

UNIVERSIDAD DE CORDOBA



"VIGILADA MINEDUCACIÓN"

**FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA**

**USO DE ALIMENTOS FUNCIONALES CON BAJO INDICE GLICEMICO Y COMPUESTOS
BIOACTIVOS UTILIZADOS PARA LA PREVENCION Y TRATAMIENTO DE LA DIABETES
MELLITUS TIPO 2**

JORGE BLANQUICETH ARRIETA

Trabajo de grado para obtener título de Bacterióloga

LINDA MARIA CHAMS CHAMS M.Sc
Directora

ERASMO MANUEL ALVIS RAMOS M.Sc
Codirector

MONTERÍA
2022

Resumen

La diabetes mellitus es una enfermedad de carácter crónico, que ocurre cuando se producen niveles altos de glucosa en sangre. Se ha demostrado que una mala alimentación es un factor de riesgo importante en la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles, donde está incluida la diabetes mellitus y las complicaciones que se pueden presentar por esta a medida que progresa la enfermedad. La terapia para esta condición está enfocada principalmente en el control glicémico, lo que lleva a dietas que reducen el consumo de carbohidratos. El objetivo de esta revisión fue buscar y analizar información sobre los alimentos funcionales usados para la prevención y tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 y otras enfermedades crónicas no transmisibles, para ello se realizó una búsqueda bibliográfica en distintas bases de datos, donde se obtuvieron un gran número de artículos y documentos relacionados con el tema a tratar y a los cuales se les aplicó ciertos criterios para ser utilizados en la redacción del presente documento. Las principales conclusiones fueron, que, los efectos perjudiciales del consumo de carbohidratos, se encuentran ausentes cuando estos son de carácter complejos, con una considerable presencia de almidones resistentes y de lenta digestión, capaces de disminuir el índice glicémico, para esto la alimentación funcional utiliza procesos que puedan producir cambios beneficiosos en la estructura o composición del alimento, dentro de esos procesos tenemos principalmente tratamientos fisicoquímicos como humedad y calor, tratamientos químicos y tratamientos microbiológicos.

Palabras clave

Índice glicémico, diabetes, alimentación funcional, nutrición.

Abstract

Diabetes mellitus is a chronic disease, which occurs when high blood glucose levels are present. An unbalanced diet has been found to be an important risk factor in the prevalence of chronic non-communicable diseases, including diabetes mellitus and the complications that can occur as the disease progresses. Therapy for this disease is mainly focused on glycemic control, leading to diets that reduce carbohydrate intake. The objective of this review was to search for and analyze information on functional foods used for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus and other chronic non-communicable diseases, for which a bibliographic search was carried out in different databases, where a large number of articles and documents related to the subject were obtained and to which certain criteria were applied to be used in the writing of this document. The main conclusions were that the adverse effects of carbohydrate consumption are absent when these are of complex character, with a considerable presence of resistant starches and slow digestion, capable of lowering the glycemic index, for this functional food uses processes that can produce beneficial changes in the structure or composition of food, within these processes we have mainly physicochemical treatments such as moisture and heat, chemical treatments and microbiological treatments.

Key words

Glycemic index, diabetes, functional food, nutrition

INTRODUCCIÓN

La Federación Internacional de la Diabetes, define la diabetes mellitus (DM) como una enfermedad de carácter crónico, que ocurre cuando se producen niveles altos de glucosa en sangre, a causa de falla en la producción de insulina por parte del cuerpo, o porque se genera disfuncionalidad en el organismo para utilizarla adecuadamente. La insulina es sintetizada en el páncreas, esta es una hormona que tiene como función principal permitir que la glucosa presente en el plasma sanguíneo ingrese a las células para convertirse en energía o ser almacenada, adicional a esto, la insulina también está asociada al metabolismo de proteínas y grasas (International Diabetes Federation, 2021).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 420 millones de personas en el mundo cursan con diabetes y se estima que esta cifra para el 2030 llegue a 578 millones de habitantes (Organización Mundial de la Salud, 2021). En 2019 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) reportó que en la región de las Américas la DM causó 284.049 defunciones, siendo los porcentajes muy similares tanto en hombres como mujeres; los países que presentaron la tasa de mortalidad más alta fueron Guyana, México y Trinidad y Tobago, la tasa de mortalidad en dicha región fue estimada en 20,9 muertes por 100.000 habitantes (Organización Panamericana de la Salud, 2021).

