

## **Efecto del consumo de harina de avena (avena sativa) y frijoles negros (phaseolus vulgaris) sobre la actividad de las disacaridasas intestinales en ratas**

### **Effect of the consumption of flour of oats (avena sativa) and black beans (phaseolus vulgaris) on the activity of intestinal disaccharidases in rats**

Morón, Mirla<sup>1</sup>; Carmona, Andres<sup>2</sup>; Ávila, Ana<sup>1</sup>; Hernández, Pablo<sup>1</sup>; Infante, Ramón<sup>1</sup>

1 Escuela de Nutrición y Dietética. Facultad de Medicina. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.

2 Instituto de Biología Experimental. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.

Recibido: 11/enero/2017. Aceptado: 1/abril/2017.

#### **RESUMEN**

**Objetivo:** En este trabajo se estudió el efecto de la ingesta crónica de harina de caraotas negras y harina de avena sobre la actividad de las disacaridasas intestinales en ratas.

**Metodología:** 15 ratas Sprague Dawley, con un peso inicial promedio de 85g se dividieron en tres grupos, un grupo control sin fibra, un grupo alimentado con harina de caraotas negras y un grupo con harina de avena por 21 días. Los animales fueron sacrificados, el intestino delgado se dividió en tres porciones (proximal, media, y distal), y se obtuvo un homogenato por raspado de la mucosa.

**Resultados:** La actividad de las disacaridasas se estimó mediante la determinación de glucosa por un método enzimático con peroxidasa. El orden de actividad enzimática fue Maltasa > Sacarasa > Lactasa, obteniéndose una mayor actividad en la región intestinal media para cada disacaridasa. El consumo de harina de caraotas produjo un incremento significativo en la actividad de la maltasa y sacarasa, en esta última, de más de un 100% en relación con el control. La suplementación de las dietas con avena produjo una disminución de la actividad de la sacarasa de un 40% y no produjo ningún efecto sobre la actividad de la maltasa y lactasa.

**Conclusiones:** Estos resultados señalan que el efecto que produce la ingesta crónica de fibra dietética sobre la actividad de las disacaridasas intestinales no se puede generalizar, cada enzima reacciona de manera particular frente a cada tipo de fibra, y puede variar además, según el segmento del intestino delgado estudiado.

#### **PALABRAS CLAVE**

Fibras dietarias, Disacaridasas, Sacarasa, Maltasa, Lactasa.

#### **ABSTRACT**

**Objective:** In this work was studied the effect of chronic intake of black beans flour and oat flour on the activity of the intestinal disaccharidases in rats.

**Methodology:** 15 Sprague Dawley rats, with an initial average weight of 85g were distributed, into three groups, a fiber free control group, a group fed with black beans flour and a group with oat flour for 21 days. Then, the rats were sacrificed and the small intestine was divided into three sections (proximal, medial, and distal). The homogenate was obtained by scraping the mucosa of each section.

**Results:** The activity of the disaccharidases was estimated by the glucose determination using peroxidase enzymatic method. The order of enzyme activity was maltase > Sucrase > lactase, obtaining a greater activity in the middle intestinal region for each disaccharidase. The consumption of beans flour produced a significant increase in the activity of maltase and sucrase, the latter, with more than 100% in relation to

#### **Correspondencia:**

Mirla Morón  
mormir1811@hotmail.com

control. Diets with oats supplementation resulted in a decrease of 40% sucrase activity and did not produce any effect on the activity of maltase and lactase.

**Conclusions:** These results indicate that the effect of chronic dietary fiber intake on the activity of intestinal disaccharidases cannot be generalized, each enzyme reacts in a particular way to each type of fiber and may also vary according to the segment of the small intestine.

## KEY WORDS

Dietary fibers, Disaccharidases, Sucrase, maltase and lactase.

## INTRODUCCIÓN

Desde la década de los setenta se comenzó a utilizar el concepto de fibra dietética (FD), el cual ha sido de gran interés para la nutrición humana. Sin embargo, su definición aún hoy permanece en discusión; produciéndose controversias sobre su concepto final<sup>1</sup>.

Las dos definiciones más reconocidas a nivel mundial son las establecidas por el Instituto de Medicina de EEUU<sup>2</sup> y la del Codex Alimentarius<sup>3</sup>, las cuales tienen como punto en común que reconocen a la fibra dietaria como carbohidratos que no son digeridos en el intestino delgado. Por su parte, el Instituto de Medicina reserva el término de fibra alimentaria sólo para aquellas fibras que son intrínsecas e intactas mientras que el Codex amplía la definición a las fibras añadidas que presentan una función fisiológica de fibra.

La FD, es un tema muy atractivo para los investigadores que trabajan en el área de la salud y la nutrición. En los últimos 15 años, se han reportados numerosos estudios epidemiológicos que relacionan el consumo de dietas pobres en FD con una mayor prevalencia de ciertas enfermedades crónicas tales como: estreñimiento, diverticulosis, cáncer de colon, obesidad, problemas cardiovasculares y diabetes. Sin embargo, los datos epidemiológicos que relacionan la disminución del riesgo de enfermedades crónicas con un consumo elevado de fibras son complejos y difíciles de valorar en parte porque no es fácil establecer el consumo de fibra de las distintas poblaciones<sup>1</sup>.

En este sentido, investigadores provenientes de diversas instituciones en diferentes partes del mundo, han dirigido sus esfuerzos en comprender los mecanismos por los cuales la FD, tiene un particular efecto fisiológico en los humanos para prevenir la aparición de ciertas enfermedades. El mayor enfoque que se le ha dado es cómo la fibra altera la absorción de macro y micronutrientes, y de ácidos biliares a lo largo del tracto gastrointestinal y las consecuencias bioquímicas de estas alteraciones<sup>4,5</sup>.

