

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE EDULCORANTES EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FUNCIONALES DE UN PRODUCTO PANIFICABLE

Cruz-Guevara Denisse (1,2), Franco-Robles Elena (3), Ozuna César (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [d.cruzguevara@ugto.mx]

2 [Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [cesar.ozuna@ugto.mx]

3 [Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [e.franco robles@ugto.mx]

Resumen

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto del reemplazo total de sacarosa por diferentes tipos de edulcorantes (extracto de estevia, miel de agave y sucralosa líquida) en las propiedades físicas de un producto panificable y su repercusión en el consumo y niveles de glucosa en la sangre en sistemas *in vivo*. Se elaboraron galletas tipo María empleando los diferentes edulcorantes estudiados. Posteriormente, se midió su pH, actividad de agua, humedad y coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*). Las cuatro formulaciones de galletas desarrolladas fueron administradas de forma individual a grupos de ratones hembra ($n=4$) de la cepa C57BL/6. El consumo del producto se midió diariamente y la determinación de los niveles de glucosa en sangre se llevó a cabo a las 0, 4 y 8 semanas del experimento. Las propiedades físicas del producto se vieron afectadas significativamente ($p<0.05$) con el reemplazo de sacarosa por los otros edulcorantes estudiados, siendo estos más pronunciados al emplear sucralosa líquida y miel de agave. Sin embargo, solamente el uso de miel de agave contribuyó a una reducción significativa ($p<0.05$) de niveles de glucosa en sangre en sistemas *in vivo* en comparación con sacarosa.

Abstract

The aim of this research was to study the effect of the total replacement of sucrose by different types of sweeteners (stevia extract, agave syrup and liquid sucralose) on the physical properties of a bakery product and its impact on consumption and blood glucose levels in live systems. Marie biscuits were prepared using the different sweeteners studied. Subsequently, their pH, water activity, humidity, and chromatic coordinates (L^* , a^* and b^*) were measured. The four different biscuit types were administered individually to groups of female mice of C57BL/6 strain ($n=4$). The consumption of the product was measured daily, and the determination of blood glucose levels was carried out at 0, 4, and 8 weeks of the experiment. The physical properties of the product were affected significantly ($p<0.05$) by the replacement of sucrose by the other sweetening compounds, the changes being more pronounced when liquid sucralose and agave syrup were used. However, only the use of agave syrup contributed to a significant ($p<0.05$) reduction in blood glucose levels in *in vivo* systems compared to sucrose.

PALABRAS CLAVE

Galletas; Sacarosa; Estevia; Miel de Agave; Sucralosa; Glucosa.

INTRODUCCIÓN

La diabetes, considerada una de las mayores causas de mortalidad en México, es una enfermedad crónica degenerativa con predisposición hereditaria y favorecida por factores ambientales. La incidencia de la diabetes ha ido en aumento debido a la prevalencia de la obesidad y la falta de actividad física en la población. En consecuencia, el paciente diabético requiere de un adecuado y controlado plan de alimentación que le permita mantener una glucemia óptima y evite complicaciones crónicas [1]. Por tal motivo, los edulcorantes han ido ganando espacio en el desarrollo de alimentos debido a que estos proporcionan las mismas cualidades y sensaciones que produce la sacarosa. Además, estos han mostrado brindar beneficios adicionales tales como ser hipocalóricos, poseer un bajo índice glucémico y tener un poder edulcorante superior a la sacarosa [2].

En la industria de panificación se han empleado diferentes edulcorantes (estevia, sucralosa, acesulfame K, entre otros) para el reemplazo total o parcial de la sacarosa debido a su termoestabilidad a altas temperaturas y su pH. Sin embargo, en los últimos años han surgido investigaciones que sugieren el uso de la miel de agave como una opción a los edulcorantes artificiales por sus propiedades tecnológicas y nutricionales [3-5]. Pese a esto, son escasos los trabajos que estudien la repercusión que tienen los alimentos elaborados con estos edulcorantes en sistemas *in vivo*. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación fue estudiar el efecto del reemplazo total de sacarosa por diferentes tipos de edulcorantes (estevia, miel de agave y sucralosa) en las propiedades físicas de un producto panificable y su repercusión en el consumo y niveles de glucosa en sangre en sistemas *in vivo*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración del producto panificable