La organización mundial de la salud estimó que en el año 2019, la DM causo de manera directa 1.5 millón de muertes. Más aun, habría que incluir la mortalidad ocasionada de forma indirecta por sus principales complicaciones causadas a largo plazo: enfermedades cardiovasculares, la insuficiencia renal crónica y la tuberculosis. Además, durante el periodo de 2000 y 2016, la mortalidad prematura por diabetes aumento en un 5% (OMS), demostrando que la enfermedad cada vez se complica más rápidamente sino se recibe un tratamiento adecuado.

Varios factores se tienen en cuenta para la prevención de la DM tipo 2, los cuales están asociados con el estilo de vida, a su vez, estos también previenen las complicaciones a largo plazo y la muerte prematura, las cuales pueden ser causadas por todo tipo de diabetes. Las estrategias son varias políticas y prácticas que fomentan el bienestar de cualquier persona, tengan o no diabetes, dentro de ellas se encuentran hacer ejercicio con frecuencia, tener una alimentación regulada con características balanceadas, evitar el tabaquismo y controlar la presión arterial y la lipemia (OMS, 2016). Evitar las posibles complicaciones de la DM es de gran importancia para

disminuir el gran impacto económico que esta causa en el sistema de salud, ya que, además de ser un problema de salud pública, esta enfermedad implica grandes costos en su tratamiento (Castillo *et al.*, 2018).

Se ha observado que una mala alimentación es un factor de riesgo importante en la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), donde está incluida la DM y las complicaciones que se pueden presentar por esta a medida que progresa la enfermedad. Una dieta saludable y balanceada estará relacionada con varias características, como lo son la edad, la frecuencia de la actividad física, el estado nutricional de la persona, su sexo, entre otras. Además, se ha demostrado que en la alimentación de personas diabéticas, los hidratos de carbono son de importancia para una buena regulación de la glicemia (Durán Agüero *et al.*, 2012).

Dentro de los lineamientos de la terapia medica individualizada establecidos por la Asociación Americana de Diabetes (ADA), están incluidos, la reducción de la ingesta calórica, evitar en lo posible las bebidas azucaradas, el aumento en el consumo de ácidos grasos monoinsaturados, que se pueden encontrar por ejemplo en el pescado, un alimento rico en omega 3, también que el consumo de carbohidratos sea derivado de alimentos como productos lácteos, vegetales, frutas, leguminosas, granos enteros, aumentar el consumo de nueces y semillas y reducir el sodio a 2300 mg/día o menos en pacientes con DM e hipertensión arterial (HTA) (Association, 2017; Pinilla-Roa & Barrera-Perdomo, 2018).

En el tratamiento nutricional para la DM tipo 2, el principal objetivo establecido es el manejo adecuado de la glicemia. Lo que normalmente se lleva a cabo para esta meta es la reducción en la ingesta de carbohidratos, dicha reducción, anidado a un aumento en el consumo de proteínas, ha mostrado efectos positivos, dentro de los cuales se enumeran la pérdida de peso, beneficios a nivel de la composición corporal y la tasa metabólica en reposo, una disminución en la concentración de triglicéridos y un incremento en las lipoproteínas de alta densidad (HDL), llamado comúnmente el "colesterol bueno".(Pinilla-Roa & Barrera-Perdomo, 2018). El control de la hiperglicemia postprandial, trae consigo la disminución de ciertos procesos patológicos a nivel metabólico, los cuales son el estrés oxidativo, la disfunción endotelial, la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y los factores predisponentes para eventos trombóticos (Manuzza *et al.*, 2018).