Estudios realizados utilizando alimentos que son fuente de fibra dietética así como fuentes de fibra aislada, han demos-

trado que la fibra presente en el proceso normal de digestión, no es digerida totalmente, produciendo cambios fisiológicos a lo largo del tracto gastrointestinal, modificando la consistencia de las heces y su volumen, así como la velocidad de tránsito intestinal<sup>6</sup>. Además se ha señalado que la fibra dietética o algunos de sus componentes, pueden modificar la absorción de nutrientes tales como carbohidratos, lípidos y cationes por un proceso de dilución de la fibra sobre el material alimentario o por alteraciones morfológicas del intestino delgado y efectos sobre la actividad de las disacarasas de la mucosa intestinal<sup>7,8</sup>. Un estudio realizado con fibra dietética purificada de *Phaseolus vulgaris* sobre la actividad *in vitro* de las disacarasas del intestino delgado en ratas, demostró una inhibición parcial sobre las enzimas sacarasa y maltasa<sup>9</sup>.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la ingesta de harina de avena y harina de frijoles negros sobre la actividad de las disacarasas intestinales en ratas.

## METODOLOGÍA

### Ensayo Biológico

#### Dietas

Para la preparación de las dietas se utilizó el grano de *Phaseolus vulgaris* (frijol negro, conocido en Venezuela como caraota), variedad "Tacarigua", el cual fue obtenido de un mercado local de la ciudad de Caracas. Los granos fueron limpios de sus impurezas y adicionados en agua en una proporción 3:1. Seguidamente se procedió a la cocción en una olla de presión por un tiempo de una hora, y luego se secaron en una estufa con circulación de aire, a una temperatura de 60° C durante 24 horas para su posterior molienda. La avena en hojuelas se molió cruda y luego se tamizó para ser añadida con los otros componentes de la dieta. La composición de la dieta control utilizada se basó en las recomendaciones del American Institute of Nutrition (1977), considerando que una dieta que aporta 18% de proteína de una calidad proteica como la utilizada, satisface los requerimientos de la rata<sup>10</sup>.

#### Animales

Se utilizaron 15 ratas machos de la cepa *Sprague Dawley*, con un peso inicial promedio de 85 g, los cuales fueron divididos al azar en tres grupos de cinco ratas cada uno. Un grupo fue alimentado con una dieta basal semi-purificada (grupo control) y los dos grupos experimentales restantes se diferenciaron del control, en que las dietas se suplementaron con harina de avena y harina de caraota negras cocidas en un 15%, que se restó al porcentaje de almidón añadido a la dieta (Ver Tabla 1). Los animales se mantuvieron en jaulas individuales, con comida y agua *ad libitum* y bajo condiciones controladas de luz y temperatura, por un período de 18 días. Los pesos de los animales, y la ingesta alimentaria se registraron en forma interdiaria, para el cálculo de la ganancia de peso y la estimación del coeficiente de eficiencia alimentaria (FER).

**Tabla 1.** Composición de las dietas experimentales (g/100 g de mezcla).

Ingredientes	Dieta Control	Dieta Harina Avena	Dieta Harina Caraota
Caseína	18	18	18
Aceite de maíz	8	8	8
Mezcla de vitaminas	1	1	1
Mezcla de minerales	4	4	4
Almidón de maíz	69	54	54
Harina de avena	-	15	-
Harina de caraota negra	-	-	15

a. Caseína libre de vitaminas de Harlan-Teklad. Madison Wisconsin USA.  
b. Mezcla AIN-76 de Harlan Teklad.

Finalizado el período de ingesta de las diferentes dietas, los animales se sacrificaron utilizando una atmósfera saturada de éter etílico. Posteriormente se removió el intestino delgado, irrigándolo de manera periódica con una solución fisiológica 0,15 M de cloruro de sodio fría.

Los intestinos fueron lavados usando esta misma solución a fin de remover completamente restos de alimentos. Una vez medidos y pesados los mismos, se dividieron en tres porciones iguales (proximal, media y distal). Cada segmento de intestino, fue abierto exponiendo la región luminal y se procedió inmediatamente a raspar la mucosa con un portaobjeto. El material intestinal obtenido, fue suspendido en un volumen equivalente a 4 veces su peso en una solución de cloruro de sodio fría, conteniendo fluoruro de fenilmetilsulfonil (PMSF) 5mM y 25 ug/ml de leupeptin. Estos últimos son inhibidores de proteasas. Luego se homogenizó en un potter-Elvehjem (luz: 0,006 pulgadas) durante dos minutos, con 10 pases a una velocidad aproximada de 1.725 r.p.m., luego los homogenatos se centrifugaron por 10 minutos a 5.000 r.p.m. a 4 °C. Las fracciones de sobrenadantes obtenidas, fueron trans-

feridas a viales y congeladas inmediatamente a -70 °C hasta su posterior análisis.

El homogenato obtenido fue utilizado para las determinaciones de la concentración de proteínas, de acuerdo a la metodología descrita por Lowry et al.<sup>11</sup>; y la determinación de la actividad enzimática de tres enzimas disacaridasas involucradas en la degradación de los carbohidratos (maltasa, sacarasa y lactasa). Para esto se incubaron los homogenatos con el sustrato correspondiente a la enzima, a una concentración final de 38mM.

Las reacciones fueron realizadas en buffer citrato de sodio 0,1 M, pH 6,3; excepto los ensayos de actividad de la lactasa, en cuyo caso, se uso buffer citrato de sodio 0,1M; pH 5,5. La mezcla de reacción, se incubó por 5 minutos a 37 °C, finalizado el tiempo la reacción se detuvo al colocar los tubos en un baño a 90 °C por 5 minutos. Posteriormente se tomó una alícuota de esta mezcla y se determinó su contenido de glucosa por el método enzimático<sup>12</sup>.

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente mediante análisis de varianza de una y dos vías, además de las determinaciones de media, desviación estándar y error estándar, utilizando el programa estadístico SPSS® en su versión 21.

