



Original/Síndrome metabólico

## Efecto del consumo de panes integrales con amaranto (*Amaranthus dubius* Mart; ex Thell;) sobre la respuesta glicémica y parámetros bioquímicos en ratas *Sprague dawley*

Keyla Carolina Montero-Quintero<sup>1</sup>, Rafael Moreno-Rojas<sup>2</sup>, Edgar Alí Molina<sup>1</sup>, Máximo Segundo Colina-Barriga<sup>3</sup> y Adriana Beatriz Sánchez-Urdaneta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad del Zulia, Venezuela. <sup>2</sup>Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, España. <sup>3</sup>Programa de Formación en Panadería, Universidad del Zulia, Venezuela. <sup>4</sup>Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela.

### Resumen

**Introducción:** La incorporación de ingredientes funcionales como el amaranto (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) en la elaboración de pan es una estrategia para aumentar el consumo de fibra, el cual está relacionado con efectos beneficiosos para la salud, mejorando la respuesta glicémica y el perfil lipídico.

**Materiales y métodos:** Treinta ratas machos *Sprague dawley* se distribuyeron al azar en tres grupos: dieta de pan con 0% de amaranto (PA0, control), dieta de pan con 10% de amaranto (PA10) y dieta de pan con 20% de amaranto (PA20) para determinar el consumo de alimento, ganancia en peso, triglicéridos, colesterol total, VLDL-C, LDL-C, HDL-C, proteínas y la respuesta glicémica postprandial. Los datos fueron analizados a través de un análisis completamente aleatorizado con 10 repeticiones, utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey para los parámetros bioquímicos. La respuesta glicémica postprandial fue analizada por el método de medidas repetidas en el tiempo.

**Resultados y discusión:** La ingesta diaria y la ganancia de peso no se afectó ( $p>0,05$ ) en los grupos con PA10 y PA20. La concentración de glucosa, triglicéridos y proteína presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p>0,05$ ) por la diferencia de contenido de amaranto de las dietas. Los valores de colesterol total, LDL-C, factor de riesgo e índice aterogénico presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p>0,05$ ) resultando el grupo de menor valor el formado por PA10 y PA20. En los grupos PA10 y PA20 el pico de hiperglucemia y la fase de hiperglucemia total fue más bajo, mostrando una mejor respuesta glicémica.

### EFFECT OF CONSUMPTION OF BREAD WITH AMARANTH (*AMARANTHUS DUBIUS* MART. EX THELL.) ON GLYCEMIC RESPONSE AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN *SPRAGUE DAWLEY* RATS

#### Abstract

**Introduction:** The incorporation of functional ingredients like amaranth (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) in bread making is a strategy to increase fiber intake, which is associated with beneficial health effects, improving glycemic response and lipid profile.

**Materials and methods:** Thirty male *Sprague dawley* rats were randomized into three groups: diet of bread with 0% amaranth (PA0, control), diet of bread with 10% amaranth (PA10) and bread diet with 20% amaranth (PA20) for determining the feed intake, weight gain, triglyceride, total cholesterol, VLDL-C, LDL-C, HDL-C, protein and postprandial glycemic response. Data were analyzed using a completely randomized with 10 replications analysis, using the comparison test of Tukey for biochemical parameters. Postprandial glycemic response was analyzed by the method of repeated measures over time.

**Results and discussion:** The daily intake and weight gain was not affected ( $P>0.05$ ) in the groups with PA10 and PA20. The concentration of glucose, triglycerides and protein showed statistically significant differences ( $P>0.05$ ) by the difference in content of amaranth diets. The values of total cholesterol, LDL-C, and atherogenic risk factor index were statistically significant ( $P<0.05$ ) resulting goodwill group formed by PA10 and PA20. PA10 and PA20 in the hyperglycemic peak groups and the total phase hyperglycemia were lower, showing a better glycemic response.

**Correspondencia:** Rafael Moreno-Rojas.  
Dpto. Bromatología y Tecnología de los Alimentos.  
Universidad de Córdoba.  
140114 Córdoba, España.  
E-mail: rafael.moreno@uco.es

Recibido: 19-VI-2014.  
Aceptado: 23-VII-2014.

**Conclusión:** el amaranto podría ser utilizado como ingrediente funcional en la elaboración de panes ya que permitió mejorar el perfil lipídico así como la respuesta glicémica postprandial.

(*Nutr Hosp.* 2015;31:313-320)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7695

Palabras clave: Pan. Amaranto. Perfil lipídico. Respuesta glicémica. Fibra.

**Conclusion:** amaranth could be used as a functional ingredient in breads working as it improved the lipid profile and postprandial glycemic response.

(*Nutr Hosp.* 2015;31:313-320)

DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7695

Key words: Bread. Amaranth. Lipid profile. Glycemic response. Fiber.

