



## RESUMEN

El desarrollo de alimentos con bajo contenido de carbohidratos digeribles se ha incrementado, debido a que ayudan en la prevención y/o control de enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes. La incorporación de cereales integrales y diversos frutos, como el plátano en estado inmaduro, en la formulación de alimentos, es cada vez más frecuente porque son una fuente importante de carbohidratos no digeribles y compuestos bioactivos. El objetivo del trabajo fue elaborar una galleta a partir de una mezcla de cereales integrales y plátano en estado inmaduro, estimar su composición química proximal, la digestibilidad de carbohidratos *in vitro*, así como determinar si dicha combinación puede tener efecto antihiper glucémico e hipoglucemiante en ratas sanas y diabéticas, respectivamente. Para la elaboración de las tres galletas, se realizó una mezcla de cereales integrales (trigo, cebada y avena), la cual, permaneció constante en todas las muestras, a la galleta 1 (G-1) se le adicionó de maíz blanco, a la 2 (G-2), maíz azul y la tres (G-3) plátano en estado inmaduro. La G-2 presentó un contenido de proteínas (11.1 g/100g) y lípidos (21.4g/100g) mayor en comparación a G-1 (9.29g/100g, 17.0 g/100g, respectivamente) y G-3 (7.3 g/100g, 15.7 g/100G). La G-1 tuvo el contenido más alto de fibra dietética (11.64 g/100g)), seguida por G-2(10.1 g/100g), mientras que la G-3 presentó el valor menor (6.9 g/100g). Este mismo comportamiento se observó en la fracción indigerible (FI) total (G-1, 40.1 g/100g; G-2, 38.1 g/100g; G-3, 36.9 g/100g). La G-2 y G-3 no presentaron diferencias en la FI soluble ( $\approx 17$  g/100g), el valor para G-1 fue menor (14.6 g/100g). La FI insoluble fue mayor en G-1 (25.4 g/100g) en comparación de G-2 (20.9 g/100g) y G-3 (19.7 g/100g). En la fermentación *in vitro* de la FI de las galletas no se observó un cambio de pH ( $\approx$  H 6) durante las 24 h. La FI de la G-1 y G-3 presentaron el valor más alto de ácido acético (79.9 mmol/L y 74.86 mmol/L, respectivamente) a las 24 h. La FI de la G-3 produjo en total más ácido propiónico (17.9 mmol/L), en comparación a G-1 (7.5 mmol/L) y G-2 (5.5 mmol/L). Este mismo comportamiento se obtuvo en la producción total de ácido butírico (G-1, 26.4 mmol/L; G-2 16.5 mmol/L; G-3, 31.0 mmol/L). El contenido de compuestos fenólicos fue mayor para G-2 (92.2 mg/EAG/100g), mientras que para G-1 y G-3 no se presentaron diferencias significativas ( $\approx 80$  mgEAG/100g). La G-2 tuvo mas flavonoides (34.5 mgEC/100g) en comparación a G-2 (13.5 mgEC/100g) y G-3 (4.56 mgEC/100g). La capacidad antioxidante de las muestras fue diferente, siendo mayor para G-2 (21.7  $\mu$ molET/100g). La G-3 presentó la mejor aceptación entre los



consumidores en la prueba hedónica (calificación 6, me gusta poco). La glucosa libre no fue diferente entre las muestras ( $\approx 4$  g/100g). El contenido de almidón total fue similar para G-1 y G-2 ( $\approx 57$  g/100g), y para G-3 fue más alto (60.2 g/100g). No se presentaron diferencias significativas en el contenido de almidón de digestión rápida entre G-1 y G-2 ( $\approx 45$  g/100g), en G-3 se encontró esta fracción fue mayor (51.9 g/100g). La G-2 presentó más almidón de digestión lenta (10.7 g/100g), seguida de G-1 (7.0 g/100g), y G-3 (4.1 g/100g). En almidón 2 resistente fue similar para G-1 y G-2 ( $\approx 1$  g/100g), mientras que para G-3 fue de 6.3 g/100g. Las tres dosis de galleta (G-3) (0.42, 0.85 y 1.28 g/kg) administradas en ratas sanas no presentaron un pico hiperglucémico. La ingesta de las tres galletas en ratas sanas a una dosis de 0.85 g/kg (cada una) no produjeron un incremento significativo en la concentración de glucosa durante los 180 minutos de evaluación. La G-2 y G-3 tuvieron un efecto antihiperglucémico en la prueba de tolerancia a la glucosa, siendo más evidente en G-3. Los carbohidratos disponibles (3g/kg) de las tres muestras produjeron un respuesta de glucosa baja, en todas las muestras, el pico máximo de glucosa fue menor (G-1, 141 mg/dL; G-2, 133 mg/dL; G-3, 135.2 mg/dL) en comparación al de glucosa (161.6 mg/dL). El IG de las muestras fue 116, 97 y 90 para G-1, G-2 y G-3, respectivamente. En ratas diabéticas la G-2 tuvo un efecto hipoglucémico durante las tres semanas de evaluación. El grupo de ratas alimentadas con la G-2 incrementaron el peso promedio de 294.0 a 366.9 g, mientras que los otros grupos (G-1 y G-3) perdieron peso (45.9 y 37.7, respectivamente). El nivel de colesterol y HDL entre los grupos no presentó diferencias significativas ( $\approx 40$  mg/dL). El grupo de ratas alimentadas con G-2 (123.4 mg/dL) presentó el valor menor de triglicéridos en comparación a G-1 (177.35 mg/dL) y G-3 (383.4 mg/dL). Los valores de insulina fueron bajos en todos los grupos (0.014 y 0.41 ng/mL) en comparación al grupo de ratas sanas (4.0 nm/dL).