## RESULTADOS

### Consumo y crecimiento

En la tabla 2 se muestran las variaciones de peso corporal de los animales, consumo de alimento y el índice de eficiencia alimentaria (FER), respectivamente.

La ingesta acumulativa de alimento y la ganancia relativa de peso fue significativamente mayor en los grupos alimentados con harina de avena y de caraota, en comparación con el grupo control. Sin embargo, el índice de eficiencia alimentaria, que determina el grado de eficiencia de una dieta como fuente de energía para un organismo, fue significativamente mayor al final del experimento para las ratas alimentadas con

**Tabla 2.** Crecimiento, Consumo de alimento y Eficiencia de las dietas en los diferentes tratamientos.

	Dieta Control	Dieta con Harina de Avena	Dieta con Harina de Caraota
Peso Inicial (g)	85,76 ± 14,11 <sup>a</sup>	85,37 ± 18,85 <sup>a</sup>	85,65 ± 27,09 <sup>a</sup>
Ganancia de Peso (g/18 días)	89,46 ± 8,56 <sup>a</sup>	119,75 ± 14,99 <sup>b</sup>	127,80 ± 11,07 <sup>b</sup>
Consumo de alimento (g/18 días)	233,69 ± 17,10 <sup>a</sup>	284,66 ± 20,41 <sup>b</sup>	271,22 ± 12,83 <sup>b</sup>
Eficiencia de la dieta (%/18 días)	38,6 ± 5,1 <sup>a</sup>	42,0 ± 4,4 <sup>a</sup>	47,2 ± 3,8 <sup>b</sup>

La tabla muestra el promedio y la desviación estándar de 5 animales. Los valores en una misma fila con letras distintas son estadísticamente significativos, aplicando la prueba paramétrica ANOVA de dos factores (p < 0,05).

harina de caraotas negras, seguido por el grupo alimentado con harina de avena, aunque esta última no fue estadísticamente diferente de la dieta control.

### Actividad de las disacaridasas intestinales de ratas

En la tabla 3 se presentan los valores correspondientes a la actividad específica (mg glucosa/ mg proteína/5 minutos) de la maltasa, sacarasa, y lactasa en las tres secciones en que se dividió el intestino (proximal, medio, y distal), según el tipo de dieta administrada.

Al evaluar el efecto producido por los dos tipos de dietas utilizadas (avena y caraota) sobre la actividad enzimática de la maltasa en las tres regiones intestinales estudiadas, se encontró que la inclusión de caraota produjo un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) de la actividad específica de la enzima en las secciones proximal y media en un 73,33% y 16%, respectivamente, en relación a la dieta control; mientras que la inclusión de harina de avena no produjo ningún efecto sobre la actividad de la maltasa en las tres secciones intestinales estudiadas.

En relación a la distribución de actividad de la maltasa en las tres secciones intestinales, pudimos constatar que la mayor actividad de la enzima se registró en la sección intestinal media, seguida por la sección distal. Mientras que para la sección proximal, la actividad enzimática fue significativamente mayor únicamente en la dieta con harina de caraota (Figura 1).

Con relación a la sacarasa, la actividad de esta enzima al igual que la maltasa se incrementó significativamente en las secciones proximal y media en el grupo de ratas alimentadas con caraota, siendo sustancialmente mayor en la sección proximal en más de un 100% y de un 57,1% aproximadamente en la sección media, mientras que en la sección distal el efecto de la suplementación con harina de caraota fue contrario, produciéndose una disminución en un 21% de la actividad de la sacarasa, en relación con el control. No obstante la suplementación de las dietas con harina de avena produjo una disminución significativa de la actividad de la sacarasa en las secciones media y distal de un 42,8% y 47,36% respectivamente, en comparación con el control.

Al comparar la distribución de la actividad de la sacarasa en las tres secciones intestinales (Figura 2), se encontró la misma tendencia que para la maltasa observándose que la mayor actividad de la sacarasa se registró en la sección intestinal media, específicamente en el grupo alimentado con caraota, seguida por la sección distal, en los grupos controles y suplementados con harina de avena.