El índice glicémico de los alimentos (IG), es utilizado para evaluar su efecto en las concentraciones de glucosa postprandial de un alimento rico en carbohidratos, el cual se

compara normalmente con pan blanco o glucosa, siendo estos la referencia. La carga glicémica es la cantidad de glucosa que se aumenta en sangre luego del consumo del alimento. Alimentos con un bajo IG, causan un pico más bajo en la glicemia postprandial y muestran un efecto positivo en el control de la glicemia (Zafar *et al.*, 2019).

A pesar de que existen controversias en cuanto al índice glicémico como indicador de la calidad alimentaria, un creciente número de revisiones han demostrado asociaciones entre el IG y la carga glicémica (CG) con el riesgo de las ECNT, mostrando estos parámetros como indicadores de interés a la hora de evaluar los patrones alimentarios; varios organismos internacionales los resaltan en mayor o menor medida, por ejemplo la Academia de Nutrición y Dietética de EEUU afirma que el IG puede ser un indicador bastante útil, así mismo, El Consorcio Internacional de Calidad de los Carbohidratos (ICQC) sostiene que es importante dar a conocer a la población en general y a los profesionales, información acerca del índice glicémico, utilizando herramientas como guías alimentarias, tablas de composición de los alimentos donde se muestren adecuadamente todos sus componentes y también, un rotulado nutricional de estos mismos (Manuzza *et al.*, 2018).

Un nuevo concepto en las últimas décadas es la alimentación funcional, cuando hablamos de esto normalmente nos referimos a una dieta que incluye alimentos que contienen uno o varios compuestos bioactivos, los cuales causan efectos positivos en los procesos fisiológicos del organismo (Arias Lamos *et al.*, 2018). Son diversos los estudios llevados a cabo para la obtención de alimentos funcionales aplicados para ayudar a la prevención y tratamiento de la DM tipo 2 y otras ECNT; una gran mayoría de estas investigaciones consiste en la reducción del IG del alimento, mediante procesos fisicoquímicos, microbiológicos o con la adición de componentes bioactivos de origen natural, que ayudan al control de glicemia postprandial.

Estudios de incorporación de fibra dietética en los alimentos han demostrado que esta ayuda a la reducción de los niveles de azúcar y colesterol en sangre, esto se le atribuye a la llamada fibra soluble. La presencia de esta fibra se puede lograr con la adición a los alimentos de ciertas harinas, fibras vegetales, pulpa de frutas, que actúan como fibra dietética y además contienen compuestos antioxidantes, que ayudan también a otorgar beneficios al organismo (Arias Lamos *et al.*, 2018; Guedes-Oliveira *et al.*, 2016; Okiyama *et al.*, 2017; Torres González *et al.*, 2016).

Las técnicas de preparación y procesamiento de los alimentos también pueden ser usadas para la creación de alimentos funcionales, así como ciertos tratamientos fisicoquímicos que pueden

alterar la microestructura del alimento y volverlo menos susceptible a la rápida degradación de las enzimas digestivas, dicha disminución se verá reflejada en los niveles de glicemia postprandiales, representando una curva de carácter más plana (Fernández Ruano, 2020; Ritudomphol & Luangsakul, 2019).

Alimentos como la papa, con un alto IG, luego de procesos naturales de insolación y congelación que causan un estado de deshidratación, mostraron un IG más bajo y unas mejores propiedades nutricionales (Rodríguez Huaman & Huaman Apaza, 2018). Las altas presiones hidrostáticas, procesos físicos de humedad y calor en combinación, procesos de fermentación y tratamientos con ciertos ácidos también fueron estudiados para la reducción del índice glicémico en los alimentos, obteniendo resultados positivos para dicha reducción en la mayoría de estos (Fernández Ruano, 2020; Goel *et al.*, 2020; Ritudomphol & Luangsakul, 2019; Shaikh *et al.*, 2019).

Todos estos estudios demuestran el gran esfuerzo científico que viene realizándose en los últimos años por encontrar alternativas alimenticias que permitan ejercer una dieta balanceada y ayude a prevenir y mejorar condiciones de morbilidad. El objetivo de esta revisión fue buscar y analizar información sobre los alimentos funcionales usados para la prevención y tratamiento de la DM tipo 2 y otras ECNT.

