



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Evaluación del índice glicémico *in vitro* e *in vivo* de yogurt funcional de leche de cabra adicionado con *Aloe vera* y *Stevia rebaudiana*

In vitro and *in vivo* glycemc index evaluation of functional goat's milk yoghurt with added *Aloe vera* and *Stevia rebaudiana*

Enriquez, M.¹, Cruz, M.^{2*}, Rodríguez-Jasso, R.M.¹, Flores, M.², Garza, A.³, Belmares, R.^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Coahuila; Blvd. Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas s/n Col. República C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

³ Universidad Autónoma de Nuevo León; Madero y Dr. Aguirre Pequeño, Col. Mitras Centro sin número Monterrey, N.L. México. C.P. 64460.

enriquezmariela@uadec.edu.mx; myke13_80@hotmail.com*; rrodriguezjasso@uadec.edu.mx;

labcta@hotmail.com; aurgarza@gmail.com; ruthbelmares@uadec.edu.mx*

Innovación tecnológica: Yogurt funcional de leche de cabra con *Aloe vera* y *Stevia rebaudiana*.

Área de Aplicación: Ciencias de los alimentos, biotecnología alimentaria, nutrición humana.

Recibido: 21 septiembre 2023

Aceptado: 18 abril 2024

Abstract

The purpose of this work was to evaluate the *in vitro* (inhibition of α -amylase and α -glucosidase) and *in vivo* (Glycemic Index and Glycemic Load) functionality of three formulations 1) natural yogurt (N), 2) 10% *Aloe vera* pulp and sucrose (AA) and 3) 10% *Aloe vera* pulp and *Stevia rebaudiana* (AS). Determining the % inhibition of α -amylase and α -glucosidase activity, Glycemic Index (GI) and Glycemic Load (GL). An Inhibition of α -amylase activity of 43.01%, 44.66% and 55.75% was obtained for yoghurt N, AA, and AS, respectively. On the other hand, α -glucosidase inhibition was 3.29%, 6.35% and 22.87% for yoghurt N, AA, and AS, respectively. The GI and GL of yogurt N was 36.11 and 9.02, for yoghurt AA was 55.51 and 13.90 and for yogurt AS was 16.13 and 4.02, respectively. Its consumption in the tested subjects kept blood glucose levels within normal values.

Key words: Functional food, Diabetes, Enzyme inhibition, Glycemic index, Glycemic load.

Resumen

El propósito de este trabajo fue evaluar la funcionalidad *in vitro* (inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa) e *in vivo* (Índice Glicémico y Carga Glicémica) de tres formulaciones 1) yogurt natural (N), 2) 10% pulpa de *Aloe vera* y sacarosa (AA) y 3) 10% pulpa de *Aloe vera* y *Stevia rebaudiana* (AS). Determinando el % de inhibición de la actividad α -amilasa y α -glucosidasa, Índice Glicémico (IG) y Carga Glicémica (CG). Se obtuvo una inhibición de la actividad α -amilasa de 43.01%, 44.66% y 55.75% para el yogurt N, AA, y AS, respectivamente. Por otra parte, la inhibición α -glucosidasa fue de 3.29%, 6.35% y 22.87% para yogurt N, AA, y AS, respectivamente. El IG y CG del yogurt N fue 36.11 y 9.02, para yogurt AA fue 55.51 y 13.90 y para yogurt AS fue 16.13 y 4.02, respectivamente. La mejor formulación fue AS su consumo en los sujetos evaluados mantuvo los niveles de glucosa en sangre dentro de los valores normales.

Palabras clave: *Alimento funcional, Diabetes, Inhibición enzimática, Índice glicémico; Carga glicémica.*

1. Introducción

Hoy en día la problemática a solucionar es el prevenir enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) para ayudar a mejorar la calidad de vida de la población. Actualmente 38 millones de personas mueren cada año por las ECNT a nivel mundial, siendo en México el 9.4% de la población total debido a la diabetes, datos reportados por la ENSANUT (2016) sabiendo que algunos de los principales factores de riesgos de este tipo de enfermedades son: dietas malsanas, falta de actividad física, consumo de alcohol y tabaco.

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad crónica no transmisible incurable, en la cual hay un desorden del metabolismo de la glucosa (Zhang y Li, 2015), conocida como hiperglicemia caracterizada por un rápido incremento de los niveles de glucosa en sangre debido a una dieta alta en carbohidratos y una hidrólisis de estos por acción de enzimas α -amilasa localizadas en la saliva y jugos pancreáticos, así como, la α -glucosidasa localizada en el borde del cepillo del intestino delgado (Kazeem y Davies, 2016). Por otra parte, la inhibición de estas enzimas ayuda a disminuir la hiperglicemia (Lordan y col., 2013) al retardar la

absorción de carbohidratos y dando como resultado una reducción de glucosa postprandial en sangre.

En recientes investigaciones se demuestran los beneficios a la salud de algunas especies vegetales, tal es el caso de la hierba mora (*Solanum nigrum*) (Dasgupta y col., 2016), sábila (*Aloe vera*) (Cuvas y col., 2016; Ramesh y col., 2016) así como estevia un endulzante vegetal (*Stevia rebaudiana*) (Mathur y Johri, 2016, Narayana y col., 2022) entre otras. Estas poseen propiedades funcionales y han demostrado inhibición *in vitro* de la actividad α -amilasa y α -glucosidasa, siendo una opción de tratamiento alternativo para la DM (Djeridane y col., 2015) siendo de potencial interés la posible incorporación de ingredientes o compuestos.