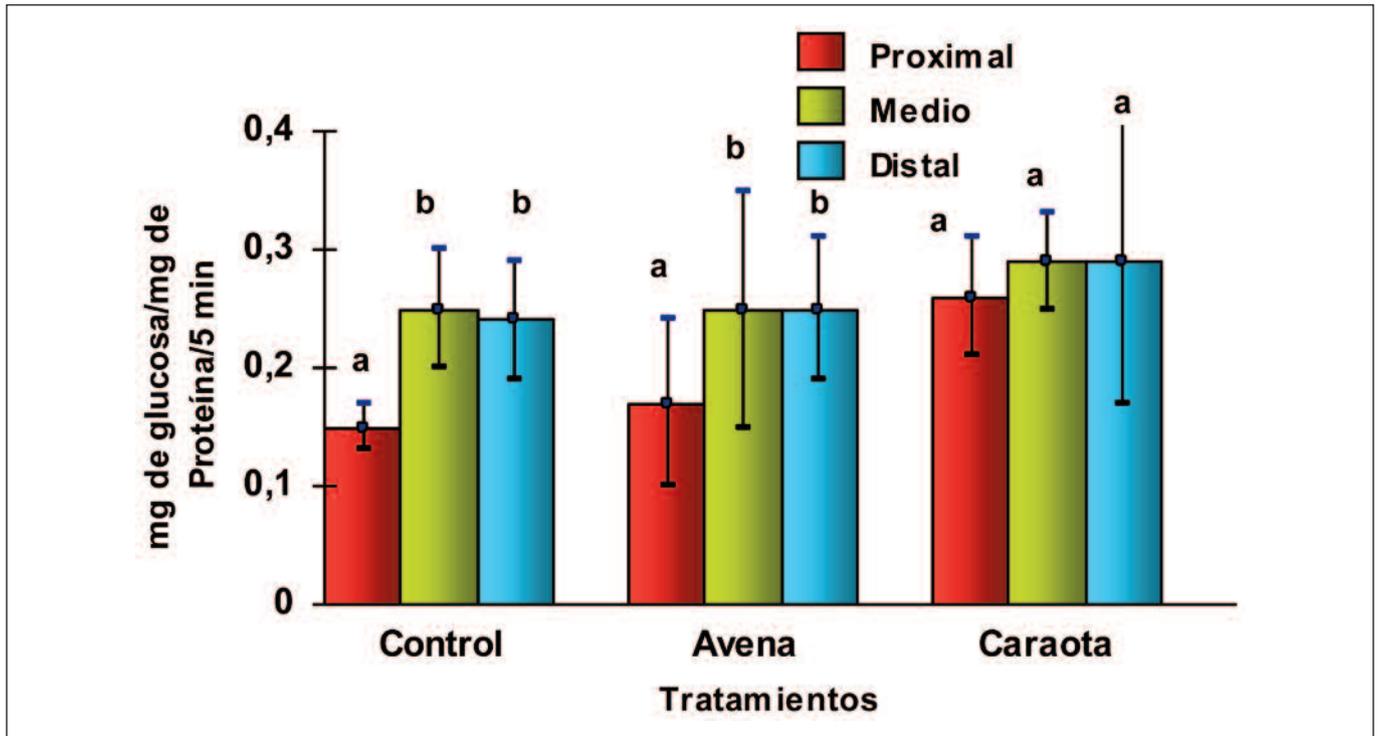
En relación a la actividad enzimática de la lactasa en la tabla 3 puede observarse que las dietas con harina de avena o caraota no afectaron significativamente la actividad de la enzima en las secciones proximal y media, mostrando un comportamiento similar al grupo control, mientras que en la sección distal ambos tipos de materiales fibrosos (avena y caraota) produjeron una disminución significativa ( $p < 0,01$ ) de la actividad de la lactasa, siendo esta disminución de un 40% en las ratas alimentadas con harina de avena, y de un

**Tabla 3.** Actividad enzimática (mg Glucosa/mg de Proteína/5 min) de las disacaridasas en las secciones intestinales, según el tipo de dieta administrada.

Enzima	Sección Intestinal	Tipo de dieta		
		Control	Avena	Caraota
Maltasa	Proximal	0,15 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,26 ± 0,05 <sup>b</sup>
	Media	0,25 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,04 <sup>b</sup>
	Distal	0,24 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,12 <sup>a</sup>
Sacarasa	Proximal	0,05 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,11 ± 0,02 <sup>b</sup>
	Media	0,14 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,22 ± 0,04 <sup>c</sup>
	Distal	0,19 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,10 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,15 ± 0,07 <sup>c</sup>
Lactasa	Proximal	0,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,02 <sup>a</sup>
	Media	0,13 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,10 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,02 <sup>a</sup>
	Distal	0,15 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,11 ± 0,03 <sup>b</sup>

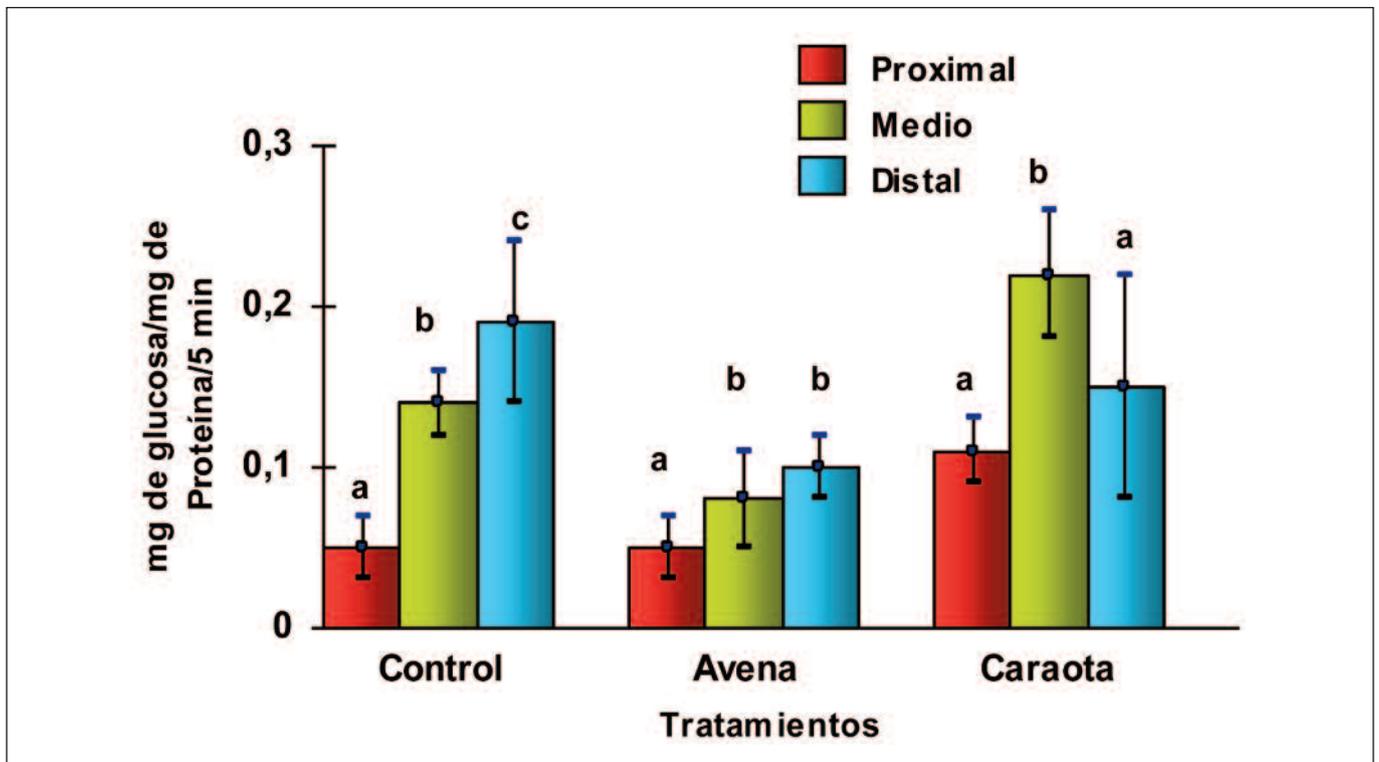
\* La tabla muestra el promedio y la desviación estándar de 5 animales. Los valores en una misma fila con letras distintas son estadísticamente significativos, aplicando la prueba paramétrica t-student y la no paramétrica Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

**Figura 1.** Distribución de la actividad enzimática de la maltasa en las tres secciones intestinales, según tipo de tratamiento.