## Abreviaturas

ELN: Extracto libre de nitrógeno  
NDT: Nutrientes digeribles totales  
PA0: Dieta de pan con 0 % de amaranto (control)  
PA10: Dieta de pan con 10 % de amaranto  
PA20: Dieta de pan con 20 % de amaranto  
GLU: Glucosa  
CT: Colesterol total  
TG: Triglicéridos  
HDL-C: Lipoproteínas de alta densidad  
LDL-C: Lipoproteínas de baja densidad  
VLDL-C: Lipoproteína de muy baja densidad  
PRO: Proteína

## Introducción

El pan es un producto de consumo habitual en todo el mundo y contribuye en muchos países entre el 45 al 60% de la energía de la dieta, fundamentalmente debido a su contenido en carbohidratos; concretamente almidón. A pesar de ello, por su composición, en ocasiones el pan ha sido tachado de producto de escaso valor nutricional<sup>1</sup>.

En los últimos años diversas investigaciones han buscado mejorar el valor comercial y nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales, para lo cual se están utilizando cereales en grano, harinas integrales, la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética<sup>2,3</sup>.

Dado el habitual bajo consumo de fibra en sociedades desarrolladas, que se asocia con enfermedades coronarias, aterosclerosis y cáncer de colon, existe una gran preocupación por incrementar la cantidad de fibra en la dieta para prevenir dichas enfermedades<sup>3,4</sup>.

Por otra parte, los carbohidratos presentes en el pan de trigo blanco son fácilmente digeribles, lo cual produce una rápida y alta respuesta glicémica e insulínica<sup>5</sup>, además aportan un elevado contenido energético y relativamente baja sensación de saciedad<sup>6,7</sup>. La velocidad de digestión de los carbohidratos afecta a la absorción de la glucosa y ello conlleva que sean necesarios poner en marcha con rapidez y eficacia los mecanismos metabólicos reguladores de la glicemia postprandial y la respuesta lipídica<sup>8</sup>. En cambio la

presencia de otros componentes de los alimentos pueden jugar un papel importante en la modulación de la glucosa en sangre, fundamentalmente debido a una digestión y absorción más lenta de los glúcidos, que ayuda a mantener los niveles normales de glucosa en sangre. Este factor se ha identificado como relevante en la prevención de algunas enfermedades crónicas<sup>9</sup>. Por lo tanto, la incorporación de ingredientes funcionales, por ejemplo con una mayor cantidad de fibra, es una estrategia interesante para mejorar la respuesta glicémica ocasionada por el consumo de pan, lo cual cobra una especial relevancia en el diseño de dietas para diabéticos destinadas a mejorar el control metabólico de la glicemia<sup>10</sup>.

Estudios epidemiológicos, confirman que el consumo habitual de alimentos ricos en cereales y pseudocereales ayudan a prevenir enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, problemas cardiovasculares y la obesidad<sup>11</sup>.

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es un pseudocereal que crece en forma silvestre y comúnmente se considera arvense de varios cultivos de subsistencia, como el maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) y algunas leguminosas<sup>12</sup>, solo algunos de ellos son comúnmente consumidos por los seres humanos, principalmente *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* por la producción de granos; *A. dubius* y *A. hybridus* por el uso de sus hojas o como ingrediente funcional en alimentos<sup>13,14</sup>.

El *A. dubius* cultivado, tiene una alta concentración de proteínas y minerales<sup>15</sup>, bajas concentraciones de tóxicos y antinutricionales, y no se ha detectado la presencia de metales pesados como Cd y Pb<sup>16</sup>; además, presenta un importante valor como dietético debido al alto porcentaje de fibra dietética que se encuentra en su totalidad en forma insoluble (40,48% del total del peso)<sup>17</sup>. También se le puede dar uso en la preparación de productos libres de gluten y alimentos funcionales<sup>18,19</sup>. Las características nutricionales y agronómicas del amaranto hacen que sea una planta de un alto interés para su uso en la industria alimentaria.

El objetivo de este estudio fue contrastar el efecto del uso del amaranto (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) como ingrediente funcional en la elaboración de panes, valorando el consumo de alimento, ganancia de peso corporal, la respuesta glicémica y parámetros bioquímicos en ratas *Sprague dawley*.

## Materiales y métodos

### Obtención de la harina de amaranto

La harina de amaranto se obtuvo de las panículas de plantas de *A. dubius* cultivadas en una siembra experimental ubicada en el municipio Santa Rita, estado Zulia, Venezuela, ubicado a 10°37' N y 71°08' O. El suelo fue preparado con rastra y fertilizado con materia orgánica (capa vegetal y estiércol de aves de corral).

Las panículas se deshidrataron en una estufa entre 50 a 60 °C durante 40 h, con rotación y aireación constante, posteriormente se molieron, tamizaron con un tamiz de tamaño de partícula  $\leq 0,5$  mm (Retsch Muhle Dietz, LB1-27, Alemania) y fueron almacenadas en recipientes de plástico con tapa hermética, se cubrieron con una bolsa de tela y se guardaron en un lugar seco a temperatura  $\leq 20$  °C hasta la preparación de los panes. La composición de la harina de panículas de amaranto se muestra en la tabla I.

