

# Respuesta glucémica de una tortilla a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca

## Glycemic response of a tortilla based on nixtamalized corn added with cactus, oats, flaxseed and spinach

Adolfo AMADOR MENDOZA<sup>1</sup>, Teresa de Jesús MATEOS RAMOS<sup>2</sup>, Humberto Rafael BRAVO DELGADO<sup>3</sup>

1 Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita. Loma Bonita, Oaxaca, México.

2 Licencia Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Complejo Regional Sur. Tehuacán, Puebla, México.

3 Universidad Tecnológica de Tehuacán. San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla, México.

Recibido: 17/junio/2024. Aceptado: 15/septiembre/2024.

### RESUMEN

**Introducción:** En la actualidad en México, hay interés por nuevos alimentos funcionales que mitiguen la obesidad y enfermedades como la diabetes y dislipidemias. Diversos estudios han demostrado que comer alimentos ricos en fibra pueden ayudar a controlar el peso corporal, aumentar la saciedad, disminuir los niveles de colesterol y lipoproteínas de baja densidad en sangre.

**Objetivo:** Evaluar la respuesta del índice glucémico en sujetos con índice masa corporal (IMC) <25 y >25 de una tortilla funcional a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca.

**Materiales y métodos:** La nixtamalización del maíz se realizó de manera tradicional con CaOH al 3,5% p/v. Se establecieron las mezclas de nopal, linaza, avena y espinaca mediante un diseño de experimentos factorial 2<sup>k</sup> manteniendo constante la temperatura de cocimiento. En los mejores tratamientos se evaluó su composición proximal, capacidad antioxidante, aceptabilidad sensorial, índice glucémico y respuesta glucémica relativa en sujetos con IMC<25 y >25 Kg/m<sup>2</sup> durante 120 min cada 60 min.

**Resultados y discusiones:** Mediante el ANOVA p<0,05% se identificó que el mejor tratamiento con capacidad antioxidante

219,7 ± 10,8 μmol Trolox (ET)/g de la muestra, contenido de proteínas 7 ± 0,4 g/100 g, contenido en fibra dietética 10 ± 0,6 g/100 g y aceptabilidad de 7,8 ± 1,2 al tratamiento T2 (17% nopal, 3%, linaza, 3% avena y 3,5% espinaca). El índice glucémico en glucosa capilar en sujetos con IMC<25 e IMC>25 Kg/m<sup>2</sup>, fue mayor significativamente con la ingesta de tortilla tradicional en comparación con la ingesta de la tortilla funcional (TF) T2 (17% nopal, 3%, linaza, 3% avena y 3,5% espinaca).

**Conclusión:** Es recomendable usar la TF como alternativa para personas con problemas de hiperglicemias y dislipidemia, debido a que presenta un alto contenido en fibra dietética y bajo índice glucémico.

### PALABRAS CLAVES

Alimentos funcionales, fibra dietética, nutrición clínica, índice de masa corporal.

### ABSTRACT

**Introduction:** Currently in Mexico, there is interest in new functional foods that mitigate obesity and diseases such as diabetes and dyslipidemia. Various studies have shown that eating foods rich in fiber can help control body weight, increase satiety, and reduce cholesterol and low-density lipoprotein levels in the blood.

**Objective:** To evaluate the glycemic index response in subjects with BMI <25 and >25 of a functional tortilla based on nixtamalized corn added with cactus, oats, flaxseed and spinach.

### Correspondencia:

Humberto Rafael Bravo Delgado  
rafael.bravo@uttehuacan.edu.mx

**Material and methods:** Nixtamalization of corn was carried out traditionally with CaOH at 3.5% w/v. The mixtures of cactus, flaxseed, oats and spinach were established using a 2k factorial experimental design, keeping the cooking temperature constant. In the best treatments, their proximal composition, antioxidant capacity, sensory acceptability and glycemic response were evaluated in subjects with Body Mass Index (BMI) <25 and >25Kg/m<sup>2</sup> for 120 min every 60 min.

**Results and discussions:** Through the ANOVA  $p < 0.05$  it was identified that the best treatment with antioxidant capacity  $219.7 \pm 10.8 \mu\text{mol Trolox (ET)}/\text{g}$  of the sample, protein content  $7 \pm 0.4 \text{ g}/100 \text{ g}$ , dietary fiber content  $10 \pm 0.6 \text{ g}/100 \text{ g}$  and acceptability of  $7.8 \pm 1.2$  to the functional tortilla (FT) T2 treatment (17% cactus, 3% flaxseed, 3% oats and 3.5% spinach). The glycemic index in capillary glucose in subjects with BMI <25 and >25 Kg/m<sup>2</sup> was significantly higher with the traditional tortilla intake compared to the T2 tortilla intake (17% nopal, 3%, flaxseed, 3% oats and 3.5% spinach).

**Conclusion:** It is advisable to use the FT as an alternative for people with hyperglycemia and dyslipidemia problems, because it has a high dietary fiber content and low glycemic index.