\* Los valores con letras distintas presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

**Figura 2.** Distribución de la actividad enzimática de la sacarasa en las tres secciones intestinales, según tipo de tratamiento.



\* Los valores con letras distintas presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

26,6 % aproximadamente en el grupo de ratas alimentadas con harina de caraota.

Al considerar la distribución de la actividad de la lactasa en las tres secciones intestinales (Figura 3), encontramos que para el grupo control sin fibra la mayor actividad de la lactasa se registró en la sección distal, mientras que en los grupos alimentados con harina de avena o caraota las mayores actividades se registraron en la sección intestinal media.

El análisis estadístico permitió confirmar el efecto inhibitorio de ambos residuos fibrosos (avena y caraota) sobre la actividad de la lactasa en la sección distal del intestino, la disminución de la actividad enzimática fue significativa ( $p < 0,01$ ), con respecto a la actividad enzimática del grupo control tratado sin fibra. Este efecto inhibitorio no se observó en las actividades de lactasa correspondiente a las secciones proximal y media. (Tabla 3 y Figura 3).

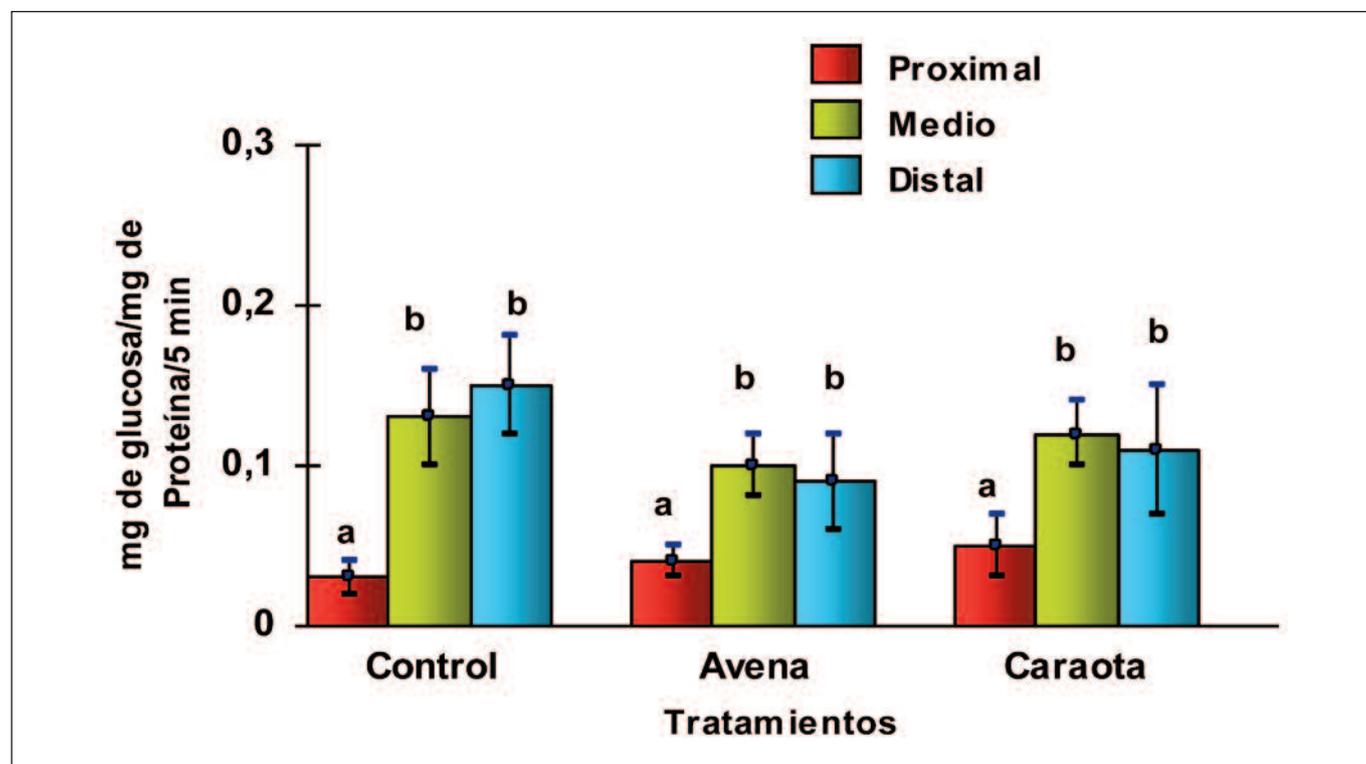
## DISCUSIÓN

El aumento en la ganancia de peso al concluir el período experimental puede atribuirse al mayor consumo de alimento de las dietas con harina de avena o harina de caraota. Mientras que el incremento en la eficiencia alimentaria de la dieta con caraota pudo deberse al contenido proteico de la misma. Ya que esta última a diferencia de la avena presenta un contenido mayor de metionina y se conoce que

