dietética, y son las que definen la funcionalidad y los efectos fisiológicos⁸. Las fibras solubles utilizan diversos mecanismos para la regulación del peso corporal; en cambio las fibras insolubles se caracterizan por el aumento del volumen fecal y reducción del tiempo de tránsito intestinal.

El salvado de trigo con 48% de fibra dietética (45,6% de fibra insoluble y 2,4% fibra soluble)⁹, es utilizado para la inclusión en las bebidas instantáneas o como insumo en productos de panificación y extruidos con la finalidad de modificar la textura y mejorar los niveles de fibra. El endospermo de la semilla de tara, con 75% de galactomananos (relación de manosa a galactosa de 3:1) no son hidrolizados por las enzimas del intestino y por consiguiente no es absorbido^{10,11}; y puede actuar como prebiótico para la microbiota intestinal y contribuir con las funciones de regulación del peso corporal y la velocidad del tránsito intestinal. En la actualidad, el EST tiene aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica, principalmente como agente espesante y estabilizante¹²; sin embargo, aún no se han reportados informes sobre los efectos fisiológicos relacionados con la salud. Por otro lado, las hojas y la piña del *Agave tequilana* Weber, es considerada como un residuo agroindustrial después del proceso de fabricación del tequila; y está compuesta por 43% de celulosa, 19% de hemicelulosa y 15% de lignina¹³. Sobre las fibras obtenidas del *Agave*, existen resultados favorables para el uso como

fibra dietética, tal como la inclusión en barras de granola con características sensoriales aceptables¹⁴. Por consiguiente, el *Agave americana*, que pertenece a la familia de las agaváceas, podría representar una alternativa de extracción de la fibra para la inclusión en los alimentos y se esperan efectos fisiológicos favorables para la salud intestinal.

Los objetivos del presente estudio son evaluar las propiedades funcionales y los efectos fisiológicos de las dietas con la inclusión del endospermo de semilla de tara y el polvo de las hojas de *Agave americana*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de las propiedades funcionales *in-vitro* y los efectos fisiológicos *in-vivo*, se ajustan a un diseño completamente aleatorizado (DCA), teniendo como factor de estudio a las fuentes de fibra procedentes de: salvado de trigo, endospermo de semilla de tara, polvo de las hojas de *Agave americana* y una mezcla de EST y HAA con una relación de 1:1. Las variables de respuesta para las propiedades funcionales fueron: solubilidad en agua, capacidad de absorción y retención del agua, capacidad de hinchamiento y la capacidad de adsorción del aceite; y para los efectos fisiológicos: contenido de grasa fecal, ganancia de peso corporal, volumen fecal y tiempo de tránsito intestinal.

Fuentes de fibra

El salvado de trigo fue adquirido en las tiendas Metro-CENCOSUD de la ciudad de Lima. El endospermo de semilla de tara con la composición proximal que se observa en la Tabla 1, fue recibido como donación de la empresa Molinos Asociados S.A.C., Lima-Perú. El polvo de las hojas de *Agave americana* con una composición proximal que se observa en la tabla 1, fue obtenido en los laboratorios de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac-Perú, siguiendo las operaciones de eliminación de las espinas y la cutícula de las hojas, triturado de la pulpa, desintegración de las fibras y lavadas con agua (relación de agua a materia de 3:1) a temperatura de ebullición por 15 min hasta por tres veces. Todas las fuentes de fibra fueron deshidratadas, pulverizadas y tamizadas con la malla N°60 (0,25 mm).

Tabla 1. Composición proximal de las fuentes de fibra dietética.

Componentes	Fuentes de fibra ¹	
	EST	HAA
Humedad, %	9,46	11,20
Proteína total (Nx6,25), %	2,07	2,40
Grasa, %	0,00	0,00
Fibra cruda, %	2,22	26,50
Ceniza, %	0,56	4,31
Extracto libre de nitrógeno, %	87,3	52,60

¹EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana*.

Propiedades funcionales in-vitro de la fibra dietética

La solubilidad en agua fue determinada acorde al método reportado por Zhang et al.¹⁵ y Chen et al.¹⁶. La fuente de fibra fue mezclada con agua destilada al 1% (p/v) y calentadas a 90°C por 30 min en un baño de agua con agitación. La solución fue enfriada a temperatura del medio 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. La solubilidad en agua fue calculada por diferencia de pesos y expresados en porcentaje (%).