Para la elaboración de la galleta tipo María se tamizó 575 g de harina de trigo con 80.2 g de sacarosa y 7 g de levadura. Enseguida se adicionó a esta mezcla 50 mL de huevo, 80 mL de leche, 10 mL de extracto de vainilla y 153 mL de mantequilla en forma líquida. Posteriormente, los ingredientes fueron mezclados en una batidora (MK45SSWH, KitchenAid, EUA) durante 10 min a alta velocidad. Transcurrido el tiempo de batido, la masa obtenida se laminó con un rodillo comercial y se cortaron las galletas con un molde circular de aproximadamente 5 cm de diámetro. Finalmente, las galletas se hornearon en un horno eléctrico (TSSTTVSKBT, Oster, México) a 175°C durante 7 min. Para realizar el reemplazo total de sacarosa (Aurrera, México), tratamiento A, por los edulcorantes estudiados se consideró que 100 g de sacarosa equivale a 1 g de extracto de estevia (Sweet Green Fields, China), tratamiento B1 [6], 75 g de miel de agave (Mieles Campos, México), tratamiento B2 [7] y a 1.75 g de sucralosa en forma líquida (Daily Foods, EUA), tratamiento B3. Esta última equivalencia fue tomada de acuerdo con lo reportado en la etiqueta del producto.

Evaluación de las propiedades físicas del producto

La determinación del pH del producto se realizó a través de un medidor de pH digital (Thermo Scientific™, Orion Star A214, EUA) [3]. Para la actividad de agua (a_w) se empleó 2.5 g de muestra triturada la cual fue depositada en la cápsula del medidor digital de a_w (AquaLab PRE, Meter Group Inc., EUA) y se llevó a cabo la lectura a temperatura ambiente [8]. La humedad del producto se midió según el método de secado en estufa descrito por Kirk et al. [9]. Las coordenadas cromáticas de la corteza de las muestras se midieron empleando un colorímetro (Hunterlab, ColorFlex EZ, EUA), de acuerdo con el sistema CIE $L^* a^* b^*$; donde la L^* mide luminosidad en una escala de 0 a 100, de negro a blanco; a^* indica (+) rojo o (-) verde; y b^* indica (+) amarillo o (-) azul. La diferencia global de color en la corteza de las muestras elaboradas con edulcorantes en comparación con el control (sacarosa) se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (b)^2}; \Delta L = L - L_0; \Delta a = a - a_0; \Delta b = b - b_0;$$

donde L_0 , a_0 y b_0 representan los valores las coordenadas cromáticas de la corteza del producto elaborados con sacarosa.

Estudio *in vivo*

Se realizó un estudio experimental comparativo de consumo y de niveles de glucosa en ratones sanos confinados en el Laboratorio de Diagnóstico Clínico de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato. El estudio *in vivo* se llevó a cabo empleando 16 ratones hembras de la cepa C57BL/6 con 6 semanas de edad. Los ratones fueron divididos de forma equitativa y aleatoria en cuatro grupos (A: sacarosa, B1: extracto de estevia, B2: miel de agave y B3: sucralosa líquida) y diariamente fueron alimentados *ad-libitum* con una dieta a base de galletas elaboradas con su respectivo edulcorante. El consumo de alimento y de agua se midió diariamente.

La determinación de glucosa se realizó con sangre total tomada directamente de la incisión en la punta de la cola del ratón a los 0, 4 y 8 semanas. Posteriormente, la muestra colectada fue medida a través de un aparato de medición de glucosa (Ultra 2, One Touch, México). Los resultados obtenidos fueron expresados como mg de glucosa por dL de sangre total (mg/dL). Al término del experimento (8 semanas), los ratones fueron sacrificados siguiendo las consideraciones éticas que dicta la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 [10].

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y un test de diferencia mínima significativa (LSD, por su sigla en inglés). Para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las formulaciones, los datos experimentales se analizaron mediante el programa estadístico Statgraphics versión 16.

RESULTADOS

Efecto del tipo de edulcorante empleado en las propiedades físicas del producto final

La Tabla 1 muestra la influencia del tipo de edulcorante empleado en las propiedades físicas del producto final. El valor del pH del producto final se vio afectado significativamente por la sustitución total de sacarosa por extracto de estevia y miel de agave ($p < 0.05$). Respecto a los valores obtenidos de pH en esta investigación, Lynn [3] reporta valores cercanos de pH en galletas elaboradas a base de miel de agave ($\text{pH} = 7.43 \pm 0.05$). Por otro lado, la incorporación de sucralosa contribuyó a preservar el valor del pH en las galletas con respecto a aquellas elaboradas con sacarosa.