la caseína tiene como limitante a este aminoácido<sup>13</sup>. Por lo tanto, es posible que la harina de caraota haya compensado la deficiencia marginal de metionina, con la cual mejora la composición del pool de aminoácidos disponibles para promover el crecimiento de los animales y explicaría la diferencia en el aumento del índice de eficiencia alimentaria. Estos resultados están en concordancia a los encontrados por los autores en un estudio previo<sup>14</sup>, en el que se evaluó el efecto de la suplementación de casabe como fuente de fibra, encontrándose que la ganancia relativa de peso corporal y el consumo promedio de alimento fue significativamente mayor en comparación con los animales alimentados con dieta libre de casabe. Sin embargo, al comparar el índice de eficiencia alimentaria, se encontró que no hubo diferencias significativas entre los grupos. En contraste, con estos resultados, el estudio de Cao et al.<sup>15</sup>, en el que se evaluaron los mecanismos inhibitorios del factor TGF- $\beta$  sobre el epitelio intestinal en ratas alimentadas con pectina al 20% como fuente de fibra, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento y el aumento de peso en comparación con el grupo control.

En relación con los resultados encontrados en la actividad enzimática, es importante señalar que al comparar el orden de actividad de las tres disacaridasas intestinales estudiadas se encontró que la maltasa fue la enzima que mostró mayor actividad enzimática, seguida por la sacarasa, y por último la

**Figura 3.** Distribución de la actividad enzimática de la lactasa en las tres secciones intestinales, según tipo de tratamiento.



\* Los valores con letras distintas presentan una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

lactasa; siendo este orden similar en las tres secciones intestinales estudiadas.

Los resultados obtenidos en este estudio están en concordancia con los resultados encontrados en otros trabajos *in vivo* que determinaron el efecto de la suplementación de dietas con pectina sobre la actividad de las disacaridasas intestinales de ratas, quienes reportaron un incremento significativo de la actividad enzimática de la maltasa y sacarasa en comparación con los grupos tratados sin fibra<sup>16</sup>.

Koruda<sup>17</sup> también evaluó el efecto de la suplementación de dietas con pectinas sobre la actividad de las disacaridasas intestinales en ratas con recesión intestinal, observando que las ratas alimentadas con las dietas elementales suplementadas con pectina al 2%, se incrementaba la capacidad de adaptación de las enzimas a la recesión intestinal con un aumento significativo en la actividad de las disacaridasas en el segmento yeyunal, en comparación con las ratas alimentadas con dietas libres de pectina.

En contraste, Thomsen y Tasma<sup>18</sup>, luego de someter a un grupo de ratas a una ingesta crónica de fibra por varias semanas, encontraron una disminución significativa de la actividad de la maltasa en relación a los grupos controles alimentados sin fibra.

Los estudios realizados por Khokhar<sup>19</sup>, donde se evaluó el efecto que tenían diferentes tipos de fibra dietética (guayaba, Isabgol® un polisacárido mucilaginoso y repollo, sobre la actividad de las disacaridasas intestinales de ratas, mostraron un descenso significativo ( $p < 0,01$ ) de la actividad de la maltasa en todos los grupos alimentados con fibra. También, Nandini et al.<sup>20</sup>, reportaron que en un grupo de ratas diabéticas sometidas a dietas ricas en afrecho de trigo y goma guar, la actividad de la maltasa se encontraba substancialmente disminuida en los grupos de ratas alimentadas con estas dos fuentes de fibra, en relación con los controles alimentados sin fibra dietética.

Los resultados encontrados sobre la actividad específica de la sacarasa, coinciden con los señalados por Jonson y Gee<sup>21</sup>, quienes reportaron que la ingesta crónica de fibra producía un incremento en la actividad de la sacarasa. También Farnees y Schneeman<sup>22</sup>, y posteriormente Calvert et al.<sup>23</sup>, encontraron un incremento en la actividad de la sacarasa en ratas alimentadas con dietas con distintos tipos de materiales fibrosos.

Sin embargo, los hallazgos encontrados por Oku et al.<sup>24</sup>, y Thomsen y Tasman<sup>18</sup>, quienes utilizaron fibra soluble en las dietas (pectinas), señalaron una disminución de la actividad de la maltasa y sacarasa, utilizando experimentos *in vivo* con ratas.

Khokhar<sup>19</sup> también determinó el efecto que tenían diferentes tipos de fibras sobre la actividad enzimática de las disacaridasas intestinales. Encontrando un descenso significativo ( $p < 0,05$ ) de la actividad de la sacarasa en los grupos

de animales alimentados con dietas a base de guayaba y repollo. Mientras que, los animales alimentados con Isabgol® (un polisacárido mucilaginoso) mostraron un incremento de la misma. Más recientemente, el trabajo realizado por Chen et al.<sup>25</sup> en el cual se evaluó el efecto de varias fuentes de fibra sobre la actividad de las enzimas digestivas en cerdos destetados, encontró una marcada disminución en la actividad de la sacarasa en los animales alimentados con fibra de maíz y soya. La actividad de la sacarasa inferior en los cerdos alimentados con estas fuentes de fibra podría estar relacionada con la altura de las vellosidades inferiores. Sin embargo, no se observó este efecto para la maltasa y la lactasa.

Se sabe que la atrofia de las vellosidades se asocia con actividades reducidas de las enzimas digestivas<sup>26</sup> por lo que vellosidades más largas se corresponden con actividades de las disacaridasas más altas, debido al aumento de la madurez de los enterocitos<sup>27</sup>. Otro mecanismo que pudiera explicar la reducción de la actividad de la sacarasa encontrada en este estudio sería el propuesto por Cassidy<sup>28</sup>, quien señaló que algunos tipos de fibra soluble sobre todo aquellas de carácter gelificantes producen un aumento en la descamación de las vellosidades intestinales. Este efecto abrasivo puede traer como consecuencia una disminución en la síntesis de enzimas, así como una reducción de la superficie intestinal capaz de absorber nutrientes.