La capacidad de absorción y retención del agua fue determinada acorde al método descrito por Ma y Mu¹⁷. La fibra (200 mg) fue hidratada con exceso de agua destilada (20 ml) en los tubos cónicos y agitados hasta obtener una mezcla homogénea. Para la CAA del agua, las muestras hidratadas se dejaron a temperatura ambiente por una hora y para la CRA fueron llevadas a 37°C por 18 h. Al finalizar este tiempo, fueron centrifugadas a 3.000 g por 10 min y eliminadas el sobrenadante. Los resultados fueron calculados con la ecuación (1) y expresados en g de agua absorbida o retenida por g de materia seca (g/g).

$$CAA \text{ y } CRA = (m_2 - m_1)/m_1 \quad \text{Ecuación (1)}$$

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

La capacidad de hinchamiento fue determinada acorde al método descrito por Ma y Mu¹⁷ y Requena et al.⁷. Muestras de fibra (100 mg) fueron llevadas a los tubos con graduación volumétrica (0,2 ml) y se agregaron 15 ml de agua destilada, luego mezcladas e hidratadas por 18 horas a temperatura

ambiente. Los resultados fueron calculados con la ecuación (2) y expresados en ml por g de materia seca (ml/g).

$$CH = (v_2 - v_1)/m \quad \text{Ecuación (2)}$$

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).

La capacidad de adsorción del aceite fue determinada acorde al método descrito por Ma y Mu¹⁷ y Requena et al.⁷. Muestras de 200 mg de cada fuente de fibra fueron pesadas en tubos cónicos y adicionadas 10 ml de aceite de oliva, luego agitadas hasta obtener una mezcla homogénea. Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente por 18 h, luego centrifugadas a 3.000 g por 20 min. El aceite sobrenadante en cada tubo fue removido. Los resultados fueron calculados con la ecuación (3) y expresados en g de aceite adsorbido por g de materia seca (g/g).

$$CAMO = (m_2 - m_1)/m_1 \quad \text{Ecuación (3)}$$

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

Formulación de dietas y efectos fisiológicos

Las dietas para ratas Holtzman fueron formuladas con 6% de cada fuente de fibra, tomando como referencia a Adam et al.¹⁸ e Hino et al.¹⁹ (Tabla 2). Todos los insumos utilizados para la dieta (a excepción de las fuentes de fibra), fueron adquiridos a ABIOC S.A.C., Lima-Perú, de la marca MP Biomedicals USA.

Tabla 2. Formulación de dietas con la inclusión de diferentes fuentes de fibra.

Componentes (%)	Dieta ¹			
	ST	EST	HAA	EST: HAA
Almidón de maíz	65	65	65	65
Caseína de leche	18	18	18	18
Aceite de maíz	6	6	6	6
Mezcla de minerales ²	4	4	4	4
Mezcla de vitaminas ³	1	1	1	1
ST	6	0	0	0
EST	0	6	0	3
HAA	0	0	6	3
Total	100	100	100	100

¹Dietas formuladas con la inclusión de: ST, salvado de trigo; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana* y EST: HAA, con una relación de 1:1.

²Composición de la mezcla de minerales (AIN 76): fosfato dibásico de calcio, 500 mg; cloruro de sodio, 74 mg; citrato de potasio monohidratado, 220 mg; sulfato de potasio, 52 mg; óxido de magnesio, 24 mg; carbonato de magnesio, 3,5 mg; citrato férrico, 6 mg; carbonato de zinc, 1,6 mg; carbonato cúprico, 0,3 mg; yodato de potasio, 0,01 mg; selenito de sodio, 0,01 mg; sulfato de potasio y cromo, 0,55 mg; sacarosa en polvo, 118 mg.

Dieciséis ratas con 45 días de vida y con un peso promedio de 212,7±13,8 g, fueron distribuidas en forma aleatoria en cuatro grupos; y dentro de cada grupo (n=4), las ratas fueron alojadas en jaulas individuales. Los experimentos se llevaron a cabo en el Bioterio de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina, cumpliendo con las normas de los bioensayos, autorizada por el Comité de Ética y Bienestar Animal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú (Constancia de Autorización Ética N° 2016-004). Los animales tuvieron un periodo de adaptación de cinco días y luego fueron suministradas las dietas experimentales y agua *ad libitum* todos los días a las 09:00 am. Durante el experimento, la sala del bioterio se mantuvo a 24°C y un ciclo de luz y oscuridad de 12 h.

Para el contenido de grasa fecal, las muestras frescas de las heces fueron recolectadas y secadas inmediatamente en una estufa en forma diaria por un periodo de doce días. Una vez terminado el experimento, el contenido de grasa fue determinado por el método AOAC 920.39, con el equipo extractor ANKOMXT15-USA; cuyos resultados fueron expresados en g/100 g. Para la ganancia de peso corporal, se han registrado en forma diaria los pesos de cada animal por un periodo de doce días y luego los resultados fueron expresados en g/día.