## KEYWORDS

Functional food, dietary fiber, clinical nutrition, body mass index.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo World Obesity Federation, en el año 2019 más de 5 millones de muertes en el mundo fueron asociadas con la obesidad o sobrepeso, siendo un problema de salud<sup>1</sup>, y esta fuertemente relacionado con diversas enfermedades como crónicas degenerativas como cáncer, diabetes, hipertensión arteriosclerosis y sus complicaciones<sup>2</sup>. De acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud 2022<sup>3</sup>, en México a prevalencia sobrepeso fue 38,3%, obesidad 36,9% y obesidad abdominal (OA) 81,0%. Aunque en México se han implementado acciones para disminuir el rápido crecimiento de la obesidad, como el etiquetado frontal de alimentos que ayuda a orientar las decisiones de compra, la imposición de un impuesto a las bebidas azucaradas, la regulación de la publicidad de alimentos y bebidas con alto contenido calórico, no se le ha dado el valor y el seguimiento a la elaboración y consumo de alimentos funcionales. El International Life Science Institute (ILSI)<sup>4</sup> define a los alimentos funcionales como aquellos que contienen un componente, nutriente o no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto añadido por encima de su valor nutricional. La mayor fuente de alimentación en México y principalmente en la región de Tehuacán, Puebla conocido a nivel mundial como la

“cuna del maíz”<sup>5</sup>, es el maíz nixtamalizado en forma de tortilla, memelas o molotes, y aunque no tiene una carga glucémica y un índice glucémico alto<sup>6</sup>, el abuso de su consumo es un detonante para el desarrollo de la obesidad o sobrepeso.

Por lo expuesto el objetivo de esta investigación es evaluar la respuesta del índice glucémico en sujetos con IMC <25 y >25 de una tortilla funcional a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación propuesta se llevó a cabo durante el periodo junio-diciembre del 2022 en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina del Complejo Reional Sur de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Geográficamente está ubicada en el Km 7,5 de la Carretera Libramiento Tecnológico-San Marcos Necoxtla, Lázaro Cárdenas Sur, 75859 Tehuacán, Puebla, México.

### Materias primas

Para la elaboración del producto se utilizó maíz, nopal, espinaca, avena y linaza seleccionados con madurez comercial obtenidos en el mercado local “la Purísima”, ubicado en el municipio de Tehuacán Puebla, México. El agua purificada se adquirió de la planta de procesamiento de agua purificada de la Universidad Tecnológica de Tehuacán ubicada en San Pablo Tepetzingo municipio de Tehuacán Puebla, México.

### Diseño experimental

Para la realización de la tortilla se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $2^k$  ( $K=4$ ). El factor en estudio A: representó las concentraciones de harina de nopal; el factor en estudio B: representó las concentraciones de harina de linaza; el factor en estudio C: representó las concentraciones de harina de avena y el factor en estudio D: representó las concentraciones de espinaca. Se formularon 31 tratamientos con tres replicas respectivamente, estableciendo un total de 93 unidades experimentales, manteniendo constante la temperatura de cocimiento.

En la Tabla 1, se muestra la distribución del diseño experimental aplicado en la presente investigación.

### Obtención del Nixtamalizado de maíz

Se coció el maíz en agua purificada con CaOH al 3,5% p/v. Una vez cocidos los granos de maíz se dejaron reposar durante 8 h hasta que la cáscara del maíz se separó por completo. Se enjuagó el maíz tres veces con agua purificada para eliminar el exceso de CaOH y se molió en un molino eléctrico para nixtamal marca Charles Comercializadora (México), con motor de un HP y con juego de piedras número 5. La masa obtenida se utilizó de manera inmediata.

**Tabla 1.** Tratamientos en estudio del diseño experimental

Tratamiento y símbolo	Factor A: Nopal (%)	Factor B: Linaza (%)	Factor C: Avena (%)	Factor D: Espinaca (%)
T1	17,0	1	3	0,50
T2	17,0	3	3	3,50
T3	6,5	2	2	0,75
T4	13,5	2	2	0,75
T5	15,0	4	4	5,00
T6	17,0	3	3	1,00
T7	17,0	3	1	0,50
T8	13,5	4	2	0,75
T9	10,0	1	3	1,00
T10	10,0	1	1	0,50
T11	20,5	2	2	0,75
T12	13,5	2	2	0,25
T13	17,0	1	3	4,00
T14	13,5	2	2	0,75
T15	17,0	3	1	1,00
T16	13,5	0	2	0,75
T17	17,0	1	1	0,50
T18	10,0	1	3	0,50
T19	10,0	3	1	0,50
T20	13,5	2	2	0,75
T21	13,5	2	2	0,75
T22	13,5	2	2	1,25
T23	13,5	2	4	0,75
T24	13,5	2	2	0,75
T25	13,5	2	0	0,75
T26	10,0	1	1	3,00
T27	10,0	3	1	1,00
T28	17,0	1	1	1,00
T29	10,0	3	3	0,50
T30	13,5	2	2	0,75
T31	13,5	2	2	0,75

La unidad experimental (U.E) estuvo conformada por 100 g de mezcla de nixtamal. Las concentraciones de nopal, linaza, avena y espinaca se obtuvieron en relación a 100 g de contenido total de cada tratamiento.

### Elaboración de la tortilla

Para la elaboración del producto experimental, la materia prima fue desinfectada en una solución de hipoclorito de sodio a 30 ppm; luego se molió el nopal, espinaca, avena y linaza en una licuadora industrial marca TAPISA, modelo TVP 12 L. Se continuó con el mezclado de las materias primas para obtener los tratamientos presentados en la Tabla 1, proceso que se realizó en una olla de acero inoxidable donde se mezclaron los ingredientes realizando el amasado tradicional por 10 min aproximadamente hasta obtener una consistencia uniforme e hidratada. Se formaron porciones de 30 g, se prensaron con una prensa manual y se colocaron en un comal a 200 °C por 40 s de cocción por cada lado de la tortilla, se enfriaron a temperatura ambiente y se almacenaron en bolsas herméticas tipo Ziploc en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

### Análisis sensorial

Para la evaluación del análisis sensorial, se realizó una prueba hedónica de preferencias por escala de 7 puntos (1 = me disgusta mucho y 7 = me gusta mucho) a 50 catadores no entrenados con edades entre 18-50 años, a los cuales se les entregó las muestras codificadas en platos de plástico en orden aleatorio, más una botella de agua, evaluaron en términos de calidad los atributos; color, olor, sabor y apariencia general.