Estudios previos de alimentos funcionales han utilizado yogurt como una alternativa para atenuar ciertas enfermedades crónico degenerativas, mediante la adición de ingredientes naturales para presentar mayores beneficios terapéuticos en el producto y dar solución a los estilos de vida modernos y malsanos (Shori & Baba, 2011). Algunos de estos ingredientes incluyen el *Aloe vera*, la cual posee propiedades hipoglucemiantes comprobada

en estudios *in vitro* e *in vivo*, en forma de extractos, así como ingrediente añadido a productos alimenticios, gracias a sus polisacáridos y algunos minerales (Radha y Laxmipriya, 2015). Y la *S. rebaudiana* es un endulzante natural hasta 20 veces más dulce que el azúcar, ya que 50 g de hoja de *S. rebaudiana* pueden reemplazar 1000 g de azúcar, presentando efectos hipoglucemiantes *in vitro* e *in vivo* debido a sus esteviósidos y compuestos fenólicos (Ruiz y col., 2015).

Debido a estos beneficios tanto nutrimentales como terapéuticos, su aprovechamiento es una alternativa interesante para elaborar nuevos productos alimenticios. Una modificación del estilo de vida puede mejorar la calidad de ésta en pacientes con DM tipo 2 (Dämon y col., 2015) y los alimentos funcionales ayudan, ya que no solo ofrecen un beneficio nutricional, sino que, brindan un valor agregado gracias a la presencia de componentes fisiológicamente activos (Valenzuela y col., 2014).

Se puede conocer la funcionalidad *in vivo* de un alimento mediante la determinación del Índice glicémico (IG) y la Carga glicémica (CG). Además de establecer con mayor exactitud la cantidad de carbohidratos disponibles en los alimentos, la manera en que son metabolizados por el organismo y su importancia en la dieta (Franco y col., 2013).

El IG es la respuesta al aumento de la glucemia en sangre que se produce posterior a la ingesta de un alimento comparado con un alimento de referencia en una escala de 0 a 100 (Franco y col., 2013). Un consumo de alimentos con un IG bajo demuestran mejores niveles de glucosa, insulina y lípidos en sangre; beneficiando a personas que presentan DM, resistencia a la insulina y sobrepeso (Brand-Miller, 2017). La CG relaciona la cantidad de hidratos de carbono disponibles en la ración de un alimento y su índice glicémico, se clasifica en una escala

de 0 a 20 (Guerrero y col., 2016). El consumo a largo plazo de una dieta con una CG baja está relacionada con un menor riesgo de DM tipo II (Longoria y col., 2016).

Algunos estudios utilizan yogurt para prevenir ciertas enfermedades gastrointestinales mediante la adición de ingredientes que mejoren los beneficios terapéuticos del producto, dando solución a los estilos de vida modernos y malsanos (Shori y Baba, 2011). La leche caprina es una buena materia prima para producir productos lácteos, además de ser una fuente de oligosacáridos similares a los de la leche humana (Sousa y col., 2019). La concentración de lactosa en leche bovina es alrededor de 0.2-0.5 % mayor que en la leche de cabra, favoreciendo la absorción intestinal de minerales como el calcio (Kalyankar, et al., 2016).

La tendencia mundial actual busca desarrollar nuevos productos con un valor agregado y que presenten propiedades benéficas. Sin embargo, es necesario conocer la funcionalidad *in vitro* e *in vivo* de los alimentos que confirmen sus propiedades funcionales.

El objetivo de este estudio fue evaluar la funcionalidad *in vitro* mediante la inhibición de actividad α -amilasa y α -glucosidasa e *in vivo* por medio de la determinación de Índice Glicémico y Carga Glicémica, de tres formulaciones de yogurt natural (N), yogurt con *Aloe vera* y sacarosa (AA) y yogurt con *Aloe vera* y *Stevia rebaudiana* (AS) a base de leche de cabra fermentada con *Streptococcus thermophilus*, cuyas características funcionales en forma conjunta lo hacen apto para consumo de personas sin patologías, debido a sus propiedades hipoglucemiantes.

2. Materiales y métodos

El proceso metodológico se presenta en subsecciones, en las que se describe la metodología empleada en el presente

estudio desde la elaboración de un yogurt a base de cultivos alternativos de acuerdo con el Codex Alimentarius (2011), hasta determinar su funcionalidad mediante la inhibición *in vitro* e *in vivo* de la α -amilasa y α -glucosidasa.

2.1 Elaboración de yogurt

Se prepararon tres formulaciones de yogurt: natural (N), con *Aloe vera* al 10% (Mathur y Johri, 2016) y 4% sacarosa (AA) y con *Aloe vera* al 10% y 0.04% *Stevia rebaudiana* (AS) mediante el proceso de la NOM-181-SCFI-2010.

A 100 mL de leche de cabra pasteurizada a 60 °C por 30 min, se le agregaron 119×10^5 UFC/mL de *Streptococcus thermophilus* (Jointec 203 CSL, ABIASA MEXICO) liofilizado, se incubó a 43 °C por 5 horas y se refrigeró; desarrollado de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 243 (NOM, 2010).

El *A. vera* y *S. rebaudiana* fueron proporcionadas de los campos experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

Para este estudio se utilizó el gel de *A. vera* en forma de cubos de 0.5 cm. Las hojas de *S. rebaudiana* fue deshidratada a 40 °C por 10 horas utilizando un deshidratador marca Colzer. Posteriormente se obtuvo un extracto acuoso de *S. rebaudiana* (relación 1:9, p/v) y se calculó la cantidad necesaria para este estudio de acuerdo con el dulzor con respecto a la sacarosa (Lima y col., 2022).

2.2 Evaluación de la funcionalidad *in vitro*

Se elaboró un ensayo *in vitro* de la inhibición de la actividad α -amilasa y α -glucosidasa, tomando como muestra las formulaciones de yogurt (N, AA y AS) y como testigo positivo acarboxosa.