Sin embargo, lo que si se puede afirmar con los resultados de este trabajo es que el efecto de inhibición o de estimulación de la actividad de la sacarasa mediado por la fibra dietética, dependió enormemente del tipo de fibra utilizado, así como del segmento intestinal estudiado, encontrándose en los mismo una estimulación fuerte de la actividad de la enzima por efecto de la fibra de caraota especialmente en las secciones proximal y media, mientras que la fibra de avena produjo una disminución de la actividad de la sacarasa en las secciones media y distal.

Otro aspecto importante de resaltar de estos resultados es que en comparación con las otras disacaridasas estudiadas la lactasa fue la enzima que mostró menor actividad en las tres secciones intestinales, siendo significativamente más baja en la sección distal por efecto de los dos tipos de fibra utilizados.

En estudios *in vivo* y específicamente en ratas neonatas, se ha reportado que la actividad de la lactasa es alta, pero a las siguientes dos semanas declina rápidamente a niveles relativamente bajos de actividad. La caída en la actividad de la lactasa coincide con la aceleración de reemplazo de células epiteliales<sup>29</sup>.

Esto pudiera explicar en este estudio la baja actividad mostrada por la lactasa en las tres secciones intestinales estudiada, si consideramos que las ratas utilizadas en el mismo fueron ratas adultas. Estos autores sugieren que la expresión de la lactasa yeyunal puede ser modulada por: ajuste en la

edad de las células de las microvellosidades intestinales, requeridas para su máxima expresión, alteración del nivel de lactasa en las células de las vellosidades, cambios en el recambio de la tasa de lactasa que contienen las células epiteliales fructosa y una disminución de la actividad de la lactasa, mientras que en ratas y ratones no se detecta la sacarasa pero la lactasa expresa su actividad máxima<sup>30</sup>.

Otros autores como Kelly et al.<sup>31</sup> también han planteado que la pérdida de la actividad de la lactasa esta asociada con la supresión de la regulación genética de la tasa de síntesis, y cambios citogenéticos, con reducida vida media en los enterocitos. Además señalaron que eventos de postransducción, que incluyen glucosilación y catabolismo de proteína, pueden también tener algún papel en esta disminución de actividad de la lactasa.

Los estudios *in vivo* realizados por Thomsen y Tasman<sup>18</sup>, por Rodríguez et al.<sup>32</sup> por Khokhar<sup>19</sup> y posteriormente por Chen et al.<sup>25</sup>, también mostraron una disminución de la actividad enzimática de la lactasa causada por dietas con muy alto contenido de fibra.

En cuanto al incremento observado en la actividad de la lactasa en la región proximal, estos resultados discrepan con los reportados por Jonson y Gee<sup>21</sup>. Ellos reportaron una disminución de la actividad de dicha enzima, en animales alimentados con dietas a base de fibra. Para tratar de explicar estas discrepancias, Jonson y Gee, proponen que la expresión de la actividad enzimática del borde de cepillo del intestino delgado esta sometido a diversas presiones regulatorias.

Según estos autores, cuando un individuo se somete a una ingesta crónica de fibra, ocurre una reducción en la vida media de las células del epitelio intestinal. Así, se incrementa la producción de nuevas células en la cripta de la vellosidad, mientras que se acorta el tiempo disponible para el desarrollo de la actividad enzimática. De esta forma la cantidad de cada enzima, variará dependiendo de la tasa relativa a la cual se expresa su actividad durante la maduración de los enterocitos.

Por otra parte, Goda et al.<sup>33</sup> proponen, que existe una regulación de las disacaridasas del borde de cepillo, por los carbohidratos del lumen, esto significa que al someter a un organismo a una ingesta crónica de un disacárido, el organismo responde con un incremento en la disacaridasa encargada de hidrolizar a este azúcar.

En este orden de ideas, Melito<sup>34</sup> reportó una disminución de la actividad enzimática de las disacaridasas maltasa, sacarasa y lactasa en ratas alimentadas con material fibroso (celulosa, goma arábica y afrecho de arroz), sin embargo, al incubar las enzimas *in vitro* observó que la lactasa presentaba una actividad enzimática mayor en relación a las otras dos disacaridasas.

## CONCLUSIONES

Existe un efecto de la ingesta crónica de fibra dietética sobre las disacaridasas de la mucosa intestinal. Sin embargo, no se puede generalizar. Cada enzima reacciona de manera particular, frente a cada tipo de fibra utilizada, sus niveles en las dietas experimentales ensayadas, el tiempo de duración de los experimentos, etc. Los resultados de este trabajo, muestran claramente, que la lactasa es la disacaridasa de menor actividad, en todas las secciones intestinales; cuando la comparamos con la actividad de las otras disacaridasas estudiadas.

Se requiere de más estudios sobre la actividad de la lactasa en presencia de residuos fibrosos o de fibra dietética tanto en modelos con animales como en estudios con humanos, ya que, el comportamiento de esta disacaridasas en los trabajos revisados hasta el momento, son contradictorios.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela por el apoyo y aporte financiero con el proyecto individual número 09-13-5146-03, así como también al Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas y Nutricionales del Instituto de Biología Experimental, de la Universidad Central de Venezuela, por el apoyo logístico durante la fase experimental.