### Análisis químico proximal

A los tratamientos en estudio se les realizaron los siguientes análisis proximales; humedad (NOM-116-SSA1-1994)<sup>7</sup>, fibra dietética total (NOM-086-SSA1-1994)<sup>8</sup>, proteínas (Kjeldahl NMX-F-608-NORMEX-2011)<sup>9</sup>, cenizas totales a 550 °C (NMX-F-607-NORMEX-2020)<sup>10</sup>, grasas (NOM-086-SSA1-1994)<sup>8</sup> y carbohidratos disponibles por cálculo de diferencia.

### Actividad antioxidante (AA)

#### Método de DPPH

Se utilizó el método del radical libre DPPH (1,1- difenil -2-picril-hidrazina) de acuerdo con lo descrito por Soler et al.<sup>11</sup>. La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de DPPH reducido.

### Valoración de la respuesta e índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25.

**Participantes.** Se reclutaron por invitación personal 24 participantes sanos (edad 19 a 50 años; 12 hombres y 12 mujeres) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla complejo regional sur y sujetos de la comunidad de Tehuacán, Puebla, de los cuales se dividieron en dos grupos; grupo 1: sujetos con IMC menor de 25 Kg/m<sup>2</sup> (seis hombres y seis mujeres) y grupo 2: sujetos con IMC mayor de 25 Kg/m<sup>2</sup> (seis mujeres y seis hombres). Los criterios de inclusión fue-

ron: firma de carta de consentimiento informado, edad de 19 a 50 años, sujeto con IMC <25 y >25 Kg/m<sup>2</sup> y que radiquen en la ciudad de Tehuacán, Puebla. Los criterios de exclusión para este estudio fueron: sujetos con Diabetes Mellitus o enfermedades crónicas no transmisibles, mujeres embarazadas o en lactancia, sujetos con alguna capacidad física diferente que impida obtener los parámetros antropométricos y sujetos que abandonaron el estudio. Los sujetos fueron medidos mediante la técnica ISAK para ser clasificados de acuerdo con su IMC. Las mediciones se realizaron con un antropómetro Slim Guide (Slimguide-Vitruvian-Lufkin), plicómetro Harpenden (Harpenden), cinta Lufkin (Slimguide-Vitruvio-Lufkin), estadiómetro (BAME) y báscula (Tanita, modelo BC-545F).

**Índice glucémico.** Los sujetos se presentaron con un ayuno nocturno mínimo de 8 h mediante el siguiente esquema: La primera semana se les administró vía oral 25 g de dextrosa anhidra diluida en 125 mL de agua. Se realizó la primera toma de muestra de glucosa capilar (analyzer ACCU-CHEK® Instant, Roche, Alemania) al momento de tomar la solución (TG0), la segunda toma de glucosa a los 60 min (TG30) y la tercera toma de glucosa a los 120 min (TG120). La segunda semana se administró vía oral 55,14 g de tortilla de maíz convencional equivalente a 25 g de hidratos de carbono de la tortilla de maíz registrado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes<sup>12</sup>. Se realizó la toma de muestra de glucosa capilar al momento de ingerir la tortilla de maíz (TM0), a los 60 min (TM60) y a los 120 min (TM120) después de la ingesta. La tercera semana se administró vía oral 131,6 g de tortilla funcional equivalente a 25 g de hidratos de carbono de la tortilla de nopal registrado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Se realizó la toma de muestra de glucosa capilar al momento de comer la tortilla funcional (TF0), a los 60 min (TF60) y a los 120 min (TF120) después de la ingesta.

La determinación del IG se calculó con el incremento positivo del área bajo la curva, ignorando cualquier área por debajo del valor inicial, para las concentraciones de glucosa en sangre de 0 a 120 min después de la ingesta de la tortilla funcional se calculó de acuerdo con el método de Wolever et al<sup>13</sup>. La respuesta glucémica relativa (RGR) de los tratamientos TG60, TG30 y TG0 se calcularon individualmente para cada sujeto de acuerdo con la siguiente fórmula: [(IG para el tratamiento) / (RGR de glucosa para el control de TM o TF)] x 100.

La investigación fue aprobada por el comité de investigación y ética de la Universidad Tecnológica de Tehuacán, con número de Registro UTTH/DEU/801/2022. Se respetaron los principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia según la Declaración de Helsinki<sup>14</sup>. Se explicó a los participantes sobre la investigación y se absolvió sus dudas. Se solicitó su participación voluntaria a través de la firma del consentimiento informado. Los participantes tienen conocimiento que pueden retirarse del estudio en cualquier mo-

mento si así lo desean. Su participación no les ocasionó ningún costo económico. Los datos son confidenciales, de estricto uso para la investigación.