Obtención del extracto de yogurt

Una muestra de 10 g de yogurt (N, AA, AS) se mezcló con 2.5 mL de agua destilada y su pH se ajustó a 4 con HCl 1 M, la muestra fue incubada a 45 °C por 10 min y se removieron las proteínas precipitadas por centrifugación (3,000 rpm, 10 min). Se recolectó el sobrenadante y se ajustó su pH de 7 usando NaOH al 0.5 M seguida de otra centrifugación (3,000 rpm, 10 min) para eliminar los residuos de las proteínas precipitadas, así como las sales. Se recolectó el sobrenadante y este fue utilizado para determinar la inhibición de la actividad α -amilasa y α -glucosidasa (Shori y Baba, 2014).

2.3 Inhibición de la actividad α -amilasa

Para demostrar la funcionalidad *in vitro* del yogurt se siguió el método de Shori & Baba (2011). En un tubo de ensayo protegido de la luz se colocó 100 μ L del extracto de yogurt (N, AA, AS), 100 μ L de buffer de fosfatos pH 6.9, 100 μ L de α -amilasa (4.5 U/mL) (Páncreas Porcino, Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA)), pre-incubada a 20 °C por 10 min. y 100 μ L de almidón al 1%. La mezcla se homogenizó y se incubó a 20 °C durante 30 min y la reacción se detuvo por la adición de 1000 μ L de una solución de ácido dinitrosalicílico (DNS), se incubó a 37 °C durante 5 min, y se enfrió a 25 °C. Posteriormente, la mezcla se diluyó con 5.6 mL de agua destilada y se determinó la absorbancia a 540 nm. El testigo negativo consistió en buffer de fosfatos pH 6.9 en lugar del extracto y el positivo consistió en 100 μ L de una solución de 0.44 mg/mL de acarboxosa (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA).

2.4 Inhibición de la actividad α -glucosidasa

En un tubo de ensayo protegido de la luz se colocaron 500 μ L del extracto de yogurt (N, AA, AS), 500 μ L de buffer de fosfatos pH 6.8 y 500 μ L de α -glucosidasa (1 U/mL) de *Saccharomyces cerevisiae* (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) la mezcla se homogenizó y se incubó a 37 °C por 5

minutos, posteriormente se adicionaron 500 μL de una solución de p-nitrofenil- α -D-glucopiranosido (p-NPG 5 μmol) (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) y se incubó a 37 $^{\circ}\text{C}$ durante 10 min. La absorbancia se determinó a 405 nm (Shori y Baba, 2014), los cambios de absorbancia se monitorearon en el tiempo cero y después de la incubación (de la adición del p-NPG). El control negativo consistió en buffer de fosfatos pH

6.8 en lugar del extracto y el control positivo consistió en 500 μL de una solución de 0.44 mg/mL de acarbosa (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) por ser un inhibidor ideal de las α -glucosidasas.

Los análisis fueron realizados por triplicado y el porcentaje de inhibición de la actividad α -amilasa y α -glucosidasa se calculó con la ecuación 1:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{(\Delta\text{Abs control} - \Delta\text{Abs muestra})}{\Delta\text{Abs control}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: $\Delta\text{Abs control}$: Cambios en la absorbancia del control.

$\Delta\text{Abs muestra}$: Cambios en la absorbancia de la muestra.

2.5 Evaluación de la funcionalidad *in vivo* - Ensayo clínico

Atendieron a la convocatoria 23 sujetos de etapa adulta, de los cuales 13 entraron en criterios de eliminación por factores externos (dieta y/o consumo de alcohol) que podrían afectar sus niveles de glucemias postprandiales. Se trabajó con 10 participantes que cumplieron los criterios para esta investigación.

Presentaron promedio de edad de 22.20 ± 1.98 años, el peso promedio fue de 51.68 ± 7.01 kg, talla de 158.90 ± 3.66 cm, un IMC normal de 20.45 ± 2.65 kg/m^2 , niveles de glucosa de 82.80 ± 8.06 , colesterol de 152.60 ± 15.92 y triglicéridos de 69.5 ± 35.84 .

Criterios de inclusión

Se realizó un ensayo clínico en 23 sujetos de etapa adulta (20 a 45 años) con Índice de Masa Corporal (IMC) grado I y II (normal-sobrepeso), niveles de colesterol, glucosa y triglicéridos normales, basándonos en la metodología de Méndez, et al. (2016), así como la ISO-26642 (2010), 4 entraron en criterio de eliminación y 9 por factores externos (dieta y consumo de alcohol), incluyéndose en este estudio 10 sujetos; brindándoles una carta de consentimiento informado, aprobado en el proyecto (17-

FaSPyN-SA-08) por el comité de ética de la Facultad de Salud Pública y Nutrición (FaSPyN) avalado por la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) y la Norma Oficial Mexicana 012 (NOM, 2012).

Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron sujetos de etapa adulta (mayores de 45 años) con IMC grado III (obesidad), niveles de colesterol altos (mayor a 200 mg/dL), glucosa (mayor a 126 mg/dL) y triglicéridos elevados (mayor a 150 mg/dL), que tomaban algún medicamento y mujeres embarazadas.

Criterios de eliminación

Los criterios de eliminación fueron sujetos que no concluyeron la valoración, que no pudieron consumir el alimento de prueba y sujetos que por decisión propia abandonaron el estudio.

2.6 Determinación del índice glicémico

Se citó a los participantes en 4 ocasiones, la primera cita el participante llegó en ayuno de 10 a 12 h, se le realizó una punción capilar en la yema del dedo utilizando el glucómetro (On-Call Plus) para conocer su glucosa basal en mg/dL, posteriormente se dio de 7 a 15 min para ingerir una carga glicémica estándar (pan blanco a una proporción de 25g de carbohidratos) acto seguido de la ingesta se realizaron punciones capilares a los 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min y se elaboró la curva a la

tolerancia a la glucosa, mediante la lectura de la concentración de la glucosa postprandial en mg/dL de cada punción realizada. De la segunda a la cuarta cita con una semana de diferencia entre cada una, cada participante realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente, en el cual se consumieron las formulaciones (Cita 2 (yogurt N), Cita 3 (Yogurt AA) y Cita 4 (Yogurt AS) en una proporción de 25g de carbohidratos de cada uno.