Los valores de a_w obtenidos en los cuatro tratamientos oscilaron en un rango de 0.26 ± 0.01 y 0.45 ± 0.01 . De acuerdo con Badui-Dergal [11], los productos de panificación que presentan un valor de a_w inferior a 0.45 tienen una mayor estabilidad, pues se encuentran por debajo de la zona de valores de a_w donde ocurren reacciones oxidativas de los lípidos y el crecimiento de mohos y levaduras. Por otro lado, el reemplazo total de la sacarosa por los otros edulcorantes estudiados provocó cambios significativos en el valor de a_w del producto final ($p < 0.05$). Estos valores fueron más altos para las galletas elaboradas con edulcorantes líquidos (miel de agave y sucralosa) e inferiores para aquellas formuladas con edulcorantes en estado sólido (sacarosa y extracto de estevia). Existen estudios que demuestran que la sacarosa compite con la harina por agua durante el proceso de mezclado y horneado en productos de panificación [12]. Maldonado et al. [13] indican que el incremento de la concentración de sólidos en la elaboración de un alimento está estrechamente relacionado con la disminución en su contenido de agua.

Tabla 1. Efecto del tipo de edulcorante empleado (A: sacarosa, B1: extracto de estevia, B2: miel de agave y B3: sucralosa líquida) en el pH, a_w , humedad, coordenadas cromáticas en el producto panificable final. Los superíndices a, b, c, y d muestran diferencias establecidas a partir de un análisis de medias para intervalos de confianza LSD ($p < 0.05$).

Tratamiento	pH	a_w	Humedad (%)	Coordenadas cromáticas			
				L*	a*	b*	ΔE
A	6.37±0.07 _a	0.28±0.03 _c	4.22±0.38 _d	79.33±0.81 _b	4.99±0.49 _b	28.24±0.82 _b	-
B1	6.27±0.08 _b	0.26±0.01 _d	6.14±0.01 _c	80.15±1.34 _{ab}	4.16±0.38 _c	28.95±1.53 _b	2.16±0.79 _c
B2	6.13±0.13 _c	0.45±0.01 _a	7.58±0.40 _a	76.67±1.08 _c	7.08±1.39 _a	32.34±1.32 _a	5.82±0.72 _b
B3	6.39±0.08 _a	0.42±0.01 _b	6.86±0.55 _b	80.63±1.11 _a	2.90±0.19 _d	26.26±0.79 _c	8.48±1.18 _a

En el caso del porcentaje de humedad del producto final, los valores obtenidos se encuentran en un rango de 4.22±0.38 y 7.58±0.40%. De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-006-1983, una galleta comercial debe poseer un contenido de humedad inferior al 8%. Por lo tanto, los productos obtenidos en esta investigación cumplen con el requerimiento que esta norma determina para este parámetro. Respecto al efecto de la sustitución total de sacarosa por otros edulcorantes en el contenido de humedad del producto panificable, este hecho provocó cambios significativos en el porcentaje de humedad ($p < 0.05$). Las tendencias observadas en este parámetro fueron similares a aquellas obtenidas en a_w , debido a que ambos parámetros se encuentran estrechamente relacionados.

Respecto a las coordenadas cromáticas de la corteza del producto final, la sustitución total de sacarosa por edulcorantes produjo cambios significativos en los valores de L, a* y b* ($p < 0.05$) en comparación con el control (sacarosa). Estos cambios fueron más pronunciados en aquellos productos elaborados con miel de agave y sucralosa (B2 y B3, respectivamente). En el caso de la diferencia global de color con respecto al control (ΔE), valores superiores a 3 en este parámetro están relacionados con diferencias de color perceptibles al ojo humano [14]. En este sentido, los productos elaborados con miel de agave presentaron mayores diferencias globales de color con respecto al control. Este efecto puede ser atribuido al desarrollo de las reacciones de Maillard que ocurren durante el horneado de productos de panificación, siendo la fructosa, azúcar reductor presente mayoritariamente en la miel de agave, el que comúnmente participa en el paso de iniciación. Los múltiples pasos de las reacciones de Maillard pueden conducir a la formación de melanoidinas, que son polímeros pardos que provocan cambios visibles de color [15].

Efecto del tipo de edulcorante empleado en la elaboración del producto panificable sobre el consumo y niveles de glucosa en sistemas *in vivo*

La Imagen 1 muestra el efecto del tipo de edulcorante empleado en la elaboración del producto panificable sobre el consumo total por grupo (Imagen 1.I) y niveles de glucosa en sangre (Imagen 1.II) en ratones hembras de la cepa C57BL/6 a las 4 y 8 semanas de tratamiento. En el consumo total por grupo se observa que a lo largo del experimento no existió diferencia significativa en este parámetro ($p > 0.05$). Este hecho indica que los efectos que se pudiesen observar en esta investigación no se encuentran relacionados con la cantidad del alimento ingerido.