### Preparación del pan

Se prepararon tres tipos de panes con 0% (PA0), 10% (PA10) y 20% (PA20) de amaranto. Los panes con amaranto (PA10 y PA20) fueron preparados de acuerdo con la propuesta de Colina<sup>20</sup>, que consistió en mezclar harina de trigo y harina integral de amaranto. Utilizando esta mezcla como base, se añadieron los otros componentes (m/m), 1% de sal, 5% de azúcar, 5% de grasa, 1% de vinagre, 5% de levadura y 55% de agua, se mezclaron y se amasaron durante 15 min (Boia<sup>®</sup>, 20 L), posteriormente se amasó manualmente. La masa fue pesada y colocada en el molde. El proceso de fermentación de la masa fue a 30-35 °C durante 180 minutos y se horneó a 160-170 °C durante 1 h y

10 min. El pan 0% amaranto (control o PA0) se preparó usando una mezcla de harina de trigo y 15% de salvado de trigo<sup>20</sup>, para la obtención de un pan integral tecnológicamente comparable a evaluar (Tabla I).

### Preparación de la dieta

Se prepararon tres dietas experimentales con los panes elaborados: dieta de pan con 0% de amaranto (PA0, control), dieta de pan con 10% de amaranto (PA10) y dieta de pan con 20% amaranto (PA20). Los panes se cortaron y se secaron a 60 °C durante 48 h, luego se molieron y se utilizaron en la preparación de los pellets de cada dieta (Tabla II).

### Animales

Los autores se responsabilizan de que este estudio ha cumplido con las disposiciones sobre el cuidado y la protección de los animales utilizados con fines experimentales, establecidas en la Unión Europea<sup>21</sup>.

Un total de 30 ratas machos *Sprague dawley* con 33 días de edad fueron suministradas por el Bioterio de la Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, estado Lara, Venezuela. Cada animal se alojó individualmente en jaulas de acero inoxidable y se le suministró alimento comercial (Rataharina Protinal<sup>®</sup>) y agua *ad libitum*, con ciclos de 12 h luz/oscuridad a 25 °C por siete (7) días para el periodo de adaptación. Después de ese tiempo los animales se dividieron en tres grupos de 10 ratas cada uno, para estudiar el efecto del consumo de panes sobre el peso, el perfil lipídico y la respuesta glicémica.

Tras el periodo de adaptación, se hizo la determinación del consumo de alimento diario durante los si-

**Tabla I**  
Composición proximal de panículas de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. y de panes elaborados con harina de trigo y harina de amaranto

Composición proximal (g·kg <sup>-1</sup> )	Panícula de amaranto <sup>c</sup>	Pan 0%	Pan 10%	Pan 20%
Materia seca	911,5	912,1	918,1	919,2
Cenizas (minerales)	135,2	19,8	20,0	31,4
Proteína cruda	205,3	173,5	183,7	189,2
Fibra cruda	230,2	38,1	70,0	86,9
Extracto etéreo	18,3	14,8	17,3	30,0
Carbohidratos	411,0	753,8	708,9	662,4
Energía (kJ·100g <sup>-1</sup> )	1719,13	1692,05	1754,68	1749,87
ELN <sup>a</sup> (almidón)	411,2	753,8	708,4	662,4
NDT <sup>b</sup>	677,5	794,6	806,2	803,2

Todos los datos están expresados en base seca.

<sup>a</sup>ELN: Extracto libre de nitrógeno.

<sup>b</sup>NDT: Nutrientes digeribles totales.

<sup>c</sup>Datos publicados por Montero *et al.*, 2011<sup>15</sup>.

**Tabla II**  
Ingredientes de las dietas experimentales utilizadas en ratas Sprague dawley

Composición de las dietas (g·kg <sup>-1</sup> dieta)	PA0	PA10	PA20
Pan	900,0	900,0	900,0
Aceite	50,0	50,0	50,0
Mezcla de vitaminas y minerales <sup>a</sup>	50,0	50,0	50,0

PA0: dieta de pan con 0% de amaranto (control). PA10: dieta de pan con 10% de amaranto. PA20: dieta de pan con 20% de amaranto.

<sup>a</sup>Suministrada por T&V (Alforja, España), composición de vitaminas y minerales (g·Kg<sup>-1</sup>premix): Fe: 10, I: 0,2, Co: 0,02, Cu: 3, Mn: 10, Zn: 12, Se: 0,02, Vitamina E: 3,2, Vitamina B<sub>1</sub>: 0,2, Vitamina B<sub>2</sub>: 0,6, Vitamina B<sub>6</sub>: 0,2, vitamina B<sub>12</sub>: 0,002, d-pantenoato de calcio: 2, Ácido Nicotínico: 4,4, cloruro de colina: 10, Vitamina A: 1800.000 UI, Vitamina D<sub>3</sub>.

guientes 21 días, así como se obtuvo el peso corporal de los animales, que se tomo cada siete (7) días. El día 22 los animales se utilizaron para obtener la respuesta postprandial de glucosa en sangre. Después de 12 horas de ayuno, se tomaron muestras de sangre de la vena de la cola e inmediatamente los animales fueron alimentados con 3 g de las dietas (correspondiente a 2,04 g de carbohidratos en PA0; 1,91 g en PA10 y 1,79 g en PA20, respectivamente) los cuales fueron totalmente consumidos en 20 min. Y se tomaron nuevamente muestras de sangre a los 40, 80 y 120 min después de la ingesta, para medir los niveles de glucosa, que se realizó mediante un monitor/glucómetro (Fast Check de Laboratorios DAI-USA).