Cálculo del Índice glicémico y Carga glicémica

$$IG = \frac{(ABC \text{ formulación})}{ABC \text{ estándar}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

La carga glicémica se determinó empleando el Índice glicémico de los yogurts y la

$$CG = (IG \times \text{contenido de carbohidratos por porción}) / 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

2.7 Análisis estadístico

Las variables a evaluar *in vitro* (inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa) se analizaron por triplicado y se estimó por un diseño completamente aleatorio con una comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de ($p < 0.05$). Aplicando el programa estadístico Infostat.

Las concentraciones de glucosa postprandial de las punciones realizadas de cada una de las formulaciones se analizaron con una comparación de medias de Tukey. La determinación de Índice y Glicémico y Carga Glicémica se estimó por el área bajo la curva de la respuesta a la glucosa utilizando el método de trapecios. Aplicando el programa informático Excel.

3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo tuvieron como propósito reducir o mantener los niveles de glucosa después de ser ingerido y poder dirigir este producto especialmente a las personas diagnosticadas

Para valorar los resultados se utilizó la concentración de la glucosa postprandial en mg/dL de cada punción realizada para determinar la relación entre el área bajo la curva después de consumir cada formulación (ABC formulación) y el área bajo la curva después de consumir el alimento estándar (ABC estándar) y esta relación midió el IG de cada una de las formulaciones.

Se determinó el índice glicémico aplicando la siguiente ecuación 2:

cantidad de hidratos de carbono totales de la formulación (25 g) usando la ecuación 3:

como diabéticos; así como también a individuos sanos. Se evaluó la funcionalidad del yogurt desarrollado tanto *in vitro* como *in vivo* para poder catalogarlo como funcional, ya que existen muy pocas investigaciones en donde realizan esta acción, dejando en duda si el alimento presenta beneficios para la salud.

3.1 Actividad α -amilasa

En la Figura 1 se observa que las 3 formulaciones obtuvieron actividad inhibitoria para la enzima α -amilasa, la formulación N presentó una inhibición de 43.01% y AA de 44.66% no presentando diferencias significativas. AS presentó el porcentaje de inhibición mayor de 55.75%, mostrando diferencias significativas respecto a las anteriores. Se utilizó como control positivo la acarbosa, que tiene la propiedad de reducir el aumento postprandial de la glucosa; lo que se puede observar en la figura mediante la inhibición de la actividad amilasa del 99.6%. Este es un fármaco que también ha sido evaluado en pacientes con obesidad o sobrepeso,

reduciendo sus niveles de triglicéridos, además de provocar un efecto hipoglucemiante (Yu y col., 2021). Otros estudios demuestran que extractos de estevia empleados como endulzantes para mermeladas también han demostrado una

inhibición de la actividad α -amilasa (Ruiz y Segura, 2019). Lo que coincide con los resultados obtenidos en nuestro trabajo al obtener en la formulación AS una inhibición de más del 55% en comparación con la acarbosa.

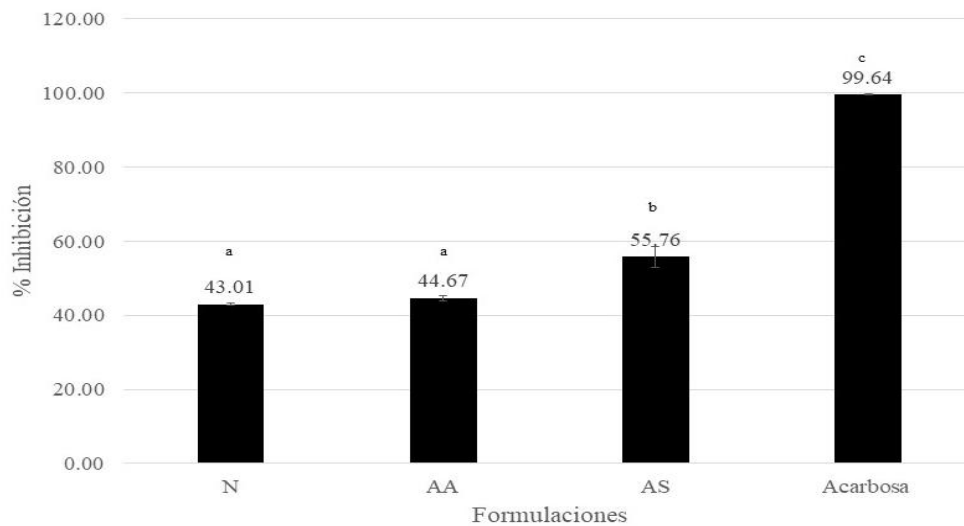


Figura 1. Inhibición de α -amilasa. Yogurt natural (N), Yogurt; 10% *A. vera* endulzada con sacarosa (AA) y Yogurt; 10% *A. vera* endulzada con *S. rebaudiana* (AS). Diferentes letras (a, b, c) indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

3.2 Actividad α -glucosidasa

Por otra parte, la figura 2 muestra la inhibición de α -glucosidasa donde la formulación N fue de 3.29% y AA de 6.35% no teniendo diferencias significativas, en

comparación con la formulación AS que obtuvo un porcentaje de inhibición 3 veces más alto de 22.87%. La acarbosa presentó una inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa de 99.64% y 99.15% respectivamente.