Para el volumen fecal, las heces frescas fueron recolectadas y secadas en una estufa en forma diaria por un periodo de doce 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.²⁰, con ligeras modificaciones y los resultados fueron expresados en cm³/día.

El tiempo de tránsito intestinal, fue determinado acorde al métodos descrito por Kim et al.²¹. En el día trece del experimento fue incorporado un marcador no absorbible (óxido férrico al 0,5%) sobre 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 h.

Análisis estadístico

Todos los resultados se presentan como el promedio ± desviación estándar (DE). Se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación múltiple de medias (Tukey) de los tratamientos mediante el uso del programa IBM SPSS Statistics versión 20. Se consideraron estadísticamente significativos para 0,01 < p < 0,05 y altamente significativos cuando p < 0,01.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades funcionales de las diferentes fuentes de fibra

En general, las propiedades funcionales de las fibras dietéticas en estudio presentaron diferencias significativas (p < 0,05), conforme se puede observar en la tabla 3. El endospermo de semilla de tara con 32,2% de solubilidad en agua, es significativamente superior al salvado de trigo (referencia) y al polvo de las hojas de *Agave americana* (p < 0,01). Este comportamiento, se repite para la capacidad de absorción y retención del agua y capacidad de hinchamiento; siendo el endospermo de semilla de tara con una elevada capacidad, seguido de la mezcla del EST y HAA, el polvo de las HAA y finalmente el salvado de trigo. En cambio, para la capacidad de adsorción de aceite, el polvo de las hojas de *Agave americana* reportó el valor más elevado con 6,38 g/g, valor significativamente diferente al salvado de trigo (5,27 g/g) y a las demás fuentes de fibra (p < 0,01). Por consiguiente se puede afirmar que las propiedades funcionales in vitro de las fibras dietéticas son dependiente de la fuente, siendo el EST con alto contenido de fibra soluble, con mejores capacidades de hidratación; en cambio,

Tabla 3. Propiedades funcionales de las fuentes de fibra¹.

Fuente de fibra dietética ²	SA (%)	CAA (g/g)	CRA (g/g)	CH (ml/g)	CAMO (g/g)
ST	16,6±1,0 ^{c,d}	3,60±0,18 ^d	4,34±0,10 ^d	2,79±0,56 ^c	5,27±0,52 ^b
EST	32,2±2,1 ^a	45,0±2,3 ^a	47,9±2,1 ^a	46,0±4,2 ^a	3,13±0,23 ^d
HAA	13,5±1,4 ^d	7,50±0,30 ^c	7,6±0,50 ^c	5,48±0,51 ^c	6,38±0,37 ^a
EST:HAA	30,6±6,8 ^{a,b}	14,8±1,6 ^b	14,8±1,7 ^b	34,3±2,3 ^b	4,52±0,29 ^c

¹Promedio de los valores de las propiedades funcionales ± desviación estándar (n=10).

²ST, salvado de trigo; EST, endospermo de semilla de tara; HAA, polvo de las hojas de *Agave americana* y EST:HAA, con una relación de 1:1.

SA, es la solubilidad en agua expresada en porcentaje; CA, es la capacidad de absorción del agua expresada en g de agua absorbida por g de materia seca; CRA, es la capacidad de retención del agua en g de agua retenida por g de materia seca; CH, capacidad de hinchamiento en ml por g de materia seca y CAMO, capacidad de adsorción de aceite en g de aceite adsorbido por g de materia seca.

el HAA con alto contenido en fibras insoluble con mejores propiedades para adsorción de la grasa, inclusive superior al salvado de trigo.

Las mejores capacidades de hidratación del EST son los esperados, pues se trata de un tipo de fibra soluble en agua, y químicamente tiene una estructura ramificada, constituidas por polímeros de galactomananos mayor al 75%, con una proporción de galactosa: manosa de 3:1^{22,23,24}. En cambio, el polvo de las HAA contiene en su composición a moléculas insolubles, tales como la celulosa y la lignina de muy baja solubilidad y a la hemicelulosa con solubilidad intermedia.

Al efectuar una comparación de la solubilidad del endospermo de semilla de tara (32,2%), con el mucilago de tamarindo y el residuo de la semilla de soya, con 8,02 y 9,10% respectivamente^{25,26}, el EST es superior hasta en cuatro veces. La solubilidad es un indicador muy importante de las propiedades reológicas; afirmación que coincide con los resultados de investigación de la goma de tara al 1% con una viscosidad de 2.000 a 3.500 cP¹¹. Desde el punto de vista de la funcionalidad tecnológica, la solubilidad y la viscosidad, cumplen un rol importante, puesto que la adición del endospermo de semilla de tara puede tener doble propósito: contribuir con la estabilidad de los alimentos líquidos y semilíquidos y elevar los niveles de fibra dietética como un agente no calórico y de bajo costo, que muy bien puede reemplazar en forma parcial a las harinas, grasas o azúcar²⁷.