Para evaluar el efecto de las dietas sobre el perfil lipídico el día 23 se tomaron muestras de sangre (5 mL) en ayunas, de la vena ocular después de la anestesia con éter<sup>22</sup>, posteriormente fueron sacrificados por punción cardíaca.

#### Análisis bioquímico del suero

Las muestras para el análisis bioquímico se recolectaron en tubos estériles sin anticoagulante y se centrifugaron a 3.000 rpm durante 10 min para separar el suero y se mantuvieron congeladas (-20 °C) hasta su análisis.

La determinación de glucosa (GLU), triglicéridos (TG), colesterol total (CT), lipoproteínas de alta densidad (HDL-C) y proteínas totales (TP) se realizaron por colorimetría utilizando kits de pruebas comerciales (Wiener Lab, Argentina). Las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL-C), el índice aterogénico y el factor de riesgo cardiaco se estimaron usando las siguientes ecuaciones:

- VLDL-C = TG/5
- LDL-C = CT-HDL-C-(TG/5),
- Índice aterogénico = CT-HDL-C)/HDL-C
- Factor de riesgo cardiaco = CT/HDL-C.

#### Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando un diseño completamente aleatorizado, para evaluar el efecto del grado de sustitución de la harina de amaranto en los panes sobre la respuesta glicémica postprandial y el perfil lipídico. Se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con 10 repeticiones y tres (3) submuestras, utilizando el software estadístico SAS versión 9.1.3. El nivel de significancia utilizado fue p=0,05.

La respuesta glicémica postprandial de los grupos experimentales se analizó mediante la metodología de medidas repetidas en el tiempo a través del procedimiento MIXED<sup>23</sup>, a continuación, se seleccionaron los modelos polinomiales de segundo grado que mejor explicaron el comportamiento de esta variable en el tiempo.

#### Resultados y discusión

Los resultados del consumo de las dietas experimentales y ganancia de peso durante el ensayo se muestran en la tabla III.

El consumo de alimento diario varió de manera similar (P>0,05) en todos los grupos, se observó una baja ingesta, la cual podría deberse a la alta sensación de saciedad que posiblemente produjo estas dietas en los animales<sup>24</sup>, relacionandose con el contenido de fibra que aportó el amaranto<sup>15</sup> y en el caso de DPA0 fue aportado por el salvado utilizado. El consumo total de alimento durante los 21 días del experimento presentó diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre grupos, observandose una mayor ingesta en el grupo PA20 aunque sin diferencias estadísticas (P>0,05) con PA10, pero si con PA0.

Aunque se observa que el grupo de animales alimentados con PA10 fue el único que mostro una ganancia en peso diaria (0,03 g) durante los 21 días del ensayo a diferencia de los grupos PA0 y PA20 en los cuales se observó una pérdida de peso discreta; sin embargo, estas aparentes diferencias no resultaron significativas (P>0,05).

**Tabla III**  
Consumo de las dietas experimentales y ganancia en peso de ratas Sprague dawley durante la fase experimental (21 días)

	PA0	PA10	PA20
Consumo de alimento (g·d <sup>-1</sup> )	4,24 <sup>a</sup>	4,79 <sup>a</sup>	4,75 <sup>a</sup>
Consumo de alimento total (g)	86,67 <sup>b</sup>	100,67 <sup>ab</sup>	105,00 <sup>a</sup>
GDP (g)	-0,23	0,03	-0,05

PA0: dieta de pan con 0% de amaranto (control). PA10: dieta de pan con 10% de amaranto. PA20: dieta de pan con 20% de amaranto.

GDP: ganancia diaria de peso.

Los valores con letras diferentes en la misma fila presentaron diferencias estadísticas (p<0,05).