METODOLOGÍA

La búsqueda de artículos y documentos para la realización de este trabajo se llevó a cabo a través de varias herramientas y fuentes bibliográficas. Esta búsqueda se realizó en el mes de enero del 2022, en las bases de datos ScienceDirect, Proquest y Embase, utilizando como palabras clave: diabetes, índice glicémico, alimentación funcional y nutrición. Estas palabras también se utilizaron en el buscador de "google académico" y además, se consultó información en páginas web de grandes organizaciones mundiales sobre estadísticas y datos sobre la diabetes mellitus a nivel mundial, que fueran relevantes para el tema a tratar

De los documentos obtenidos de la búsqueda en las bases de datos utilizando las palabras claves y las combinaciones de estas, fueron seleccionados aquellos que tenían información clara y relevante sobre la diabetes, su fisiopatología, sus principales causas, la situación a nivel mundial de la diabetes, los conceptos y características de la alimentación funcional e índice glicémico y por último los documentos de tipo investigativo relacionadas con la creación de alimentos

funcionales para enfermedades crónicas no transmisibles, principalmente la diabetes mellitus tipo 2

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

DIABETES

Definición

La diabetes es una enfermedad crónica que afecta el metabolismo de los alimentos, está caracterizada por niveles altos de glucosa en sangre. Este efecto es producido por la ausencia absoluta o relativa de la producción y/o acción de la insulina. Con el tiempo esta enfermedad ocasiona daños en el corazón, riñones, ojos, nervios, entre otros (International Diabetes Federation, 2021; OPS/OMS, n.d.). La DM puede cursar con síntomas característicos a causa de los altos niveles de glucosa en sangre, entre ellos tenemos la sed, poliuria, visión borrosa y pérdida de peso, normalmente estos síntomas no son muy graves e incluso la enfermedad puede estar en un estado subclínico. Al pasar desapercibida la hiperglicemia prolongada puede provocar alteraciones en el organismo durante largo tiempo antes de su diagnóstico (Vintimilla Enderica *et al.*, 2019).

Principalmente se definen tres tipos de diabetes, la diabetes tipo 2 representa del 85% al 90% de los casos y se manifiesta generalmente en adultos, este tipo de diabetes está definida por procesos que se asocian a una alteración en la funcionalidad de las células beta del páncreas productoras de insulina y varios procesos que ocasionan insulinoresistencia. La diabetes tipo 1 se caracteriza por una destrucción de las células beta lo cual es causado normalmente por procesos inmunológicos, dicha destrucción causa alteración en la producción de insulina. Por último, tenemos a la diabetes gestacional, la cual es una complicación médica común del embarazo, la afección se suele resolver luego del parto, pero las mujeres afectadas deben ser evaluadas para detectar diabetes persistente después del parto y se les debe informar que tienen un riesgo de padecerla de por vida. Existen otros tipos de diabetes que son causados por procesos más específicos, dentro de las cuales están la DM producida por fármacos, DM monogénica, DM tipo MODY, DM tipo LADA y enfermedades del páncreas exocrino (Barquilla, 2017; Egan & Dinneen, 2019; OPS/OMS, n.d.).

Fisiopatología y complicaciones

Son varios los procesos que pueden dar origen a la enfermedad (Hernández *et al.*, 2016), En la DM tipo 2 todos estos procesos se originan por una alteración en el metabolismo de la glucosa que genera resistencia en los tejidos de la hormona insulina (Franco Quinde *et al.*, 2018). Esta enfermedad está asociada de forma directa o indirecta en determinadas patologías, dentro de las cuales está incluida el síndrome metabólico, el cual es un trastorno sintomático múltiple, definido por la obesidad, dislipidemia, hipertensión e hiperglicemia, esta última está relacionada principalmente por la DM tipo 2.