## REFERENCIAS

1. Howlett J, Betteridge V, Champ M, Craig S, Meheust A, Miller-Jones J. The definition of dietary fiber - discussions at the Ninth Vahouny Fiber Symposium: building scientific agreement. *Food Nutr Res.* 2010; 54: 5750.
2. The National Academies of Science, Institute of Medicine. *Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids.* Washington, DC: National Academies Press; 2002. p. 339–61.
3. Alimentarius CODEX (CODEX). *Guidelines on nutrition labeling CAC/GL 2–1985 as last amended 2010.* Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Secretariat of the CODEX Alimentarius Commission, Rome: FAO; 2010.
4. Bingham SA. 10 The Congress of the European Society of parenteral and enteral nutrition. Leipzig, Germany. 1988; 10: 215-221.
5. Slavin JL. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc.* 2008;108(10): 1716-31.
6. Slavin J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients.* 2013; 5(4): 1417–1435.
7. Tovar JR. Fibra dietética: Riesgos Nutricionales. *AVFT.* 1986; 5: 126-132.
8. Shah M, Chandalia M, Adams-Huet B, Brinkley LJ, Sakhaee K, Grundy SM et al. Effect of a high-fiber diet compared with a mod-

- erate-fiber diet on calcium and other mineral balances in subjects with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2009;32(6):990-5.
9. Infante B, García O, Carmona A, Rivera C. Effect of legume dietary fiber on rat disaccharidase activity in vitro. *Nutr Food Sci*. 2008;38(4):316-324.
  10. American Institute of Nutrition. Report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Committee on Standards for nutritional studies. *J Nutr*. 1997; 107(7):1340-48.
  11. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randal R. Methods of determination of proteins. *J Biol Chem*. 1951; 193: 265-266.
  12. Trinder P. Methods of enzymatic analysis glucose. *Ann Clin Biochem*. 1969; 6: 24.
  13. Chiji H, Harayama K, Kiriya S. Effects of feeding rats low protein diets containing casein or soy protein isolate supplemented with methionine or oligo-L-methionine. *J Nutr*. 1990; 120(2):166-71.
  14. Morón M, Ávila A, Hernández P. Efecto del consumo de casabe venezolano sobre la absorción de minerales en un modelo experimental con ratas. *INHRR*. 2013; 44(2): 21-28.
  15. Cao Y, Gao X, Zhang W, Zhang G, Nguyen AK, Liu X, et al. Dietary fiber enhances TGF- $\beta$  signaling and growth inhibition in the gut. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2011;301(1):G156-64.
  16. Chun W, Bamba T, Hosada S. Effect of pectin a soluble dietary fiber, on functional and morphological parameters of the small intestine in rats. *Digestion*. 1989; 42 (1): 22-29.
  17. Koruda MJ, Rolandelli RH, Settle RG, Rombeau JL. Small bowel disaccharidase activity in the rat as affected by intestinal resection and pectin feeding. *Am J Clin Nutr*. 1988; 47(3): 448-53.
  18. Thomsen LL, Tasman-Jones C. Disaccharidase levels of the rat jejunum are altered by dietary fibre. *Digestion*. 1982; 23(4): 253-8.
  19. Khokhar S. Dietary fibers: their effects on intestinal digestive enzyme activities. *J Nutr Biochem*. 1994; 5(4):176-180.
  20. Nandini C, Sambaiah K, Salimath P. Effect of dietary fibre on intestinal and renal disaccharidases in diabetic rats. *Nutr Res*. 2000; 20(9):1301-1307.
  21. Johnson IT, Gee JM. Gastrointestinal adaptation in response to soluble non-available polysaccharides in the rat. *Br J Nutr*. 1986; 55(3):497-505.
  22. Farness PL, Schneeman BO. Effects of dietary cellulose, pectin and oat bran on the small intestine in the rat. *J Nutr*. 1982; 112(7):1315-9.
  23. Calvert R, Schneeman BO, Satchithanandam S, Cassidy MM, Vahouny GV. Dietary fiber and intestinal adaptation: effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities. *Am J Clin Nutr*. 1985; 41(6):1249-56.
  24. Oku T, Konishi F, Hosaya N. Mechanism of inhibitory effect of unavailable carbohydrate on intestinal calcium absorption. *J Nutr*. 1982; 112: 410-415.
  25. Chen H, Mao X, Yin J, Yu B, He J, Che L, et al. Comparison of jejunal digestive enzyme activities, expression of nutrient transporter genes, and apparent fecal digestibility in weaned piglets fed diets with varied sources of fiber. *J Anim Feed Sci*. 2015; 24(1):41-47.
  26. Hedemann MS, Eskildsen M, Laerke HN, Pedersen C, Lindberg JE, Laurinen P, et al. Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. *J Anim Sci*. 2006; 84(6):1375-86.
  27. Pluske JR, Thompson MJ, Atwood CS, Bird PH, Williams IH, Hartmann PE. Maintenance of villus height and crypt depth, and enhancement of disaccharide digestion and monosaccharide absorption, in piglets fed on cows' whole milk after weaning. *Br J Nutr*. 1996; 76(3):409-22.
  28. Cassidy MM, Lightfoot BS, Grau LE, Story JA, Kritchevsky D, Vahoney GV. Effect of chronic intake of dietary fibers on the ultrastructural topography of rat jejunum and colon: A scanning electron microscopy study. *A Clin Nutr*. 1981; 34(2):218-228.
  29. Yeh KY, Yeh M, Holt PR. Intestinal lactase expression and epithelial cell transit in hormone treated suckling rats. *Am J Physiol*. 1991; 260:G379-84.
  30. Nanda N. Regulation of functional development of the small intestine. In: *Gastrointestinal Functions*. Edit. Delvin, Lentze M. Nestlé Nutrition Workshop series Pediatric program 2001; 46:227-34.
  31. Kelly D, King TP, McFadyen M, Travis AJ. Effect of lactation on the decline of Brush border lactase activity in neonatal pigs. *Gut*. 1991; 32(4):386-92.
  32. Rodríguez A, Abreu M, Hernández T, Padrón MH, Morán JL. Efecto de la ingestión de pan integral sobre la actividad disacaridásica intestinal en ratas. *Rev Cubana Aliment Nutr*. 1989; 42:22-29.
  33. Goda T, Bustamante S, Thornburg W, Koldousky O. Dietary induced increase in lactase activity and in immunoreactive lactase in adult rat jejunum. *Biochemical Journal*. 1984; 221: 261-263.
  34. Melito C. Efecto crónico y agudo de la fibra dietética sobre la actividad de las hidrolasas intestinales. [Trabajo de Especial de Grado] Caracas: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. 1988.