Respecto a los niveles de glucosa en sangre, el valor de este parámetro al inicio del experimento fue de 115.00±31.95 mg/dL. Como puede observarse en la Imagen 1.II, durante las primeras 4 semanas de tratamiento, los niveles de glucosa incrementaron en todos los tratamientos con respecto al valor inicial. Al comparar el efecto del tipo de edulcorante, los ratones alimentados con galletas elaboradas con sacarosa presentaron concentraciones de glucosa significativamente más altas (200.97±26.89 mg/dL) en comparación a los aquellos que fueron alimentados con los productos elaborados con otros edulcorantes ($p < 0.05$). Por otro lado, la incorporación de miel de agave en los

productos indujo una reducción la concentración de glucosa en sangre (133.67 ± 35.39 mg/dL). Respecto a las 8 semanas del experimento, los cuatro tratamientos disminuyeron los niveles de glucosa con respecto a las 4 semanas. Sin embargo, pese a no existir diferencias significativas entre los diferentes edulcorantes, se mantuvo una tendencia similar al primer mes, siendo la miel de agave la que mostró niveles de glucosa más bajos (124.67 ± 14.47 mg/dL).

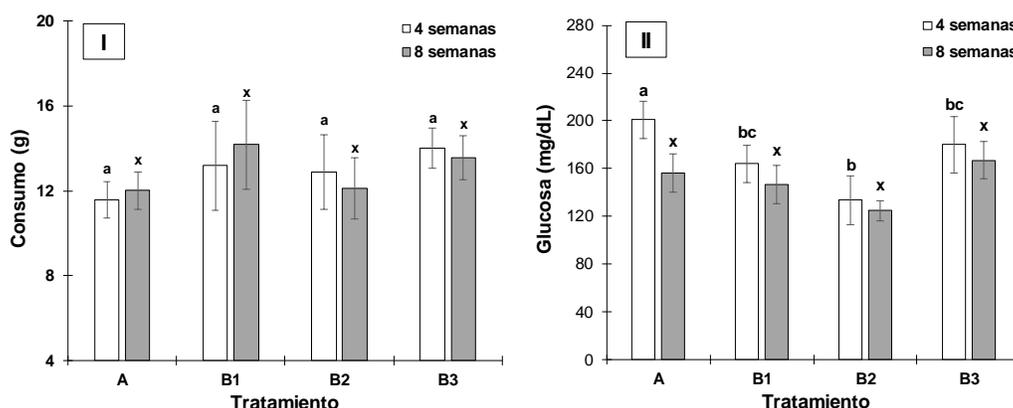


IMAGEN 1. Efecto del tipo de edulcorante empleado (A: sacarosa, B1: extracto de estevia, B2: miel de agave y B3: sucralosa líquida) en la elaboración del producto panificable (galleta tipo María) en el consumo (I) y niveles de glucosa en sangre (II) en ratones hembra de la cepa C57BL/6 a las 4 y 8 semanas de tratamiento. Los superíndices (a,b y c) y (x) muestran diferencias establecidas a partir de un análisis de medias para intervalos de confianza LSD ($p < 0.05$).