### **Análisis estadístico**

Las características iniciales de los participantes del estudio se expresaron como medias  $\pm$  DE para rasgos cuantitativos. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics 20. Se utilizó la prueba estadística t-Student como prueba de contraste a partir de los datos recolectados. El nivel de significancia es de  $\alpha=0,05$ . Los datos del perfil sensorial se analizaron mediante estadística no paramétrica y prueba de contraste Kruskal Wallis al 5% de significancia. Los resultados se expresan en media  $\pm$  desviación estándar D.E.

## **RESULTADOS**

### **Composición proximal de la tortilla funcional**

Los resultados de la composición química proximal se presentan en la Tabla 2. La humedad de la tortilla funcional fue de 39,52% que es menor a lo expuesto por Soriano et al<sup>15</sup> con un valor de 59,5% de una tortilla de harina de maíz nixtamalizado adicionado con harina de avena. Esto representa una menor probabilidad de crecimiento de hongos y bacterias, así como también, mayor vida de anaquel de la tortilla.

El contenido de cenizas totales en este estudio fue de 1,12% valor que está relacionado por lo expuesto por Soriano et al<sup>15</sup> que fue de 1,9% que, de acuerdo con su estudio, este valor representa una cantidad alta de minerales totales en la tortilla.

La cantidad de proteínas en la tortilla funcional fue de 7%, valor que es mayor en comparación con la tortilla de nopal reportada en el SMAE<sup>12</sup> con valor de 4,63%. Rodiles et al<sup>16</sup>, realizaron una tortilla funcional de maíz adicionada con harina de nopal y aguacate liofilizado, donde se manifestó el 5,59% de proteína, que a diferencia del SMAE<sup>12</sup> es mayor, pero inferior al valor reportado en este trabajo, lo cual indica, que, al incorporar alimentos como linaza y avena se incrementa la cantidad de proteína.

El contenido de grasas totales, saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas de la tortilla funcional se presentan en la Tabla 2. Estos valores presentados son mayores a los reportados en la tortilla de nopal del SMAE<sup>12</sup>, con valores de 0,14% de grasas saturadas, 0,43% de grasas monoinsaturadas y 0,89% de poliinsaturadas. Esto demuestra que, la adición de linaza representa una buena fuente de grasas insaturadas, con las cuales se obtienen mayores beneficios cardiovasculares y antiinflamatorios<sup>17</sup>.

Respecto al contenido de fibra dietética, la tortilla funcional presentó un resultado de  $11 \pm 1,3\%$ , valor ligeramente inferior a los reportados por el SMAE<sup>12</sup> con 13% en una tortilla

**Tabla 2.** Resultados de la caracterización fisicoquímica y proximal de la tortilla funcional

Parámetros proximales	Resultados (%)
Humedad	39,52 ± 1,2
Cenizas totales	1,12 ± 0,4
Proteínas	7 ± 0,8
Grasas totales	6 ± 0,4
Grasas saturadas	1 ± 0,1
Grasas monoinsaturadas	2 ± 0,5
Grasas poliinsaturadas	3 ± 0,7
Grasas trans	0
Hidratos de carbono disponibles	36 ± 3,8
Fibra dietética	11 ± 1,3
Sodio	0,02 ± 0,01

Los valores después del signo ± corresponden a la desviación estándar de n = 3.

con nopal, y Rodiles et al<sup>16</sup> con 12,77% en una tortilla de nopal con aguacate, esto se debe a la cantidad de nopal utilizado en la elaboración de la tortilla, sin embargo, la tortilla funcional tiene un gran aporte de fibra dietética de importancia para la alimentación humana por estimular la saciedad<sup>18</sup> y reducir el consumo excesivo de alimentos.

### Capacidad antioxidante

De acuerdo con los resultados obtenidos con el método DPPH, la capacidad antioxidante de la tortilla funcional presentó un valor de 22,7 ± 1,8 μmol equivalentes de Trolox (ET)/g de la muestra seca (ms). Este valor es superior a lo presentado por Salinas et al<sup>19</sup> con 19,24 ± 2,6 μmol ET/g ms en tortilla de maíz blanco H-40, pero inferior para tortilla de

maíz de grano azul de la raza chalqueña con 44,8 ± 0,49 μmol ET/g ms. Los antioxidantes son compuestos considerados funcional por su gran aporte a la salud del consumidor, en este estudio, de acuerdo con los resultados presentados, la TF se considera un alimento funcional, siendo aun mayor que por lo manifestado por Rojas et al<sup>19</sup> en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) con valor de 9,81 μmol Trolox (ET)/g de fruta fresca.

### Respuesta glucémica relativa

Los resultados obtenidos de glucosa capilar de 12 sujetos con IMC <25 y 12 sujetos con IMC >25 se presentan en la Tabla 3. Se manifiesta que la respuesta de glucosa capilar obtenida después del consumo de tortilla de maíz, tortilla funcional y solución glucosada, son mayores en sujetos con IMC mayor de 25, que los sujetos que tienen un IMC menor de 25.

La concentración de glucosa capilar de todos los sujetos con IMC mayor de 25 después del consumo de la TM, presentó mayor incremento de glucosa a los 60 min que fue de 141,16 mg/dL ± 16,78 en comparación con el consumo de la TF que presentó un valor máximo de glucosa de 126,41 mg/dL ± 14,34. Los sujetos con IMC menor de 25 después del consumo de la TM, presentaron una mayor concentración de glucosa capilar con 133 mg/dL ± 7,10, respecto al consumo de la TF que presentó 117 ± 7,93 mg/dL como se muestra en la Figura 1.