En este sentido, algunos estudios han relacionado el importante aumento de la obesidad, y su dirección en paralelo con el incremento del síndrome metabólico, poniendo de manifiesto a este proceso fisiopatológico como el principal factor de riesgo en el progreso de la DM tipo 2, convirtiendo a esta alteración metabólica en uno de los problemas de salud pública con mayor importancia en este siglo, lo que conlleva a que las complicaciones generadas por estas patologías conduzcan progresivamente al deterioro en la calidad de vida en relación a la salud (Hernández *et al.*, 2016).

En la fisiopatología de la enfermedad, hay dos factores primordiales a tener en cuenta para la presentación de la hiperglicemia, estos son la acción de la insulina en los tejidos diana y la liberación de la hormona. En la alteración de la secreción de la insulina, se produce una disfunción de la célula beta, lo que limita la capacidad del organismo para producirla, además, la insulinoresistencia causa que la producción de glucosa por el hígado aumente y a su vez una disminución en la captación del musculo, tejido adiposo e hígado. La disfunción de la célula beta suele ser más grave que la insulinoresistencia, no obstante, cuando ambas alteraciones están presentes, la hiperglicemia es favorecida en gran cantidad, lo que conduce a un mayor desarrollo en la DM tipo 2. (Galicia-García *et al.*, 2020; Zheng *et al.*, 2018)

Investigaciones recientes sugieren que la disfunción de las células beta podría ser la causa de una red compleja de interacciones entre el medio ambiente y las diferentes vías moleculares. La presencia de hiperglicemia e hiperlipemia en condiciones de sobrepeso u obesidad favorece la insulinoresistencia y la inflamación crónica. En estas situaciones las células beta están sujetas a situaciones adversas, tales como presiones tóxicas, estrés inflamatorio, estrés metabólico/oxidativo, las cuales conllevan a la potencial pérdida de la integridad de los islotes. La lipotoxicidad, glucotoxicidad y glucolipotoxicidad que ocurren en la obesidad, inducen un estrés metabólico y oxidativo que ocasiona daños a las células beta del páncreas. Un exceso de

ácidos grasos libres activa una respuesta a proteínas desplegadas, que pueden dirigir a la apoptosis celular (Galicia-Garcia *et al.*, 2020; Yamamoto *et al.*, 2019).

La insulinoresistencia se refiere a una disminución en la respuesta fisiológica de las células a la insulina, se describen varias categorías para condiciones de insulinoresistencia, una de ellas es el descenso en la liberación de insulina conducida por las células beta, otra lo es la presencia de sustancias antagonistas a la hormona en el plasma, pueden ser otras hormonas reguladoras o sustancias no hormonales que perjudican la acción de la insulina y por último tenemos una respuesta deteriorada en los tejidos diana (Pearson *et al.*, 2016). La regulación de la insulina es llevada a cabo por otras hormonas como la del crecimiento y el factor de crecimiento insulínico tipo 1, las cuales mantienen un equilibrio para que no se produzcan episodios hipoglucémicos por exceso de insulina. Otra hormona que mitiga la respuesta de la insulina es el glucagón, los glucocorticoides y las catecolaminas, debido a esto, la secreción excesiva de estas hormonas puede ocasionar la insulinoresistencia. Con respecto a la acción insulínica hay tres tejidos dianas principales que son sensibles a la hormona, ellos son el músculo esquelético, tejido adiposo e hígado. Una ligera perturbación en la acción de la insulina en dichos tejidos, generalmente deriva en la insulinoresistencia sistémica, lo que favorece el desarrollo de la DM tipo 2 (Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

Además de las mutaciones o defectos epigenéticos que pueden ocasionar insulinoresistencia en el músculo esquelético, también existen factores ambientales que pueden alterar de manera directa la captación de glucosa por el músculo esquelético, la actividad física mejora el flujo de sangre en las células, mejorando la captación de glucosa, no siendo así en condiciones de obesidad e inflamación crónica, factores que favorecen el desarrollo de la DM tipo 2. Los estudios sugieren que la obesidad acarrea un aumento en la infiltración de células inmunitarias, la secreción de moléculas proinflamatorias en el tejido intermiocelular y tejido adiposo perimuscular, ocasionando la inflamación muscular y por consiguiente contribuyendo a la insulinoresistencia (Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