García-Pedraza [5] evaluó el efecto de diferentes concentraciones de jarabe de maguey pulquero (*Agave salmiana*) rico en fructosa en ratas de la cepa Wistar inducidas con hiperglucemia. Los resultados mostraron una disminución significativa en los niveles de glucosa incluso con respecto al grupo control (sin inducción de hiperglucemia), siendo la mayor reducción de niveles de glucosa en una concentración de 0.5 g de fructosa en jarabe por kg de peso. De igual forma, Hooshmand et. al [16] muestran que el consumo de miel de agave en sistemas *in vivo* redujo significativamente ($p \leq 0.05$) el contenido de glucosa plasmática en comparación con los ratones alimentados con sacarosa (77.8 ± 12.2 y 111.0 ± 27.9 mg/dL, respectivamente). Este efecto atribuido a la miel de agave está relacionado con la habilidad que tiene la fructosa para estimular la actividad de la glucoquinasa (enzima que en el hígado estimula la recaptura de la glucosa) y la síntesis de glucógeno durante el periodo posprandial, cuya actividad es dañada por la hiperglucemia en la diabetes tipo 2. Así, la estimulación de la glucoquinasa por la fructosa provoca la conversión de glucosa a glucógeno y con ello la captación hepática de más glucosa sanguínea, con lo cual se disminuye la hiperglucemia.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, la sustitución total de sacarosa por edulcorantes resultó tener efectos significativos sobre los parámetros físicos del producto final, siendo estos más pronunciados en aquellos productos elaborados con sucralosa líquida y miel de agave. Crucialmente, el uso de miel de agave en este producto panificable contribuyó a una reducción de niveles de glucosa en sangre en sistemas *in vivo*. Por lo tanto, la miel de agave puede representar una alternativa interesante de edulcorante en la elaboración de alimentos para personas diabéticas, inclusive en los productos horneados. Sin embargo, sería necesario profundizar en el efecto de los edulcorantes estudiados en otros parámetros bioquímicos y hematológicos que permitieran corroborar las afirmaciones planteada en esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Reyes-Ramírez, M. P., Morales-González, J. A. & Madrigal-Santillán, E.O. (2009). Diabetes. Tratamiento nutricional. Medicina Interna de México, 25(6), 454-460.
- [2] Durán A., S., Córdón A., K. & Rodríguez N., M. P. (2013). Non-nutritive sweeteners risks, appetite and weight again. Revista Chilena de Nutrición, 40(3), 309-314.
- [3] Lynn, D. K. (2012). Analysis of the relationship between sweetener properties and variations in both functionality and final product characteristics (Tesis de Licenciatura). Clemson University, South Carolina, United States.
- [4] Clemente-Vázquez, A. K. (2014). Formulación y evaluación de galletas de trigo elaborados con fuentes edulcorantes no convencionales, (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ciencia Animal. Saltillo, Coahuila, México.
- [5] García-Pedraza, L. G., Juárez-Flores, B. I, Pinos-Rodríguez, J. M., Martínez-Morales, J. F., Santoyo-Pérez, M. E. & Michel-Cuello, C. (2006). Evaluación de jarabe de maguey mezcalero rico en fructosa (*Agave salmiana*) en ratas diabéticas, (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- [6] Rivas-Rodríguez, C. L., Vásquez-Figueroa, R. J. & Vásquez-Pérez, K. L. (2014). Formulación y desarrollo de productos de panadería y mermeladas con bajo contenido calórico utilizando stevia como edulcorante natural (Tesis de Licenciatura). Universidad de el Salvador. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. Salvador.
- [7] Urias-Silvas, J. E., López-Pérez, M. G. (2009). Agave spp. and Dasyliirion sp. fructans as a potential novel source of prebiotics. Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology, 3(1), 59-64.
- [8] Pestorić, M., Sakac, M. Pezo, L., Skrobot, D., Nedeljkovic, N., Jovanov, P. Simurina, O. & Mandic, A. (2017). Physicochemical characteristics as the markers in predicting the self-life of gluten-free cookies. Journal of Cereal Science, 77(1), 172-179.
- [9] Kirk, R., Sawyer, R., Egan, H. (2005). Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. Segunda edición. Editorial CECSA. México.
- [10] Normas Oficiales Mexicanas. NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.
- [11] Badui-Dergal, S. (2006). Química de los Alimentos (4ta Edición). Naucalpan de Juárez, Edo. de México. Pearson Educación.
- [12] Chinachoti, P. (1995). Carbohydrates: functionality in foods. American Journal of Clinical Nutrition, 61(4), 992-929.
- [13] Maldonado, M., Fonzar, M., Carparelli, A., Polenta, G., Vaudagna, S., Denoya, G., Noelia, R. (2015). Cerezas en conserva con polialcoholes: una alternativa para consumidores con regímenes especiales. La Alimentacion Latinoamericana 371(1) 46-52.
- [14] Schlapfer, K. (2002). Colorimetría en la industria pesquera. UGRA, St. Gallen, ISBN 3-9520403-1-2
- [15] Davis, E. A., (1995). Functionality of sugars: physicochemical interactions in foods. American Journal of Clinical Nutrition. 62(1), 170.
- [16] Hooshmand, S., Holloway, B., Nemoiseck, T., Cole, S., Petrisko, Y., Hong, M. Y. & Kern, M. (2014). Effects of Agave Nectar Versus Sucrose on Weight Gain, Adiposity, Blood Glucose, Insulin, and Lipid Responses in Mice. Journal of Medicinal Food, 17(9), 1017-1021.