Los valores altos de la capacidad de absorción del agua del EST (44,9 g/g), también es interesante cuando se comparan con otras fuentes de fibra soluble tales como *Ulva lactuca* con 9,32 g/g, *Sphagnum magellanicum* con 34 g/g, mucilago de semilla de tamarindo con 1,07 g/g y albedo de maracuyá con 13 g/g²⁸. Esta tendencia también ocurre para la capacidad de hinchamiento. Los valores altos de la CH por el endospermo de semilla de tara, también es importante, puesto que tiene mayor posibilidad de aumentar el volumen en un exceso de agua, lo que podría provocar mayor saciedad y un aumento del bolo fecal; sin embargo, esto se debe correlacionar con los resultados de los estudios in vivo, considerando que el EST es un tipo de fibra que puede ser fermentado por las bacterias del colon.

Respecto a la capacidad de adsorción del aceite, se han identificado que el polvo de las hojas de *Agave americana* tienen mejores propiedades (6.38 g/g), comparado con el EST y el salvado de trigo ($p < 0,01$). Al efectuar la comparación con otras fuentes de fibra, se reportan por ejemplo el bagazo del *Agave tequilana* Weber con 5,0 g/g⁷, fibra extraída por el método enzimático a partir de la maca (*Lipidium meyenii*) con 5,79 g/g²⁹, valores relativamente inferior al polvo de las HAA. Estos resultados, pueden ser explicados en parte al contenido del 15,9% de lignina¹³; pues este componente tiene la capacidad de unir moléculas hidrofóbicas, tal como la grasa y los ácidos biliares³⁰. En cambio, el endospermo de semilla de tara con el escaso contenido de fibra insoluble (1,6%) presenta una baja capacidad adsorber grasa. La capacidad de adsorción del aceite es importantes desde el

punto de vista del procesamiento de alimentos y del rol que puede cumplir en la fisiología del intestino. Para el primer caso, esta propiedad contribuye con la estabilización de emulsiones en alimentos formulados con altos porcentajes de grasa; de hecho, las fibras insolubles pueden retener el aceite hasta cinco veces de su masa inicial; propiedad que es ampliamente explotado en el procesamiento de productos cárnicos. Otra propiedad tecnológica es utilizada para la retención de aromas³¹. Desde el punto de vista fisiológico, la CAMO, es un buen predictor de la adsorción de colesterol, drogas, compuestos tóxicos y carcinógenos y sales biliares; haciendo posible su excreción por las heces. A la luz de estos resultados y las diferencias marcadas con respecto a otras fuentes de fibra, avizoran del polvo de las hojas de *Agave americana* un rol importante en la tecnología de procesamiento y los efectos fisiológicos benéficos ante una posible inclusión en la dieta.

Efectos fisiológicos de las dietas relacionados con la regulación del peso corporal

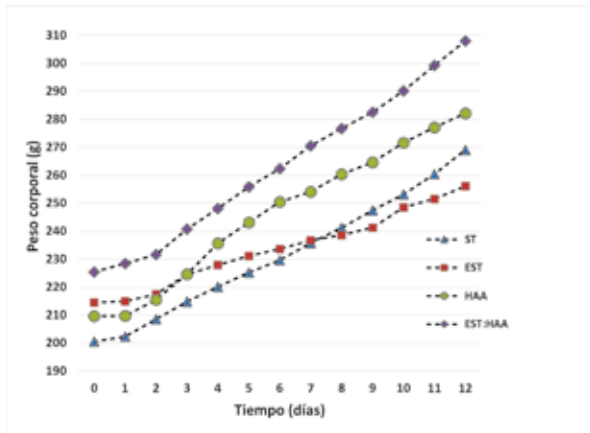
Los efectos fisiológicos de las dietas en ratas que contienen diferentes fuentes de fibra se presentan en la tabla 4. La dieta preparada con 6% del endospermo de semilla de tara tiene un contenido de 8,76 g/100 g de grasa, valor que duplica al salvado de trigo (4,06 g/100g) y al polvo de las hojas de *Agave americana* (4,48 g/100 g). De igual forma, las ratas alimentadas con la inclusión del EST, presentaron la menor ganancia de peso corporal en el periodo del experimento, en promedio de 4,63 g/día; sin embargo, éste valor no es significativamente diferentes con respecto a otras dietas (ST y HAA) a excepción con el tratamiento EST:HAA (1:1).