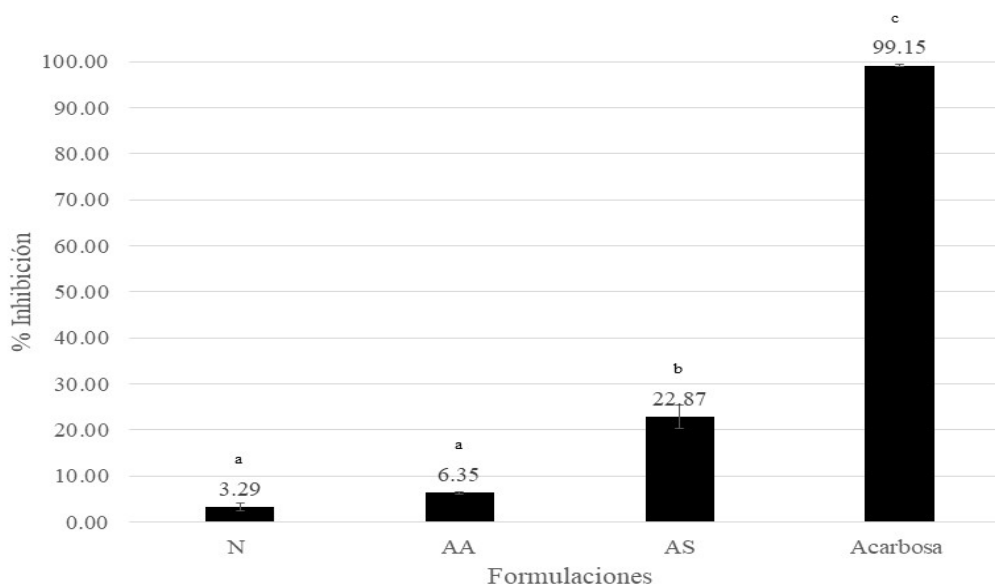


Figura 2. Inhibición de α -glucosidasa. Yogurt natural (N), Yogurt; 10% *A. vera* endulzada con sacarosa (AA) y Yogurt; 10% *A. vera* endulzada con *S. rebaudiana* (AS). Diferentes letras (a, b, c) indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Existen diferentes estudios relacionados con la elaboración de yogurt entre los que podemos mencionar el estudio realizado por Shori & Baba (2011) quienes evaluaron un yogurt de leche de vaca con extracto de Neem, presentando una inhibición de α -amilasa de 30% y una inhibición de α -glucosidasa de 4%. En el mismo año con un yogurt de leche de camello y extracto de ajo, obtuvieron una inhibición de α -amilasa de 33% y una inhibición de α -glucosidasa de 7% (Shori y Baba, 2014); comparando sus resultados con las formulaciones evaluadas en este estudio, en especial con la AS, se presentan mayores porcentajes de inhibición de α -amilasa y de α -glucosidasa. Uno de los factores que atribuye resultados de inhibición en nuestras formulaciones, son las bacterias ácido lácticas utilizadas en este estudio ya que ha sido reportado que ellas promueven a la inhibición de enzimas (Ramchandran, 2008). La formulación que obtuvo los mejores resultados de inhibición fue yogurt AS esto es debido, además de las bacterias ácido lácticas y según Djeridane et al. (2015), al agregar compuestos fenólicos de los productos vegetales, los cuales al unirse al complejo enzima-sustrato, pueden inhibir proporcionalmente la hidrólisis de los carbohidratos. Por otra parte, cuando se utiliza un extracto metanólico del *A. vera* se puede tener una inhibición de la actividad enzimática α -glucosidasa 10% menor a la obtenida con acarbosa (97%) como control (Haloluwe, 2022). Además, Pérez-Ramírez, y col. (2015) en su bebida funcional

comenta que la incorporación de *Stevia rebaudiana* en un producto conduce a un aumento en la capacidad inhibitoria de α -amilasa y α -glucosidasa, debido a los compuestos fenólicos que modifican las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa.

Es de gran importancia considerar este producto como una alternativa de alimentación ya que representa una solución a la hiperglicemia (síntoma principal de la diabetes) la cual ocurre por un rápido incremento de los niveles de glucosa en sangre debido a una dieta alta en carbohidratos y una hidrólisis de estos que se realiza gracias a la enzima α -amilasa localizada en la saliva y en los jugos pancreáticos; y de la enzima α -glucosidasa localizada en el borde del cepillo del intestino delgado.

3.3 Índice glicémico (IG) y carga glicémica (CG)

Los resultados de las glucemias obtenidas en los tiempos de ayuno y después del consumo del alimento estándar, así como de las formulaciones se muestran en la Figura 3. Se calculó el área bajo la curva de los valores de glucemias individuales para el alimento estándar y para las formulaciones (N, AS y AA), a partir de estos resultados se definió el IG y CG de cada una de las formulaciones por cada participante.