### Índice Glucémico

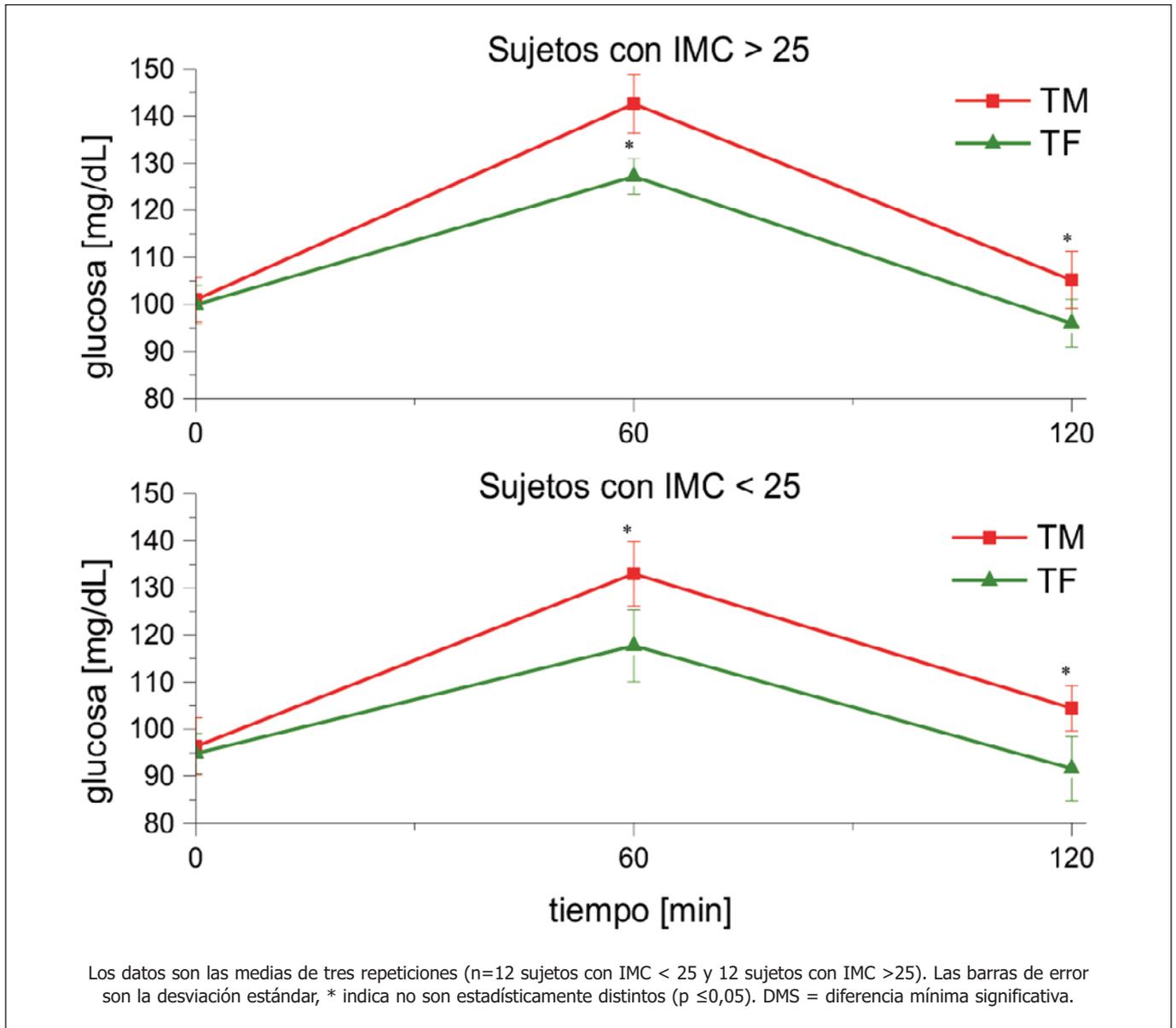
El índice glucémico proporciona una unidad de medida de la respuesta de la glucosa en sangre a los alimentos individuales de una comida<sup>21</sup>. Se ha demostrado que las dietas con alto índice glucémico se han relacionado con enfermedades como diabetes mellitus, obesidad, resistencia a la insulina, hipertensión entre otras<sup>21,22</sup>, mientras que se cree que las dietas con bajo índice glucémico son protectoras<sup>23,24</sup>, debido principalmente a la reducción de expiulsión posprandial de la glucosa<sup>25</sup>.

Padilla y Secchi<sup>6</sup>, reportaron en tostadas de maíz con nix-tamalización ecológica un índice glucémico de 53 puntos, ar-

**Tabla 3.** Respuesta de glucosa capilar por tortilla de maíz, tortilla funcional y solución glucosada en sujetos con IMC <25 y >25

Producto	SUJETOS CON IMC < 25			SUJETOS CON IMC > 25		
	0 min	60 min	120 min	0 min	60 min	120 min
Tortilla de maíz <sup>†</sup>	96,3 ± 6,1 <sup>a</sup>	133 ± 6,8 <sup>a</sup>	104,4 ± 9,8 <sup>a</sup>	101 ± 4,7 <sup>a</sup>	142,6 ± 16,2 <sup>a</sup>	105,2 ± 10,1 <sup>a</sup>
Tortilla funcional <sup>†</sup>	94,8 ± 4,3 <sup>a</sup>	117,7 ± 7,6 <sup>b</sup>	91,6 ± 6,4 <sup>b</sup>	99,9 ± 4,1 <sup>a</sup>	127,2 ± 13,8 <sup>b</sup>	96 ± 5,1 <sup>b</sup>
Solución glucosada <sup>†</sup>	93,3 ± 4,8 <sup>a</sup>	151,8 ± 10,8 <sup>c</sup>	93,3 ± 5,3 <sup>b</sup>	100,9 ± 5,3 <sup>a</sup>	161,4 ± 13,7 <sup>c</sup>	97,7 ± 5,2 <sup>b</sup>

† = los valores están expresados en mg/dL. Los valores después del signo ± corresponden a la desviación estándar de n = 3. Valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente distintos (p ≤ 0,05). DMS = diferencia mínima significativa.