En cuanto al tejido adiposo, la insulina actúa en este de dos formas, (1) estimula la captación de glucosa y la síntesis de triglicéridos y 2) suprime la hidrólisis de triglicéridos e induce la captación de ácidos grasos libres y glicerol de la circulación. Una insulinoresistencia en el tejido adiposo mediada por diversos procesos, está asociada con la intolerancia a la glucosa y liberación de ácidos grasos libres al plasma, los cuales se acumulan en otros sitios como el hígado o músculo. Cuando esto ocurre en el hígado, los ácidos grasos ocasionan una señalización de insulina

deteriorada, que conlleva a una gluconeogénesis hepática y deteriora la respuesta de la insulina estimulada con glucosa, lo que promueve el progreso de la DM tipo 2 (Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

Las alteraciones evidenciadas en el hígado por la insulinoresistencia son la disminución de glucógeno, no se suprime la producción de glucosa, estimulación de la lipogénesis y el incremento de proteínas proinflamatorias, la síntesis de estas proteínas sumada a otras anormalidades como pueden ser el estrés oxidativo, impulsan a un estado de inflamación crónica, la cual es responsable de la respuesta alterada de la insulina por parte del hígado (Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

Además de la etiología tradicional que consiste en el fracaso de la célula beta e insulinoresistencia a nivel hepático y muscular, se han evidenciado otros procesos fisiopatológicos asociados a la DM tipo 2. Los procesos más estudiados son, una alteración en las células alfas del páncreas que acarrea un aumento en la producción de glucagón, a nivel del riñón un incremento en la reabsorción tubular de glucosa, también, se observa una disminución del efecto incretínico, dicho efecto está definido por un mayor estímulo en la liberación de insulina cuando la ingestión de glucosa es a través de la vía gastrointestinal, es decir al comer, Además, el sistema nervioso central también actúa en mecanismos relacionados con la DM, ligado a anormalidades en la funcionalidad de neurotransmisores (del Val Zaballos, 2020; Pérez-Díaz, 2016).

Se han identificado los factores de riesgo para el padecimiento de la enfermedad, estos se han dividido en dos categorías, factores modificables y no modificables (Franco Quinde *et al.*, 2018), entre los primeros se encuentran la obesidad, el sedentarismo y los factores de alimentación, estos factores son básicamente características del estilo de vida de la persona, con lo cual la modificación entre ellos ayudaría en gran medida a la prevención de la enfermedad (Vásquez Solórzano & Rodríguez Vargas, 2019), entre los factores no modificables tenemos la historia familiar, raza, edad, sexo, los cuales son factores que pueden tener influencia en la aparición de la DM tipo 2, principalmente la genética, ya que la posibilidad de que aparezca la enfermedad aumenta en gran medida si la enfermedad se presenta por factores genéticos (Palacios *et al.*, 2012).

La DM tipo 2 es una enfermedad crónica, que si no es tratada adecuadamente, esta puede causar a largo e incluso medio plazo varias complicaciones que afectan gravemente la salud y calidad de vida del que la padece, dentro de ellas se encuentran la ceguera, problemas dentales,

nefropatía con potencial fallo renal, infecciones, neuropatía periférica que tienen riesgo de úlceras plantares, amputación o pie de Charcot y enfermedades cardiovasculares (Domínguez-Olmedo *et al.*, 2017; Vintimilla Enderica *et al.*, 2019).

La neuropatía diabética, la cual se define como la presencia de disfunción de nervios periféricos causada por la diabetes, actualmente es la neuropatía de mayor presentación en el ámbito clínico, va hasta un 50% de las personas que cursan con diabetes a lo largo de los años, el origen de esta complicación se encuentra determinado por aspectos metabólicos y vasculares (Páez *et al.*, 2016). La neuropatía distal en miembros inferiores normalmente es de carácter asintomático en gran parte de los pacientes, está definida por la pérdida de sensibilidad, lo que es un factor de riesgo para la producción de lesiones y ulceraciones que no se tratan (Vázquez San Miguel *et al.*, 2016), cuando hay aparición de dolor en la neuropatía diabética que suele ocurrir del 10-30% de los casos, generalmente se suele describir como quemante o punzante, con sensación de entumecimiento, hipersensibilidad, un dolor profundo que generalmente empeora por las noches (Rueda *et al.*, 2020).