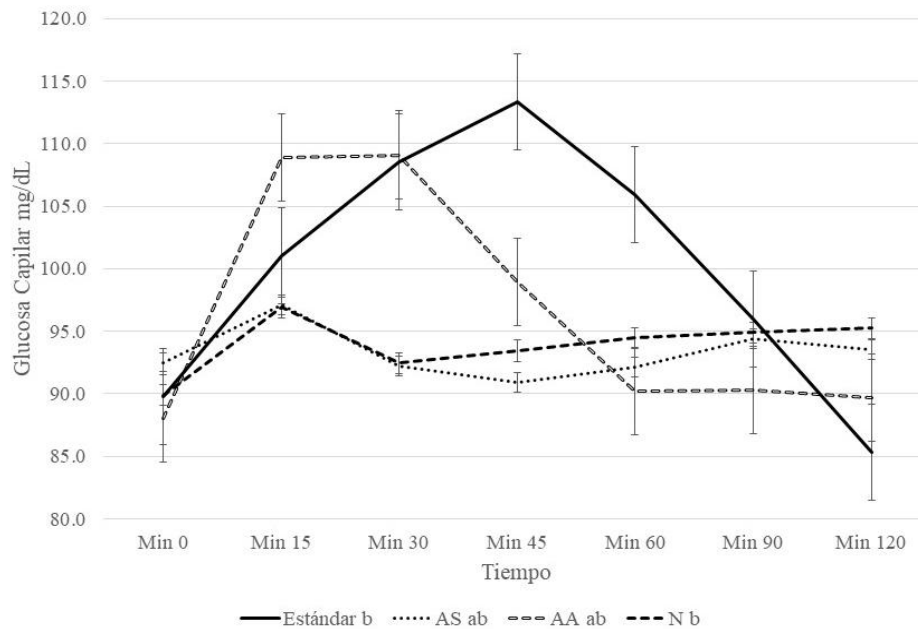


Figura 3. Curvas de glucosa postprandial. Estándar (pan blanco), Yogurt Natural (N), Yogurt, 10% *A. vera* endulzada con sacarosa (AA) y Yogurt, 10% *A. vera* endulzada con *S. rebaudiana* (AS). Nivel de significancia ($p < 0.05$).

Se presentan diferencias significativas en el comportamiento de la glucosa postprandial que al min 30, posteriormente (min 45, 60, 90 y 120) se observan diferencias significativas solo contra el alimento estándar.

El valor del índice glicémico (IG) obtenido para el yogurt N fue de 36.1 ± 15.41 , el yogurt AA de 55.5 ± 8.96 y el yogurt AS de 16.1 ± 7.77 ; así mismo, los resultados de carga glicémica (CG) para el yogurt N fue de 9.0 ± 3.80 , yogurt AA de 13.90 ± 2.24 y yogurt AS de 4 ± 1.94 .

Comparando los resultados se observa que la formulación AA presenta un IG y una CG media, la formulación N presenta un IG y CG bajos, por otra parte, la mejor formulación fue AS que presentó el IG y CG más bajo; de acuerdo con Östan, et al. (2001) quien concluye en su trabajo con productos lácteos fermentados, estos presentan IG bajos asociándose al tratamiento no farmacológico de pacientes con diabetes o prevención de dicha patología. Un factor que contribuye a los resultados de las 3 formulaciones es el

proceso de fermentación, el cual hidroliza los carbohidratos de la leche formando disacáridos y ácidos orgánicos, disminuyendo su biodisponibilidad según Guerrero Morales, et al. (2016) quién midió el IG de diferentes productos lácteos. Se ha reportado que las proteínas lácteas reducen la glucemia, aunque las proteínas de la leche estimulan la insulina ayudando a una rápida digestión; además la grasa láctea es un importante regulador de las respuestas metabólicas (Panahi, et al., 2014) (Alcantar, et al., 2013). Los factores que promueven a un IG y CG más bajo, y las diferencias significativas en las glucosas postprandiales en la formulación AS es, además del proceso de fermentación, el incluir productos vegetales (*Aloe vera* y *Stevia rebaudiana*). La viscosidad de la fibra soluble contenida en *Aloe vera* reduce la absorción de carbohidratos en el intestino, bajando así la respuesta glucémica en alimentos con contenido de hidratos de carbono (Aston, et al., 2014). Góngora, et al. (2018) en su investigación reportan que a comparación de la sacarosa la *Stevia rebaudiana*, no es un carbohidrato de rápida absorción y debido a sus glucósidos de

esteviol es un endulzante sin calorías con efectos hipoglucemiantes, lo que la hace un atractivo sustituto de azúcar.

De acuerdo con estudios realizados hasta el momento, esta investigación es innovadora ya que la materia prima principal (leche de cabra) aunque tiene una producción de 88.6 litros por cabra anuales en Coahuila, México; su demanda poblacional de consumo y producción de productos lácteos es poca, aunque con potencial aplicación en la producción de yogurt (Hernández, et al., 2016). La adición de *Aloe vera* representa eficacia terapéutica gracias a sus polisacáridos y compuestos fenólicos, presentando efectos antihipertensivos, hipoglucemiantes y antiulcerosos (Radha y Laxmipriya, 2015), así como la *Stevia rebaudiana* que tiene efectos hipoglucemiantes *in vitro* e *in vivo* debido a sus esteviósidos y compuestos fenólicos.

Se observó que las 3 formulaciones presentaron propiedades funcionales al inhibir enzimáticamente la α -amilasa y α -glucosidasa y al momento de ser consumidas por los pacientes se absorbieron en el torrente sanguíneo lentamente dejando el nivel de glucosa en la sangre más uniforme, presentado índices glicémicos de medio a bajos. Las 3 formulaciones (N, AA y AS), al incluir productos vegetales como el *Aloe vera* beneficia el potencial de inhibición y a bajar el IG en las formulaciones AA y AS, debido al contenido rico de fibra soluble. Al endulzar con sacarosa la formulación AA disminuye los beneficios antes mencionados, en comparación de la formulación AS que fue endulzado con *Stevia rebaudiana* la cual, al ser un producto natural, gracias a sus compuestos fenólicos y glucósidos de esteviol un mayor potencial de inhibición enzimática, así como un IG más bajo, de manera que deben de ser cuantificados en próximas investigaciones para correlacionar dichos resultados.

4. Conclusiones

Al evaluar *in vivo* las 3 formulaciones de yogurt, se estableció que la mejor formulación es el prototipo AS adicionado con *Aloe vera* y *Stevia rebaudiana* ya que presenta una inhibición α -amilasa y α -glucosidasa de 55.75% y 22.87% respectivamente, teniendo relación con los estudios *in vitro* donde su IG fue de 16.1 y CG de 4, concluyendo que es un alimento funcional que podría mejorar la calidad de vida de personas sanas y con futuros estudios podría ser una alternativa para personas con diabetes. Esta investigación debe seguir siendo estudiada a profundidad conociendo los compuestos fenólicos, el contenido de ácidos grasos, aminoácidos y péptidos bioactivos que contiene la formulación identificando, no solo por bibliografía, que atribuye su funcionalidad, trabajar en un futuro con pacientes diabéticos evaluando su hemoglobina glucosilada corroborando las propiedades funcionales del producto.