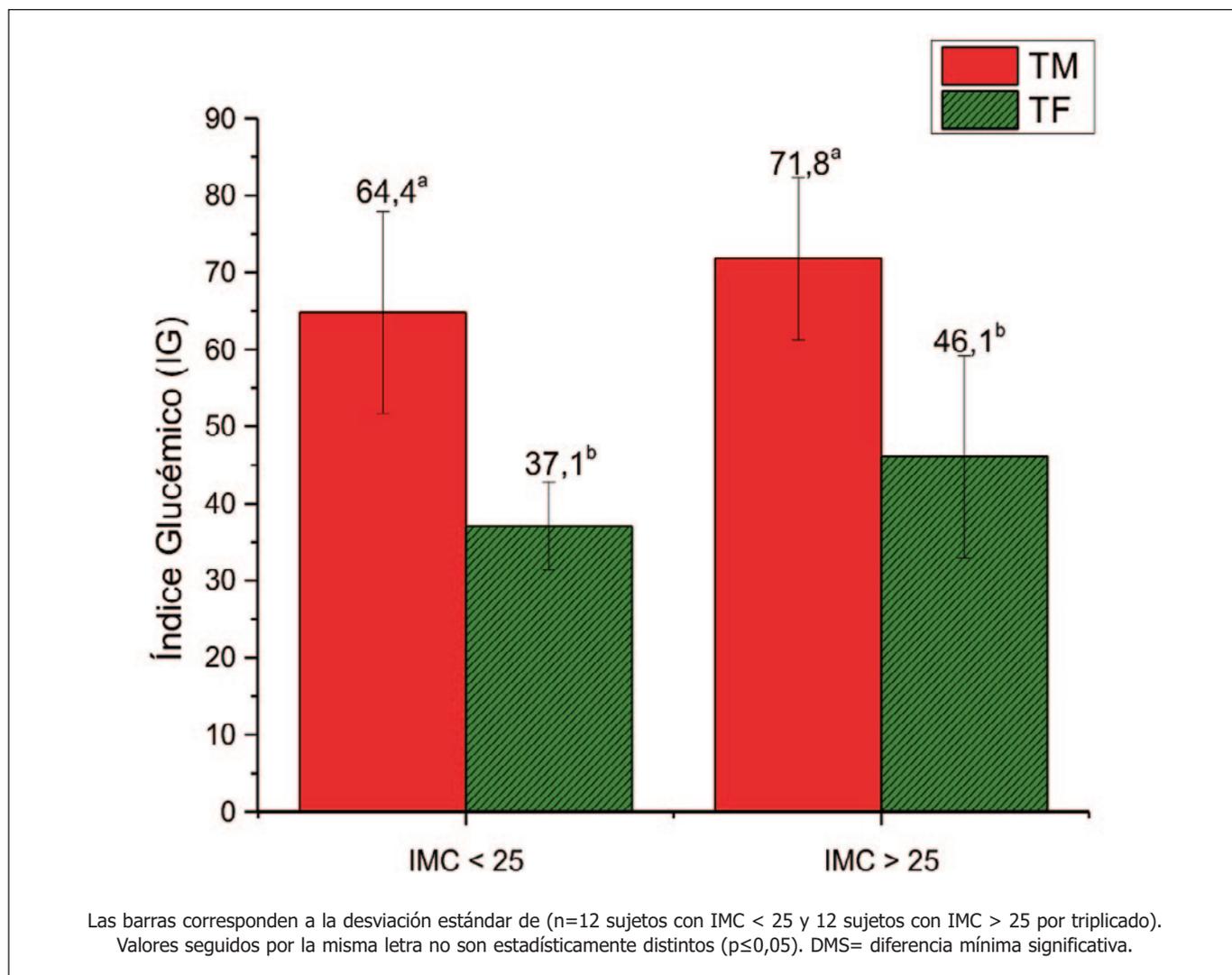
**Figura 1.** Respuestas de glucosa capilar en humanos a los que se les administró 55 g tortilla de maíz (TM) y 55 g de tortilla funcional (TF), al comienzo (0 min), 60 min y 120 min después de la ingesta

gumentando que este valor corresponde a un índice glucémico bajo. Los valores del índice glucémico en la TF son de 46 puntos que, comparado a lo reportado en la literatura son menores y se puede considerar a la TF como un alimento con bajo índice glucémico.