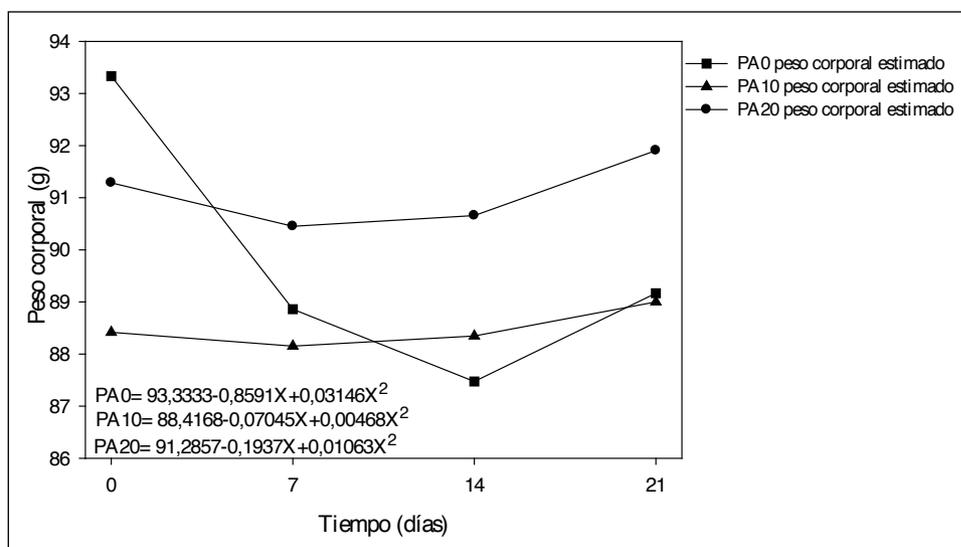


Fig. 1.—Peso corporal de ratas machos Sprague dawley que consumieron PA0, PA10 y PA20 monitoreado por un mes.

La variación del peso de los grupos durante el consumo de PA10 y PA20 fue similar durante el estudio y no se observaron diferencias estadísticas entre ellos en función del tiempo. En el grupo PA0 se observó una disminución de peso los primeros siete días del ensayo, lo cual pudo deberse a problemas de adaptación a la dieta; no obstante, luego se presentó un aumento gradual del peso hasta los 21 días del experimento (Fig. 1) similar al presentado por el grupo PA20.

La poca ganancia de peso de todos los grupos hasta el final del estudio, pudo deberse a la baja ingesta del alimento suministrado; sin embargo, el aporte de nutrientes con dichas dietas se estimó que cubrían los requerimientos nutricionales de las ratas, lo cual facilitó, en líneas generales, el mantenimiento del peso corporal.

En relación a los parámetros bioquímicos (Tabla IV) se observó que la concentración de GLU, TG y PRO no se afectó por efecto de las dietas ( $p > 0,05$ ). Los valores de CT, LDL-C, factor de riesgo e índice aterogénico fueron mayores en el grupo PA0, que presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con los grupos PA10 y PA20. La concentración de HDL-C fue mayor en los grupos PA10 y PA20, de nuevo con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con el grupo PA0.

Los resultados de los parámetros bioquímicos tras el consumo de PA10 y PA20 demostraron un buen estado de salud de los animales, lo que evidenció que los panes con amaranto presentaron los nutrientes necesarios para el buen desarrollo y mantenimiento de las ratas, especialmente en cuanto al contenido de proteínas, minerales y fibra.

El consumo de PA10 y PA20 no produjeron modificaciones en los valores de GLU y TRI, además se evidenció un efecto positivo sobre las concentraciones de CT, LDL-C y HDL-C, es decir, que el amaranto podría ayudar a mejorar la salud de los consumidores, ya que los grupos PA10 y PA20 presentaron un menor índice aterogénico y menor riesgo cardiaco. Este es un

hallazgo importante, ya que concentraciones bajas de CT y LDL-C y valores elevados de HDL-C han sido relacionados con un buen estado de salud cardiovascular lo que permitió prevenir enfermedades metabólicas, aterosclerosis e infarto al miocardio y repercutir favorablemente en otras como diabetes<sup>25</sup>. Resultados similares fueron observados por Króliczewska *et al.*<sup>26</sup>, Pandhare *et al.*<sup>27</sup> al utilizar extracto o semillas de amaranto. Chatuverdi *et al.*<sup>28</sup> atribuyeron el efecto hipoco-

**Tabla IV**  
Efecto de las dietas experimentales sobre parámetros bioquímicos en ratas Sprague dawley luego de 10 semanas de consumo

Parámetros	Dietas experimentales		
	PA0	PA10	PA20
GLU	119,27 <sup>a</sup>	119,10 <sup>a</sup>	113,90 <sup>a</sup>
CT	160,68 <sup>a</sup>	128,63 <sup>b</sup>	130,48 <sup>b</sup>
TRI	155,68 <sup>a</sup>	152,85 <sup>a</sup>	157,37 <sup>a</sup>
HDL-C	31,05 <sup>b</sup>	46,28 <sup>a</sup>	37,99 <sup>ab</sup>
LDL-C	98,50 <sup>a</sup>	51,78 <sup>b</sup>	61,04 <sup>b</sup>
VLDL-C	31,14 <sup>a</sup>	30,57 <sup>a</sup>	31,47 <sup>a</sup>
CT/HDL*	5,19 <sup>a</sup>	2,83 <sup>b</sup>	3,64 <sup>b</sup>
Índice aterogénico	4,19 <sup>a</sup>	1,83 <sup>b</sup>	2,64 <sup>b</sup>
CT/LDL	1,63 <sup>b</sup>	2,49 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>
HDL/LDL	0,32 <sup>b</sup>	0,90 <sup>a</sup>	0,72 <sup>b</sup>
PRO**	6,96 <sup>a</sup>	6,73 <sup>a</sup>	6,79 <sup>a</sup>

Cantidades en mg·dl<sup>-1</sup>. \*Factor de riesgo cardíaco. \*\*Cantidades en g·dl<sup>-1</sup>. PA0: pan 0% amaranto (control), PA10: pan 10% amaranto, PA20: pan 20% amaranto. GLU: Glucosa, CT: colesterol total, TRI: triglicéridos, HDL-C: lipoproteína de alta densidad, LDL-C: lipoproteína de baja densidad, VLDL-C: lipoproteína de muy baja densidad, PRO: proteína.