En la evolución del peso corporal de las ratas (Figura 1), se puede observar que en 12 días de suministro de dietas con 6% del EST, presenta una baja tendencia en el crecimiento con respecto a otras fuentes; inclusive de aquellos grupos que iniciaron con peso promedio inferior al grupo del EST, éstos superaron con una rapidez en la ganancia del peso corporal. Al mismo tiempo se puede observar que el grupo de animales alimentada con la dieta del EST:HAA (6%), es la que tuvo el mayor crecimiento en el periodo del experimento, seguido del 6% de HAA. Los reportes de otro trabajo de investigación en ratas alimentadas con fuentes de fibra: celulosa (control), β -glucanos de avena, fructo-oligosacáridos y pectina; dieron como resultado que el grupo de fibras solubles (pectina) y los fructo-oligosacáridos tuvieron la pendiente más baja en la ganancia de peso corporal; en cambio, la fibra insoluble (celulosa), tuvo la mayor ganancia de peso¹⁸. Estos resultados coinciden con el presente trabajo, pues el endospermo de semilla de tara (alto contenido de fibra soluble) tuvo un menor incremento de peso; en cambio, las hojas de *Agave americana* (alto contenido de fibra insoluble) tuvo efectos contrarios.

La literatura señala que las fibras solubles (goma guar, goma de algarrobo, β -glucanos, *psyllium*, pectina), incluyendo al endospermo de semilla de tara dentro de este grupo, todos ellos con altas capacidades de hidratación, forman

FIGURA 1

Evolución de la ganancia del peso corporal en ratas Holtzman con distintas fuentes de fibra dietética



soluciones viscosas del contenido del lumen^{8,32}. Prosiguiendo con este razonamiento, estudios con β-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 corporal¹⁸. En otro estudio con ratas obesas mediante la inclusión de arroz integral germinado (alto contenido en fibra), también presentaron una reducción en la ganancia del peso corporal³³.

Los altos contenidos de grasa fecal y una disminución en la ganancia del peso corporal de las ratas Holtzman, pueden ser explicados a través de diversos mecanismos. El primer mecanismo de regulación del peso por las fibras solubles son atribuidos a las propiedades para la formación de soluciones viscosas del contenido estomacal que provoca la distensión gástrica y estimula los receptores de tensión de la pared del estómago; propiedades relacionadas con la sensación de la saciedad³⁴. El segundo mecanismo es debido a la formación de soluciones viscosas del lumen que actúan como una barrera para la emulsión de la grasa y la consiguiente reducción de la actividad de las enzimas sobre la grasas. Este mecanismo disminuye la digestión y

absorción de los nutrientes en el intestino delgado y son excretados junto a las heces³²; afirmación anterior que coincide con los resultados del presente trabajo, donde se han identificado valores altos de grasa fecal en los animales alimentados con el EST.

El tercer mecanismo de regulación del peso corporal, inicia con la degradación de las fibras solubles hasta convertir en glucosa gracias a las bacterias del colon que fermentan y producen metabolitos tales como acetato, propionato y butirato, conocidos como ácidos grasos de cadena corta (AGCC)¹⁷. Los AGCC son potentes mediadores en células enteroendocrinas secretoras de las hormonas péptido tipo 1 similar al glucagón (GLP-1), péptido tirosina-tirosina (PYY), grelina y leptina. Las hormonas GLP-1 y PYY ejercen efectos anorexigénicos y envían señales de saciedad y la disminución del apetito al sistema nervioso central y por el contrario, la grelina actúa como promotor del apetito³⁵. Otro efecto de los AGCC es la reducción de los valores del pH fecal; pues al respecto existen estudios del consumo de inulina de *Agave* y fructo-oligosacáridos (prebióticos) en humanos, que promueven el crecimiento de las *bifidobacterias*, las que redujeron el pH fecal de 6,88 a 6,74^{24,36}. Bajo este contexto, es muy probable que el endospermo de semilla de tara (fibra soluble), estuvo utilizando este mecanismo para la reducción de la ingesta de alimentos y la disminución de la ganancia de peso corporal.

Efectos fisiológicos de las dietas relacionados con el tránsito intestinal

Los animales alimentados con la inclusión del 6% del polvo de las hojas de *Agave americana*, reportaron que el volumen fecal más elevado fue 4,94 cm³/día, valor que supera en aproximadamente 50% a las otras fuentes tal como el 6% de ST y 6% de EST. Además, se pudo observar una tendencia inversa entre el volumen fecal y tiempo de tránsito intestinal, pues las ratas alimentadas con el polvo de las HAA, han presentado menores tiempos (10,4 h), seguido por la dieta que contiene una formulación de 3% de EST y 3% de polvo de las HAA (11,4 h). El tiempo más prolongados fue para el 6% de EST con 15,2 h (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades fisiológicas de dietas con la inclusión de diferentes fuentes de fibra¹.