### DISCUSIÓN

En diversos estudios se ha demostrado que el consumo frecuente de alimentos ricos en fibra soluble conducen a la producción ácidos grasos de cadena corta que estimulan la producción de las hormonas GLP1, PYY las cuales regulan el apetito y la saciedad; mecanismos importantes para la mo-

dulación del sobrepeso y la obesidad<sup>18,26</sup>. De manera relevante se ha encontrado también que los alimentos ricos en fibras insolubles, están relacionadas con el incremento de la masa y el volumen fecal, reducción del tiempo de tránsito intestinal con posibilidades del control del estreñimiento y el cáncer en el colon<sup>27</sup>. La tortilla a base de maíz nixtamalizado está elaborada con alimentos altos en fibra como el nopal (14,31%)<sup>28</sup>, la avena (10,6%)<sup>29</sup>, la linaza (33,54%)<sup>30</sup> y la espinaca (4%)<sup>31</sup>, que incrementan su valor nutricional y funcional. Además, la tortilla funcional es un alimento que aporta una gran cantidad de proteínas (7,1%), ácidos grasos insaturados (6,2%) y una capacidad antioxidante de



**Figura 2.** Valores de índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25

22,7 ± 1,8 μmol equivalentes de Trolox (ET)/g de la muestra seca, que es superior a lo presentado por la tortilla tradicional de Salinas et al<sup>19</sup>.

La TF presentó una concentración de glucosa capilar de 117 mg/dL a 90 min y de 91 mg/dL a los 120 min después de la ingesta, valores que son similares a los reportados por Padilla y Secchi<sup>6</sup> en sujetos que consumieron tostadas de maíz elaboradas con el método de nixtamalización ecológica, con una concentración de glucosa capilar de 114 mg/dL a los 60 min y de 98 mg/dL a los 120 min después de la ingesta. La concentración de glucosa capilar baja que se obtuvo en la TF, se debe al contenido de fibra de nopal, avena, espinaca y linaza que se usaron para su formulación. De igual forma la concentración de glucosa capilar fue menor de manera significativa, en los sujetos con IMC menor de 25 y mayor de 25 que consumieron la tortilla funcional, que los que consumieron la tortilla de maíz tradicional en el tiempo postprandial.

Por otra parte, se confirmó que el índice glucémico tanto en sujetos con IMC menor de 25 y en sujetos con IMC mayor de 25, presentó valores significativamente menores al consumir la tortilla funcional que al consumir la tortilla de maíz convencional como se aprecia en la Figura 2. De acuerdo con estos resultados, se recomienda la tortilla funcional para consumo de personas con problemas de sobrepeso, obesidad como un alimento de bajo riesgo en el desarrollo de la resistencia a la insulina e hipertensión generados por el exceso de hidratos de carbono. Pese a que no se hallaron otros estudios en la literatura científica referente a la asociación entre el consumo de tortillas funcionales y el índice glucémico en pacientes con y sin sobrepeso, se ha determinado que a ingesta la TM regula el control del apetito, así como, los niveles de glucosa capilar.

Se puede apreciar que una de las principales limitaciones fue no haber realizado un análisis químico sanguíneo com-

pleto en todos los sujetos en estudio, que permitiera tener más resultados cuantitativos sobre la ingesta de la tortilla funcional. No obstante, se cumplió el objetivo y esta investigación puede servir como punto de partida para estudios más amplios que completen el enfoque cuantitativo.

## CONCLUSIONES

La Tortilla funcional tuvo una carga de glucosa relativa e índice glucémico menor que la tortilla de maíz tradicional en sujetos con IMC <25 y >25, además, presenta una fuente importante de contenido de fibra, proteínas, grasas insaturadas y antioxidantes debido a su formulación con espinaca nopal, avena y linaza, por lo que se puede recomendar como un alimento alternativo nutricional y funcional en la cultura mexicana para disminuir el riesgo de sobrepeso, obesidad, resistencia a la insulina, diabetes, hipertensión y enfermedades cardiovasculares.