Los valores con letras diferentes en la misma fila presentaron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ).

lesterolémico del amaranto a la presencia de escualeno y, Mendoza *et al.*<sup>29</sup> justificaron este efecto por la proteína presente en el amaranto.

Por otro lado, numerosas investigaciones han documentado los efectos hipocolesterolémicos de la fibra dietética<sup>30,31</sup>; es lógico, por tanto, que el alto porcentaje de fibra dietética del amaranto<sup>15</sup>, podría ser responsable de parte de los efectos positivos observados en el perfil lipídico de los animales.

Los mecanismos responsables de este efecto son relativamente complejos. Varias hipótesis sugieren los posibles mecanismos, entre los que se encuentran el aumento del contenido gastrointestinal, que interfiere la formación de micelas y absorción de lípidos, lo que provoca un aumento y excreción de esteroides y ácidos biliares e inhibición de síntesis de colesterol hepático, junto al efecto debido a la absorción del ácido propiónico formado en la fermentación<sup>32</sup>. Estos mecanismos actúan significativamente en las tasas de colesterol del suero sanguíneo, con lo que se afecta principalmente la subfracción de LDL-C, directamente relacionada con las enfermedades cardiovasculares<sup>32</sup>.

Por otra parte, la fibra juega un papel muy importante en el mantenimiento de un estado saludable<sup>33</sup>. Los altos niveles de fibra dietética tienen importancia en la alimentación de monogástricos ya que actúa a nivel intestinal aumentando el bolo fecal, acompañado de una disminución del tiempo de tránsito intestinal y produciendo un efecto protector contra el cáncer de colon<sup>17,34</sup>. Además se sabe que la fibra dietética tiene influencia en la regulación del peso corporal, la ingesta de alimentos, la homeostasis de la glucosa, sensibilidad a la insulina y el riesgo de enfermedades cardiovasculares<sup>35,36</sup>.

La respuesta glicémica postprandial se muestra en la figura 2. En los tres grupos se observaron valores de glucosa basal normal, entre 63,44 y 74,91 mg·dl<sup>-1</sup>. El consumo de PA0 provocó una respuesta glicémica rápida y elevada a los 80 min (120 mg·dl<sup>-1</sup>) equiva-

lente a un incremento de 1,89 veces mayor al valor basal, la cual disminuyó drásticamente a los 120 min (89,28 mg·dl<sup>-1</sup>). PA10 y PA20 en cambio provocaron picos más bajos y unas curvas más regulares entre los 40 y 120 min (104,08 y 107,51 mg·dl<sup>-1</sup> y 93,86 y 91,04 mg·dl<sup>-1</sup>, respectivamente para PA10 y PA20) representando un incremento de 1,24 veces del valor basal, respecto al presentado a los 120 min, con las dichas dietas que contenían amaranto.

Las concentraciones de la glucosa postprandial en sangre fueron menores en los grupos que consumieron pan con amaranto. La respuesta postprandial tras el consumo de las dietas permitió evidenciar que los grupos PA10 y PA20 presentaron un mejor resultado, debido a que se redujo el pico de hiperglucemia y la fase de hiperglucemia total (área bajo la curva). Los mayores niveles de glucosa por el consumo de PA10 y PA20 se observaron a los 40 min, siendo más bajos a los 80 min después del consumo de las dietas. La mejor respuesta observada en los grupos PA10 y PA20 podría deberse al aporte de fibra del amaranto. Algunos estudios sugieren que el alto contenido de fibra insoluble reduce el apetito, y por consiguiente la ingesta de alimentos lo que mejora la respuesta glicémica<sup>36</sup>, todo esto podría estar relacionado con la regulación de la absorción de la misma y por tanto, evitar variaciones bruscas de los niveles de glucosa en sangre, mejorando de esta manera la respuesta metabólica ante el consumo de carbohidratos, lo cual es sumamente importante en las personas diabéticas.