Dieta ¹	Contenido de grasa fecal (g/100 g)	Ganancia de peso (g/día)	Volumen fecal (cm ³ /día)	Tiempo de tránsito intestinal (h)
SA	4,06±0,29 ^{b,c}	5,71±1,36 ^{a,b}	2,62±0,21 ^c	14,9±1,10 ^a
EST	8,76±1,14 ^a	4,63±0,46 ^b	2,62±0,25 ^c	15,2±1,30 ^a
HAA	3,48±0,22 ^c	6,04±1,20 ^{a,b}	4,94±0,56 ^a	10,4±0,10 ^b
EST:HAA	5,47±0,78 ^b	6,88±1,01 ^a	3,59±0,32 ^b	11,4±0,90 ^b

¹Promedio de las características fisiológicas ± desviación estándar (n=4).

²Dietas de ratas Holtzman con la inclusión de: 6% de salvado de trigo (ST); 6% de endospermo de semilla de tara (EST); 6% de polvo de las hojas de *Agave americana* (HAA) y 6% de una mezcla de EST y HAA con una relación de 1:1.

Los valores altos en el volumen fecal y una disminución en el tiempo de tránsito intestinal por las hojas de *Agave americana*, coinciden con los fundamentos de las fibras insolubles o poco solubles, pues estudios con *Agave tequilana* Weber, pertenecientes a la misma familia, este último contiene el 85,8% de la fibra insoluble distribuidos en 64,8% de celulosa, 5,1% de hemicelulosa y 15,9% de lignina¹³. Estas moléculas son capaces de retener agua en su matriz estructural y formar mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa y volumen fecal que reduce el tiempo de tránsito intestinal^{32,37,38}, los que favorecen movimientos regulares y al peristaltismo²².

En consecuencia, el *Agave americana*, con sus valores altos en fibras insolubles, puede cumplir una función importante en los efectos fisiológicos relacionados con la salud intestinal, siendo uno de ellos el tratamiento y prevención de los problemas del estreñimiento, patología que se caracteriza por los movimientos poco frecuentes del intestino, dificultades en el paso de las heces, sensación incompleta y tiempos prologados². Por otra parte, también contribuye en la disminución del tiempo de contacto entre los potenciales carcinógenos y la mucosa del colon³⁸.

En trabajos más específicos con el salvado de trigo (45,6 % de fibra insoluble y 2,4% de fibra soluble), se han demostrado que tiene gran capacidad para incrementar la masa y volumen fecal, por consiguiente en la reducción del tiempo de tránsito intestinal comparado por ejemplo con la pectina, goma guar, salvado de avena y la propia celulosa²⁶. Esta última afirmación es coherente con los resultados de presente trabajo, puesto que el EST no tuvo efectos para reducir el tiempo de tránsito intestinal, por el contrario hubo un incremento hasta en un 50% en este indicador. Sin embargo, existen reportes de revisiones sobre las fibras solubles, que pueden contribuir en menor medida al volumen fecal como consecuencia del 80% de humedad de los microorganismos y la formación de los gases que son atrapados por la materia viscosa del colon. Los mecanismo de reducción del tiempo de tránsito son atribuidos principalmente a las moléculas de celulosa y hemicelulosa del salvado de trigo que suaviza y expande la materia fecal¹⁹.

Al efectuar una comparación de los resultados in-vitro e in-vivo del presente trabajo, existen contradicciones de los valores altos de CAA, CRA y CH (propiedades funcionales) versus los valores bajos en volumen fecal y tiempos prolongados de tránsito intestinal (efectos fisiológicos) por parte del EST; pues se preveía resultados con una relación positiva entre ellos. Esto puede ser justificado gracias a que las fibras solubles son disueltas y luego fermentadas por las bacterias del colon, lo que contribuye a la reducción de la masa fecal; en cambio, las fibras insolubles contribuyen significativamente en la reducción de tiempo de tránsito, gracias a que la microflora gastrointestinal no descompone con facilidad a estas fibras, entonces mantiene su masa e incrementa el volumen fecal²⁶.