Agradecimiento

Los autores agradecen el poder realizar esta investigación, que fue financiada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México a través de una beca de estudios de posgrado, con número de becario 611600. Financiamiento por parte de Sumorg de México, SA de CV., Proyecto: *YALoe-2020-2023-UAdeC* para el desarrollo de este producto.

Referencias

1. Alcantar Rodríguez, V., González Rosendo, G., Rodríguez Murguía, N., Villanueva Sánchez, J., Quintero Gutiérrez. (2013). Índice glucémico en alimentos compuestos, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7786651>, Rev Esp Nutr Comunitaria, 19 (4), 216-223 (2013).
2. Aston LM., Gambell JM., Lee DM., Bryant SP., Jebb SA., Determination of the glycaemic index of various staple carbohydrate-rich foods in the UK diet,

- <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602723>, Eur J Clin Nutr, 62, 279-285 (2009).
3. Brand-Miller, J., Glicemic Index. <http://www.glycemicindex.com/about.php>, University of Sydney, Glicemic Index, (2017).
 4. Codex alimentaris, Leche y productos lacteos, segunda edición, <https://www.fao.org/3/i2085s/i2085s.pdf>, FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ISSN 1020-2579, 2011.
 5. Cuvas R., Montañez J., Contreras JC., Cruz M., Mussatto S. and Belmares R., *Aloe vera* and Probiotics: A New Alternative to Symbiotic Functional Foods, <https://doi.org/10.9734/ARRB/2016/22622>, Ann Reser & Rev Biol, 9 (2), 1-11, (2016).
 6. Dämon S., Schätzer M., Hö J., Tomasec G., Hoppichler F., Nutrition and diabetes mellitus: an overview of the current evidence, <https://doi.org/10.1007/s10354-011-0888-4>, Wien. Med. Wochenschr, 161, 282-288, (2011).
 7. Dasgupta N., Muthukumar SP., Murthy PS., Solanum nigrum Leaf: Natural Food Against Diabetes and its Bioactive Compounds, <https://scialert.net/abstract/?doi=rjmp.2016.181.193>, Res J Med Plant, 10, 181-193, (2016).
 8. Djeridane A., Hamdi A., Bensania W., Cheifa K., Lakhdari I., Yousfi M., The in vitro evaluation of antioxidative activity α -glucosidase and α -amylase enzyme inhibitory of natural phenolic extracts, <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2013.10.007>, Res Rev, 9 (4), 324-331, (2015).
 9. ENSANUT. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016, http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/encuestas/resultados/ENSA_NUT.pdf, 2016.
 10. Franco-Mijares AC., Cardona-Pimentel G., Villegas-Canchola KP., Vázquez-Flores L., Juareui-Vega P., Jaramillo-Barrón E., Nava A., Sobre el índice glucémico y el ejercicio físico en la nutrición humana. www.medigraphic.com/elresidente, El Residente, 8 (3), 89-96, (2013).
 11. Guerrero Morales JC., Rosas Romero R., García Zepeda RA., Oropeza Hernández R., Ruiz Jiménez S., Ríos Chávez AN., Cervantes Covarrubias L., Determinación del índice glucémico y la carga glucémica de productos lácteos fermentados en sujetos adultos sanos, sedentarios y deportistas, <http://dx.doi.org/10.20960/nh.572>, Nutr Hosp, 33, 1095-1101, (2016).
 12. Góngora Salazar VA., Vázquez Encalada S., Corona Cruz A., Segura Campos MR., Stevia rebaudiana: A sweetener and potential bioactive ingredient in the development of functional cookies, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.03.007>, J Func Foods, 44, 183-190, (2018).
 13. Haloluwe Kankanamge S.T., Chalani Oshala H., Katugampalage Don Prasanna P.G. Evaluation of functional properties in ready-to-drink beverage formulated with *Kalanchoe pinnata* (Akkapana) and *Aloe vera*, <https://doi.org/10.22059/jfabe.2022.348521.1128>, J Food Bioprocess Eng, 5(2): 168-177, (2022).
 14. Hernández-Monzón, A., Torres-Herrera, A., Duarte-García, C., Rodríguez Villacis, D. Desarrollo de una leche fermentada de cabra con cultivos probióticos. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445546669002>, Tecnol Quim, 36 (3), 321-336, (2016).