En conclusión, el consumo de panes con harina integral de amaranto se podría asociar con el mantenimiento del peso en los regímenes isocalóricos, así como, a una relación adecuada entre el HDL-C y LDL-C, lo cual se asocia a mejor salud cardiovascular. El pan con amaranto produce una respuesta postprandial de la glucosa más estable, produciendo picos hiperglicémicos más bajos. Por lo que, el amaranto podría ser utilizado como un ingrediente funcional para mejorar

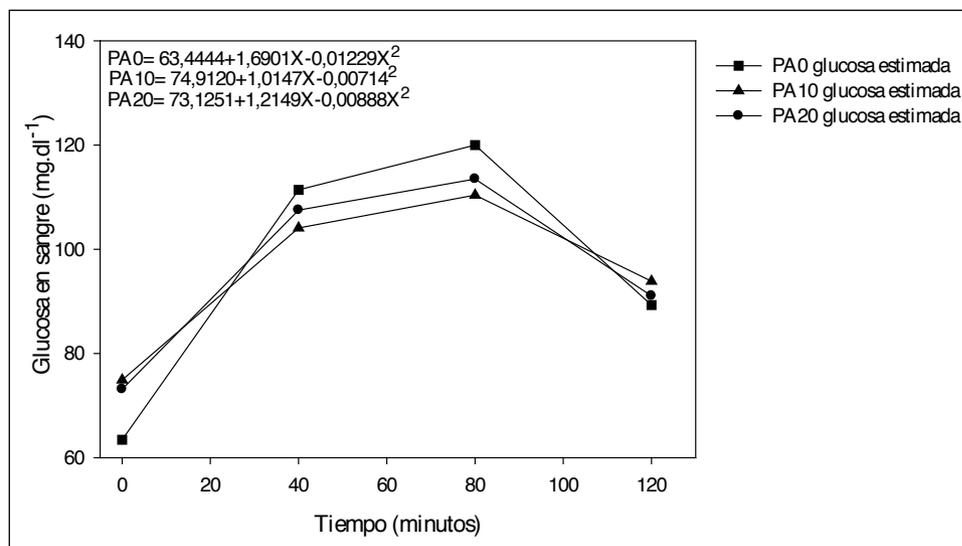


Fig. 2.—Respuesta glicémica postprandial estimada de ratas macho Sprague dawley en ayuno y a los 40, 80, y 120 minutos después del consumo de 3 g de cada dieta: PA0, PA10 y PA20 en el día 29 del protocolo. Cada valor es la media  $n = 10$ .

las características nutricionales del pan, aumentado de esta forma el consumo diario de fibra dietética en los regímenes alimenticios isocalóricos o hipocalóricos mejorando la respuesta glicémica postprandial y el perfil lipídico de los consumidores.

## Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento de esta investigación (proyecto CC-0670-10). Al Programa de formación en Panadería de la Universidad del Zulia por su colaboración en la elaboración de los panes. Al Instituto Endocrino-Metabólico Félix Gómez por permitir la utilización del Bioterio y el procesamiento de los análisis químicos.