## ABSTRACT

The development of low-digestible carbohydrates foods has increased because they help in the prevention and / or control of chronic non-transmissible diseases like diabetes. The addition of whole grains and fruits, such as unripe plantain, in food formulations has become more common because they are an important source of non-digestible carbohydrates and bioactive compounds. The objective of this work was to develop cookies with a whole-grains and unripe plantain blend, and determines its chemical composition, *in vitro* digestibility, and to evaluate the anti-hyperglycemic and hypoglycemic effect in healthy and diabetic rats, respectively. Three cookies were made with a whole grains blend (wheat, barley and oats) which remained constant; in the first formulation (G-1) white corn was added, blue corn in the second (G-2), and unripe plantain in the third (G-3). The G- 2 showed a higher protein (11.1 g/100g) and lipid (21.4g/100g) contents than the G-1 (9.29g/100g, 17.0 g/100g, respectively) and G-3 (7.3 g / 100g, 15.7 g/100g). The G-1 had the highest dietary fiber content (11.64 g/100g), followed by G-2 (10.1g/100g), while the G-3 showed the lowest value (6.9 g/100g). Similar pattern was observed in the total indigestible fraction (IF) (G-1, 40.1 g/100g, G-2, 38.1 g/100g, G-3, 36.9 g/100g).The G-2 and G-3 did not differ in soluble FI ( $\approx 17$  g/100 g), the value for G-1 was the lowest (14.6 g/100g). The insoluble FI content was higher in G-1 (25.4 g/100g) than in G-2 (20.9 g/100g) and G-3 (19.7 g/100g). Fermentation *in vitro* of IF from the cookies did not show pH change ( $pH \approx 6$ ) during the test. The fermentation of IF from the G-1 and G-3 showed the highest acetic acid value (79.9 mmol / L and 74.86 mmol / L, respectively) at 24 h. The IF of the G-3 produces more propionic acid (17.9 mmol / L) compared to G-1 (7.5 mmol / L) and G-2 (5.5 mmol / L). Similar pattern was obtained in the butyric acid production (G-1, 26.4 mmol / L, G-2 5.16 mmol / L, G-3, 31.0 mmol / L). The phenolic compounds content was higher for G-2 (92.2 mg/EAG/100g); there were no significant differences between G-1 and G-3 ( $\approx 80$  mgEAG/100g). The G-2 had higher flavonoids content (34.5 mgEC/100g) than G-1 (13.5 mgEC/100g) and G-3 (4.5 mg EC/100g). The antioxidant capacity of all samples was different, G-2 had the highest value (21.7  $\mu$ molET/100g). The G-3 showed the best consumer acceptance on the hedonic test (rating 6, like slightly). The free glucose was not different among samples ( $\approx 4$  g/100g). The total starch content was similar in G-1 and G-2 ( $\approx 57$  g/100 g); G-3 had the highest values (60.2 g/100g). There were no significant differences in rapidly digestible starch content between G-1 and G-2 ( $\approx 45$



g/100 g), in G-3 this fraction was higher (51.9 g/100g). The G-2 showed more slowly digestible starch (10.7 g/100g), followed by G-1 (7.0 g/100g) and G-3 (4.1 g/100g). Resistant starch content was similar in G-1 and G-2 ( $\approx 1$  g/100g), whilst for G-3 was 6.3 g/100g. The three cookies doses (G-3) (0.42, 0.85 and 1.28 g / kg) administered in healthy rats showed no hyperglycemic peak. The intake of the three cookies in healthy rats at a dose of 0.85 g/kg (each) did not produce a significantly increase in glucose concentration during the 180 minutes of the test. The G-2 and G-3 had an anti-hyperglycemic effect in the glucose tolerance test,<sup>4</sup> being more evident in G-3. The available carbohydrate (3g/kg) of the three samples produced a lower glucose response than glucose (reference food), all the samples showed a lower maximum glucose peak (G-1, 141 mg / dL; G-2, 133 mg / dL; G-3, 135.2 mg / dL) than glucose (161.6 mg / dL). The glycemic index of the samples was 116, 97 and 90 for G-1, G-2 and G-3, respectively. In diabetic rats the G-2 had a hypoglycemic effect during the three weeks of the test. The group of rats fed with G-2 increased the average weight of 294.0 to 366.9 g, whilst the other groups (G-1 and G-3) lost weight (45.9 and 37.7 g, respectively). The HDL and cholesterol level among groups showed no significant difference ( $\approx 40$  mg / dL). The rats group fed with G-2 (123.4 mg / dL) had lower triglyceride value than G-1 (177.35 mg / dL) and G-3 (383.4 mg / dL). The insulin levels were lower in all the groups (0.014 and 0.41 ng / dL) compared to the healthy rats group (4.0 nm / dL).