15. ISO-26642. ISO 26642:2010 Food products. Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. <https://www.iso.org/standard/43633.html>, (2010).
16. Kalyankar SD., Khedkar CD., Patil AM., Goat: Milk, Encyclopedia of Food and Health, Primera Edición, Elsevier Ltd, ISBN: 9780123849472, 358, United Kingdom. (2016).
17. Lima Illescas, Miriam Verónica; Jiménez Jaramillo, Diego José; Porras Polo, Claudia Adriana; Maurat Argudo, Andrea Karina; Álvarez Álvarez, Diana Patricia. Efectos de azúcares totales sustitutos de sacarosa en la salud bucal. <https://doi.org/10.37135/ee.04.14.11>, Revista Eugenio Espejo, 16 (2), 101-108, (2022).
18. Longoria-García, S., Belmares-Cerda, R. E., Flores-Verástegui, M. I., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez-Sáenz, J. C., & Cruz-Hernández, M. A., Prebiotics, Probiotics, Synbiotics and Functional Foods in Control and Treatment of Type II Diabetes Mellitus and Colorectal Cancer. Probiotics and Prebiotics in Human Nutrition and Health, Edition First, Venketeshwer Rao, ISBN: 978-953-51-2476-4, 17, 345-362, London, United Kingdom, (2016).
19. Lordan S., Smyth TJ., Soler-Vila A., Stanton C., Ross, RP. The α -amylase and α -glucosidase inhibitory effects of Irish seaweed extracts, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.123>, *Food Chem.* 141 (3), 2170–2176, (2013).
20. Mathur R. and Johri N., Nutritional composition of *Stevia rebaudiana*, a sweet herb, and its hypoglycaemic and hypolipidaemic effect on patients with non-insulin dependent diabetes mellitus. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7627>, *J Sci Food Agric*, 96 (12), 4231-4234, (2016).
21. Méndez López LF., Melendez Corral M., Cerda Flores RM., de la Garza Hernández AL., Ramírez López E., Ibarra Salas M., Garza Juárez, AdeJ., Standardization and Glycemic Index of a Traditional Oat (*Avena sativa*) Beverage. <http://pubs.sciepub.com/jfnr/4/6/7>, *J. Food Nutr Res*, 4 (6), 388-393, (2016).
22. Narayana, N.K., Govinda, G., Kumari, A.V. and Palliyaguru, O.G. Effect of sugar replacement with stevia on quality of vanilla flavoured cow milk set yoghurt, [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).548](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).548), *Food Res*, 6 (5): 174-182, (2022).
23. Norma Oficial Mexicana, NOM-012-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284148&fecha=04/01/2013, (2012).
24. Norma Oficial Mexicana, NOM-181-SCFI-2010, Yogurt Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4209/seeco/seeco.htm>, (2010).
25. Norma Oficial Mexicana: NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. <http://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>, (2010).
26. Östman EM., Liljeberg Elmståhl HGM., Björck, IME. Inconsistency between glycemic and insulinemic responses to regular and fermented

- milk products.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/74.1.96>,
Am. J. Clin. Nutr. 74(1), 96-100,
(2001).
27. Panahi S., Khoury D., Kubant R., Akhavan T., Luhovyy B., Goff D., Anderson GH., Mechanism of action of whole milk and its components on glycemic control in healthy young men. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.07.002>, J. Nutr. Biochem. 25 (11), 1124-1131, (2014).
 28. Pérez-Ramírez I., Castaño-Tostado E., De León J., Rocha-guzmán N., Reynoso-Camacho R., Effect of stevia and citric acid on the stability of phenolic compounds and in vitro antioxidant and antidiabetic capacity of a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.126>, Food Chem. 172, 885–892, (2015).
 29. Radha, M. H., & Laxmipriya, N. P., Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of *Aloe vera*: A systematic review, <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.10.006>, J Tradit Complement Med. 5 (1), 21–26, (2015).
 30. Ramchandran L., Shah NP., Proteolytic profiles and angiotensin-I converting enzyme and α -glucosidase inhibitory activities of selected lactic acid bacteria, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00643.x>, J. Food Sci, 73 (2), 75-81, (2008).
 31. Ramesh P., Raj S., Suneel O., Satvinder S., Shaik H., Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of *Aloe vera* Extract Preparations: A Review, <https://doi.org/10.1002/ptr.5532>, Phytother Res, 30, 200-207, (2006).
 32. Ruiz-Ruiz JC., Moguel-Ordoñez YB., Matus-Basto AJ., Segura-Campos MR. Antidiabetic and antioxidant activity of *Stevia rebaudiana* extracts (var. Morita) and their incorporation into a potential functional bread, <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1883-3>, J. Food Sci Tech, 52 (12), 7894-7903, (2015).
 33. Ruiz Ruiz JC, Segura CamposMR. Development of nopal-pineapple marmalade formulated with stevia aqueous extract: effect on physicochemical properties, inhibition of α -amylase, and glycemic response, <http://dx.doi.org/10.20960/nh.02048>, Nutr Hosp., 36 (5), 1081-1086, (2019).
 34. Shivani Chauhan, Pratik Powar and Rahul Mehra. A review on nutritional advantages and nutraceutical properties of cow and goat milk. <https://doi.org/10.22271/allresearch.2021.v7.i10b.9025>. Int J Appl Res, 7(10), 101-105, (2021).
 35. Shori AB., Baba AS. Antioxidant activity and inhibition of key enzymes linked to type-2 diabetes and hypertension by *Azadirachta indica*-yogurt, <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.006>, J Saudi Chem Soc, 17 (3), 295-301, (2011).
 36. Shori AB., Baba AS. Comparative antioxidant activity, proteolysis and in vitro α -amylase and α -glucosidase inhibition of *Allium sativum*-yogurts made from cow and camel milk, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2011.09.014>, J Saudi Chem Soc, 18 (5), 456-463. (2014).
 37. Sousa Yasmim, B. Medeiros Larissa, Pintado Manuela, Queiroga Rita, Goat milk oligosaccharides: Composition, analytical methods and bioactive and nutritional properties. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.052>, Trends Food Sci Technol, 92, 152-161, (2019).
 38. Valenzuela A., Valenzuela R., Sanhueza J., Morales G. Alimentos

funcionales, nutraceúticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?,

<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182014000200011>, Rev Chil Nutr, 41 (2), 198-204, (2014).

39. Ai-Qing Yu, Jiong Le, Wen-Tao Huang, Bin Li, Hui-Xin Liang, Qun Wang, Yu-Ting Liu, Charlotte-Aimee Young, Mei-Ying Zhang & Shu-Lan Qin. The Effects of Acarbose on Non-Diabetic Overweight and Obese Patients: A Meta-Analysis, <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01602-9>, Adv Ther 38, 1275–1289, (2021).
40. Zhang S., Li XZ., Inhibition of α -glucosidase by polysaccharides from the fruit hull of *Camellia oleifera*, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.059>, Carbohydr Polym, 115 (22), 38-43, (2015).