## Referencias

1. Isserliyska D, Karadjov G, Angelov A. Mineral composition of Bulgarian wheat bread. *Eur Food Res and Tech* 2001; 213: 244-245.
2. Bodroza-Solarov M, Filičev B, Kevresan Z, Mandić A, Simurina O. Quality of bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. *J Food Process Eng* 2008; 31: 602-618.
3. Sanz-Penella JM, Tamayo-Ramos JA, Sanz Y, Haros M. Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria. *J Agri and Food Chem* 2009; 57: 239-244.
4. Matía Martín P, Lecumberri Pascual E, Calle Pascual AL. Nutrition and metabolic syndrome. *Rev Esp Salud Públ* 2007; 81: 489-505.
5. Araya H, Alviña M. Productos de panificación funcionales. En: Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación. Lutz M, León A, (Eds.). Chile: Universidad de Valparaíso; 2009. pp. 151-173.
6. Alviña M, Araya A. Rapid carbohydrate digestion rate produced lesser short-term satiety in obese preschool children. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58: 637-642.
7. Hare-Bruun H, Flint A, Heitmann BL. Glycemic index and glycemic load in relation to changes in body weight, body fat distribution, and body composition in adult Danes. *Am J Clin Nutr* 2006; 84: 871-879.
8. Brites CM, Trigo MJ, Carrapiço B, Alviña M and Bessa R. Maize and resistant starch enriched breads reduce postprandial glycemic responses in rats. *Nutr Res* 2011; 31: 302-308.
9. Augustin LS, Franceschi S, Jenkins DJ, Kendall CW, La Vecchia C. Glycemic index in chronic disease: a review. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 1049-1071.
10. Jenkins DJA, Kendall CWC, Augustin LSA, Franceschi S, Hamidi M, Marchie A. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am J Clin Nutr* 2002; 76 (suppl): 266-273.
11. Aleixandre A, Miguel M. Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic syndrome. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr* 2008; 48: 905-912.
12. Matteucci S, Pla L, Colma A. Recolección sistemática de germoplasmas de *Amaranthus* spp. en ecosistemas secos del estado Falcón. Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 1999; 16: 356-370.
13. Gamel TH, Linssen JP, Mesallam AS, Damir AA, Shekib LA. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. *J the Sci of Food and Agr* 2006; 86: 1095-1102.
14. Sanz-Penella JM, Wronkowska M, Soral-Smietana M, Haros M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT – Food Sci Tech* 2013; 50: 679-685.
15. Montero Quintero K, Molina E y Sánchez-Urdaneta A.B. Composición química del *Amaranthus dubius*: una alternativa para la alimentación humana y animal. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 2011; 28 (Supl. 1): 619-627.
16. Molina E, González-Redondo P, Montero K, Ferrer R, Moreno-Rojas R, y Sánchez-Urdaneta AB. Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. *INTERCIENCIA* 2011; 36(5): 386-391.
17. Arellano Mirta AL, Albarracín G, Arce S, Mucciarelli S. Estudio comparativo y agronómico de dos especies de amarantos. *Int J Exp Bot Phytom* 2004; 1: 199-203.
18. Czerwiski J, Bartnikowska E, Leontowicz H, Lange E, Leontowicz M, Katrich E, Trakhtenberg S, Gorinstein S. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. *J Nutr Biochem* 2004; 15: 622-629.
19. Hye-Kyung K, Mi-Jeong K, Hong-Yon C, Eun-Ki Kim, Dong-Hoon S. Antioxidative and anti-diabetic effects of amaranth (*Amaranthus esculantus*) in streptozotocin-induced diabetic rats. *Cell Biochem Funct* 2006; 24: 195-199.
20. Colina Barriga MS. La magia de la panadería. Venezuela. Primera edición. 2012. p. 220.
21. European Union 2003. Protection of animals used for experimental purposes. Directive 86/609/EEC of 24th November 1986, amended 16th September 2003.
22. Itokawa M, Hirao A, Nagahama H, Otsuka M, Ohtsu T, Furutani N, Hirao K, Hatta T, Shibata S. Time-restricted feeding of rapidly digested starches causes stronger entrainment of the liver clock in PER2::LUCIFERASE knock-in mice. *Nutr Res* 2013; 33: 109-119.
23. SAS (2002-2003) *Statistical Analysis System*. Version 9.1. Institute Inc, Cary NC, EEUU.
24. Carter JF. Potential of flaxseed and flaxseed oil in baked goods and other products in human nutrition. *Cereal Foods World* 1993; 38: 753-759.
25. Horton R. Curbing the obesity epidemic. 2006. Editorial. *Lancets* 367, 1549.
26. Króliczewska B, Zawadzki W, Bartkowiak A, Skiba T. The level of selected blood indicators of laying hens fed with addition of amaranth grain. *Electronic J Pol Agric U* 2008; 11(2): 1-8.
27. Pandhare R, Balakrishnan S, Mohite P, Khanage S. Antidiabetic and antihyperlipidaemic potential of *Amaranthus viridis* (L.) Merr. in streptozotocin induced diabetic rats. *Asian Pac J of Trop Dis* 2012; S180-S185.
28. Chaturvedi A, Sarojini G, Devi N. Hypocholesterolemic effect of amaranth seeds (*Amaranthus esculentus*). *Plants Food Hum Nutr* 1993; 44: 63-70.
29. Mendonça S, Saldiva PH, Cruz RJ, Arêas JAG. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect. *Food Chem* 2009; 116: 738-4.
30. Galisteo M, Duarte J, Zarzuelo A. Reviews: Current Topics. Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome. *J Nutr Biochem* 2008; 19: 71-84.
31. Bhatena SJ, Alib AA, Mohamed AI, Hansend CT, Velasquez MT. Differential effects of dietary flaxseed protein and soy protein on plasma triglyceride and uric acid levels in animal models *J Nutr Biochem* 2002; 13: 684-689.
32. Anderson JW, Deakins DA, Bridges SR. Soluble fiber-Hypocholesterolemic effects and proposed mechanisms. In: D Kritchevsky, C Bonfield, and J.W Andersons (Eds.). *Dietary fiber: chemistry, physiology and health effects* (pp: 339-363). New York: Plenum Press.
33. Schweizer TF, Würsch P. The physiological and nutritional importance of dietary fibre. *Experientia* 1991; 47(2): 181-6.
34. Devin R, DeMeo M, Keshavarzian A, Hamaker B. Influence of dietary fiber on inflammatory bowel disease and colon cancer: importance of fermentation pattern. *Nutr Rev* 2007; 65(2): 51-62.
35. Kaline K, Bornstein SR, Bergmann A, Hauner H, Schwarz PEH. The importance and effect of dietary fiber in diabetes prevention with particular consideration of whole grain products. *Horm Metab Res* 2007; 39: 687-693.

36. Queeman KM, Stewart ML, Smith KN, Thomas W, Fulcher RG, Slavin JL. Concentrated oat  $\beta$ -glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Nutr J* 2007; 26(6): 6-12.
37. Samra RA, Anderson GH. <http://ajcn.nutrition.org/search?author1=G+Harvey+Anderson&sortspec=date&submit=Submit> Insoluble cereal fiber reduces appetite and short-term food intake and glycemic response to food consumed 75 min later by healthy men. *Am J Clin Nutr* October 2007; 86(4): 972-979.