Otro de los beneficios para la salud por la fibra dietética

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 las fibras insolubles, tal como de las hojas de *Agave* y los efectos indirectos como consecuencia de la degradación de las fibras solubles por los microorganismos y la formación de los AGCC³⁹. La fibra insoluble, acelera el tiempo de tránsito intestinal, lo que reduce el tiempo de formación y la absorción de los metabolitos tóxicos y la acción de los agentes carcinógenos⁵. Estudios de intervención en humanos 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 heces⁴⁰. Por otro lado, la lignina, componente importante en las hojas de *Agave* y considerada como inerte en la nutrición; al respecto, estudios con ratas confirman el efecto protector contra algunos tipos de cáncer, particularmente en el colon debido a la capacidad que tiene para unir hidrofólicamente a las sales biliares y reducir la formación de carcinógenos³⁰. En este sentido, la fibra de las hojas del *Agave*, con 64,8% de celulosa y 15,9% de lignina, puede convertirse en una alternativa para la prevención de estas enfermedades. El segundo mecanismo de protección del cáncer está relacionado con la microbiota intestinal, y es de particular importancia, puesto que las fibras solubles, que actúan como sustratos, pueden modificar el número y el tipo de bacterias (incremento del número de bifidobacterias en el colon) y el más importante es el cambio de las actividades metabólicas en términos de formación de genotoxinas, carcinógenos y promotores tumorales. Para este caso, las fuentes selectas de prebióticos, tales como la inulina, almidones resistentes y algunos oligosacáridos, actúan como sustrato para la producción de AGCC y con ello la reducción del pH intestinal³⁹. Estos mecanismos también pueden ser atribuidos al EST, gracias a su contenido de fibras solubles y fermentables, por lo que se recomienda estudios en esta dirección.