## BIBLIOGRAFÍA

- World Obesity Federation. The economic impact of overweight & obesity in 2020 and 2060, 2nd ed with Estimates for 161 Countries. World Obesity Federation, 2022 [citado junio 11, 2023]. Disponible en: <https://data.worldobesity.org/publications/WOF-Economic-Impacts-2-V2.pdf>
- Gordillo JR, Vásquez AM, González WA, Sanclemente GK, Ochoa YT, Gómez YY. Efecto de una dieta de bajo índice glucémico en mujeres obesas con hiperinsulinemia. *Nutr Clín Diet Hosp*. 2023; 43(1):108-114. doi: 10.12873/431gordillo.
- Campos I, Galván O, Hernández L, Oviedo C, Barquera S. Prevalencia de obesidad y factores de riesgo asociados en adultos mexicanos: resultados de la Ensanut 2022. *Salud Publica Mex*. 2023; 65 (supl 1): S238-S247. doi.org/10.21149/14809
- Clydesdale FM. ILSI North America Technical Committee on Food Components for Health Promotion. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 1999; 39(3): 203-316.
- MacNeish RS. *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. Austin: University of Texas Press. (1967).
- Padilla J, Secchi C. Índice glucémico de tostadas de maíz nixtamalizadas ecológicamente. *Actualización en nutrición*. 2019; 20: 88-93. Disponible en: [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/02/1148113/rsan\\_20\\_3\\_88.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/02/1148113/rsan_20_3_88.pdf)
- (NOM-116-SSA1-1994). Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4728942&fecha=15/08/1994#gsc.tab0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728942&fecha=15/08/1994#gsc.tab0)
- (NOM-086-SSA1-1994). Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4890075&fecha=26/06/1996#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4890075&fecha=26/06/1996#gsc.tab=0)
- (Kjeldahl NMX-F-608-NORMEX-2011). Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5208839&fecha=12/09/2011#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5208839&fecha=12/09/2011#gsc.tab=0)
- NMX-F-607-NORMEX-2020. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5641716&fecha=01/02/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5641716&fecha=01/02/2022#gsc.tab=0)
- Soler C, Espín JC, Whichers HJ. An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. *Phytochemical Analysis*. 2000; 11(5):330-338. [https://doi.org/10.1002/1099-1565\(200009/10\)11:5<330::AID-PCA534>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1099-1565(200009/10)11:5<330::AID-PCA534>3.0.CO;2-G)
- Pérez AB, Palacios B. Sistema mexicano de alimentos equivalentes. México: Fomento de Nutrición y Salud, Instituto Nacional de Ciencias Médicas Salvador Zubirán y Ogali. 2022. ISBN: 978607 2938403.
- Wolever TM, Jenkins D, Jenkins AL, Josse RG. The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am. J. Clin. Nutr*. 1991; 54: 846-854. doi:10.1093/ajcn/54.5.846
- Mazzanti M. Declaración de Helsinki, principios y valores bioéticos en juego en la investigación médica con seres humanos. *Rev Colomb Bioét*. 2015;6(1):125. doi: 10.18270/rcb.v6i1.821
- Soriano MC, Buendía González I, Ofelia M, Rojas P, Martínez Cruz N, Mir V, Hortelano E, Rosa S. Evaluación de la calidad de la tortilla de maíz adicionada con tortilla de avena (*Avena sativa L.*) nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2016; 7, 1715-1725. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149504018>
- Rodiles OJ, Martínez H, Arriaga L, Zamora R, García R. Desarrollo de una tortilla adicionada con harinas de aguacate y nopal y su efecto en la reducción de colesterol, triglicéridos y glucosa en ratas. *Biotecnia*. 2019; 21(2), 71-77. DOI: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i2.909>
- Calderón MN, Riaño GL, Cruz CL, Rodríguez A, Buell JD, Aranzalez LH. Riesgo cardiometabólico en población colombiana con perfil dietario bajo en fibra y ácidos grasos poliinsaturados. *Nutrición Clínica Y Dietética Hospitalaria*. 2023; 43(1). <https://doi.org/10.12873/431riano>
- Slavin JL. Dietary fiber and body weight. *Nutrition*. 2005; 21(3), 411-418. DOI: 10.1016/j.nut.2004.08.018
- Salinas Y, Hernández V, Trejo LI, Ramírez JL, Iñiguez O. Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2017; 8 (7): 1483-149. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000701483&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000701483&lng=es&nrm=iso). ISSN 2007-0934.
- Rojas DS, Repo R, Encina CR. Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*. 2017; 83(2), 174-186. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000200004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200004&lng=es&nrm=iso). ISSN 1810-634X.
- Beulens JW, de Bruijne LM, Stolk RP, Peeters PH, Bots ML, Grobbee DE, Van der Schouw YT. High dietary glycemic load and glycemic index increase risk of cardiovascular disease among middle-aged women: a population-based follow-up study. *J Am Coll Cardiol*. 2007; 50: 14-21. DOI: 10.1016/j.jacc.2007.02.068
- Schulze MB, Liu S, Rimm EB, Manson JE, Willett WC, Hu FB. Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes in younger and middle-aged women. *Am J Clin Nutr*. 2004; 80: 348-56. DOI: 10.1093/ajcn/80.2.348

23. Hartman TJ, Albert PS, Zhang Z, Bagshaw D, Kris PM, Ulbrecht J, Miller CK, Bobe G, Colburn NH, et al. Consumption of a legume-enriched, low-glycemic index diet is associated with biomarkers of insulin resistance and inflammation among men at risk for colorectal cancer. *J Nutr.* 2010; 140: 60–7. DOI: 10.3945/jn.109.114249
24. Botero D, Ebbeling CB, Blumberg JB, Ribaya JD, Creager MA, Swain JF, Feldman HA, Ludwig DS. Acute effects of dietary glycemic index on antioxidant capacity in a nutrient-controlled feeding study. *Obesity (Silver Spring).* 2009; 17: 1664–1670. 10.1038/oby.2009.203
25. Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87: 269–274. DOI: 10.1093/ajcn/87.1.269S
26. Bahadoran Z, Mirmiran P. Potential properties of legumes as important functional foods for management of type 2 diabetes: a short review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences.* 2014; 4(2): 6-9.
27. Vilcanqui F, Vílchez C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2017; 67(2), 146–156. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
28. Lizbeth Malleli Diego-Zarate<sup>1</sup>, Gerardo Méndez-Zamora<sup>2</sup>, Jocelyn Abigail Rivera-De Alba<sup>3</sup>, Emmanuel Flores-Girón. Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de salchichas Viena. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud.* 2021; 23(2), 89-95.
29. CHÁVEZ I, SOTO OM, ORTIZ R. Efecto hipoglucemiante de un alimento funcional a base de lenteja y aceite de capulín, sobre un modelo experimental murino con diabetes mellitus tipo 2. *Nutr Clín Diet Hosp.* 2021; 41(4):12-19. DOI: 10.12873/414iridia
30. Ostojich Z, Sangronis E. Caracterización de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2012; 62(2), pp199602DF83. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2012/2/art-14/>
31. Ledesma J, Chávez A, Pérez F, Mendoza E, Calco C. Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo. México: Mc Graw Hill. 2010; 364 pp.