CONCLUSION

El estudio de las propiedades funcionales in-vitro reportaron que el endospermo de semilla de tara tiene un 32,2% de solubilidad, 45,0 y 47,9 g/g de capacidad de absorción y retención de agua (CAA y CRA) respectivamente y 46 ml/g de hinchamiento (CH), valores superiores al ST ($p < 0,01$); en cambio el HAA presentó 6,38 g/g de capacidad de adsorción del aceite (CAMO) respecto al 5,27 del ST ($p < 0,01$). Los estudios in-vivo demostraron que la inclusión del 6% del endospermo de semilla de tara en la dieta de ratas, incrementan en más del 50% en el contenido de grasa fecal ($p < 0,01$); sin embargo, no se pudo verificar para la ganancia del peso corporal ($p > 0,05$). El polvo de las hojas de *Agave americana*, ha contribuido en el incremento con más del 50% en el volumen fecal respecto al salvado de trigo; y por consiguiente con la disminución del tiempo de tránsito intestinal de 14,9 a 10,4 h.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), quienes a través del Convenio de Subvención N° 275-2015-FONDECYT, dieron el soporte financiero para la ejecución del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Reicks M. Jonnalagadda S. Albertson AM. Joshi N. 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, *Nut Res* 2014; 34(3): 226-234.
- Kranz S. Brauchla M. Slavin JL. Miller KB. 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* 2012; 3(1): 47-53.
- Jones JM. CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the "fiber gap", *Nutr J* 2014; 13(1): 1-10.
- Dahl WJ. Stewart ML. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: health implications of dietary fiber, *J Acad Nutr Diet* 2015; 115(11): 1861-1870.
- Dhingra D. Michael M. Rajput H. Patil RT. Dietary fibre in foods: a review, *J Food Sci Technol* 2012; 49(3): 255-266.
- Westenbrink S. Brunt K. van der Kamp JW. Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data, *Food Chem* 2013; 140(3): 562-567.
- Requena MC. González CNA. Barragán LAP. Correia T. Esquivel JCC. Herrera RR. Functional and physico-chemical properties of six desert-sources of dietary fiber, *Food Biosci* 2016; 16(1): 26-31.
- Mudgil D. Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber. A review, *Int J Biol Macromolec* 2013; 61: 1-6.
- Robin F. Schuchmann HP. Palzer S. Dietary fiber in extruded cereals: limitations and opportunities, *Trends Food Sci Tech* 2012; 28(1): 23-32.
- Alla SGA. Sen M. El Nagar AWM. Swelling and mechanical properties of superabsorbent hydrogels base on Tara gum/ acrylic acid synthesized by gamma radiation, *Carbohydr Polym* 2012; 89(2): 478-485.
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific Opinion on the re-evaluation of tara gum (E 417) as a food additive, *EFSA J* 2017; 15(6): 1-37.
- Avachat AM. Rakesh RD. Shrotriya SN. Recent investigations of plant based natural gums, mucilages and resins in novel drug delivery systems, *Indian J Pharm Educ* 2011; 45: 86-99.
- Li H. Foston M. Kumar R. Samuel R. Gao X. Hu, F. Wyman C. Chemical composition and characterization of cellulose for Agave as a fast-growing, drought-tolerant biofuels feedstock, *RSC Adv* 2012; 2(11): 4951: 4958.
- Zamora VM. Bello LA. Ortíz RI. Tovar J. Sáyo S. Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and in vitro starch hydrolysis, *LWT-Food Sci Technol* 2014; 56: 309-314.
- Zhang M. Liang Y. Pei Y. Gao W. Zhang Z. Effect of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber, *J Food Sci* 2009; 74(8): C628-C636.
- Chen Y. Ye R. Yin L. Zhang N. Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation, *J Food Eng* 2014; 120: 1-8.
- Ma MM. Mu TH. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin, *Food Chem* 2016; 194: 237-246.
- Adam CL. Williams PA. Dalby MJ. Garden K. Thomson LM. Richardson AJ. et al. Different types of soluble fermentable dietary fibre decrease food intake, body weight gain and adiposity in young adult male rats, *Nutr Metabolism* 2014; 11(1): 1-12.
- Hino S. Takemura N. Sonoyama K. Morita A. Kawagishi H. Aoe S. et al. 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* 2012; 142(8): 1429-1436.
- Datta AK. Sahin S. Sumnu G. Keskin SO. Porous media characterization of breads baked using novel heating modes, *J Food Eng* 2007; 79: 106-116.
- Kim JY. Son BK. Lee SS. Effects of adlay, buckwheat, and barley on transit time and the antioxidative system in obesity induced rats, *Nutr Res Pract* 2012; 6(3): 208-212.
- Eswaran S. Muir J. Chey WD. Fiber and functional gastrointestinal disorders, *Am J Gastroenterol* 2013; 108(5): 718-727.
- Gibson GR. Scott KP. Rastall RA. Tuohy KM. Hotchkiss A. Dubert A. et al. Dietary prebiotics: current status and new definition, *Food Sci Technol Bull Funct Foods* 2010; 7(1): 1-19.
- Holscher HD. Bauer LL. Gourineni V. Pelkman CL. Fahey GC. Swanson KS. Agave inulin supplementation affects the fecal microbiota of healthy adults participating in a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial, *J Nutr* 2015; 145(9): 2025-2032.
- Chung YC. Hsu CK. Ko CY. Chan YC. Dietary intake of xylooligosaccharides improves the intestinal microbiota, fecal moisture, and pH value in the elderly, *Nutr Res* 2007; 27(12): 756-761.
- Stevenson L. Phillips F. O'sullivan K. Walton J. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective, *Int J Food Sci Nutr* 2012; 63(8): 1001-1013.
- Quirós A. Palafox H. Sáyo S. Ayala J. Bello L. et al. Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestión, *Food & Function* 2014; 5(6): 1063-1072.
- Vilcanqui F. Vilchez C. Dietary fiber: New definitions, functional properties and health benefits, *Arch Latinoam Nutr* 2017; 67(2): 146-156.
- Chen J. Zhao Q. Wang L. Zha S. Zhang L. et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from maca (*Lepidium meyenii* Walp.) liquor residue, *Carbohydr Polym* 2015; 132(1): 509-512.
- Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?, *Nutr Res Rev* 2010; 23(1): 65-134.
- Yaich H. Garna H. Bchir B. Besbes S. Paquot M. et al. Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia, *Algal Res* 2015; 9(1): 65-73.
- Slavin J. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits, *Nutrients* 2013; 5: 1417-1435.
- Lim SM. Goh YM. Mohtarrudin N. Loh SP. Germinated brown rice ameliorates obesity in high-fat diet induced obese rats, *BMC Complem Altern M* 2016, 16(1): 1-11.
- Brum JM. Gibb RD. Peters JC. Mattes RD. Satiety effects of psyllium in healthy volunteers, *Appetite* 2016; 105(1): 27-36.

35. Devaraj S. Hemarajata P. Versalovic J. The human gut microbiome and body metabolism: implications for obesity and diabetes, *Clin Chem* 2013; 47(2): 421-434.
36. Kong X. Ferracane R. De Luca L. Vitaglione P. Salivary concentration of N-acyl ethanolamines upon food mastication and after meal consumption: Influence of food dietary fiber, *Food Res Int* 2016; 89(1): 186-193.
37. Ueberall MA. Muller S. Buschmann C. Bosse B. 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* 2011; 39(1): 41-50.
38. Escudero E. González P. La fibra dietética, *Nutr Hosp* 2006; 21(2): 61-72.
39. Otlés S. Ozgoz S. Health effects of dietary fiber, *Acta Sci Pol Technol Aliment* 2014; 13(2): 191-202.
40. Fuller S. Beck E. Salman H. Tapsell L. New Horizons for the study of dietary fiber and health: A review, *Plant Foods Hum Nutr* 2016; 71(1): 1-12.