Páez *et al.*, (2016) también describe la cardiopatía isquémica, la cual está dada por una alteración en la función cardíaca, causada por un flujo sanguíneo insuficiente al tejido muscular que se da crónicamente, esta insuficiente irrigación sanguínea es causada principalmente por complicaciones ateroscleróticas localizadas en la pared de los vasos subepicárdicos del corazón. La DM acelera el origen y progreso de la placa de ateroma, sumado a esto, causa un aumento de las especies reactivas de oxígeno (EROs), dichas especies ocasionan una reducción en la síntesis de óxido nítrico, esto tiene por consecuencia el deterioro de la pared endotelial. Mecanismos como el estrés del retículo endoplásmico y la resistencia a insulina que son secundarios a la DM también disminuyen la producción de óxido nítrico, causando vasoconstricción y empeorando la cardiopatía isquémica.

La cardiopatía diabética es otra de las complicaciones derivadas de la diabetes, esta es definida como una alteración negativa de la función cardíaca, debido a afectaciones estructurales y funcionales causadas por la DM, esto en ausencia de otras enfermedades que puedan causar alteración de la función cardíaca, como lo son enfermedades congénitas cardíacas, enfermedad arterial coronaria, hipertensión arterial (HTA) y enfermedad vascular significativa. La afectación del músculo cardíaco es originado principalmente por anomalías metabólicas, dentro de ellas se describe la hiperlipemia, la cual provoca un aumento en la utilización de los ácidos grasos por sobre la glucosa, esto derivado de la insulinoresistencia, lo que dará como resultado una

esteatosis cardiaca. Otra de las condiciones es la hiperglicemia, la cual provoca un aumento en la síntesis de EROs, estas sustancias ocasionan alteraciones que resultaran en un incremento de los productos finales tóxicos en procesos como la glicosilación avanzada, siendo los responsables principalmente del daño celular derivado de la hiperglicemia.

Además del efecto fisiopatológico que tienen la hiperinsulinemia y la resistencia a la insulina en los ácidos grasos libres, también aumentan la degradación y disminuyen la producción de óxido nítrico, aumentan el calcio intracelular y la sensibilidad al mismo; estos y varios procesos más, favorecerán la aparición de condiciones como lo son la rigidez vascular, factor que favorecerá el deterioro de la función cardiaca con mayor rapidez (Carabetti, 2017; Páez *et al.*, 2016; Solano & Fornieri, 2019).

Otra de las complicaciones importantes es la nefropatía diabética, la cual es causada a nivel de la microvasculatura renal, está dada principalmente por alteraciones en el glomérulo, evidenciándose anomalías funcionales y estructurales. Los diabéticos presentan mayor filtración a nivel del glomérulo, es decir, una mayor tasa de filtración glomerular (TFG), lo cual se deriva por alteraciones en las diferencias de presión de las arteriolas aferentes comparadas con las eferentes, esto deriva en un aumento de flujo sanguíneo capilar, que ocasiona una elevación de la TFG. Esta situación mantenida por un tiempo prolongado, deriva en una hipertrofia glomerular, con incremento en la secreción de citoquinas y factores de crecimiento que conllevan a una proliferación mesangial, con incremento de la matriz extracelular, esto conduce a alteraciones hemodinámicas que favorecen el deterioro de la función renal y aumentan la progresión de la enfermedad (Meza Letelier *et al.*, 2017; Páez *et al.*, 2016).

ÍNDICE GLICÉMICO

Fue en 1980, cuando se habló por primera vez del concepto de índice glicémico (IG), se define como una medida utilizada para calcular el incremento de glucosa en sangre luego de la ingestión de un alimento rico en carbohidratos, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la OMS, lo definen como el aumento que se da del área bajo la curva de una respuesta glicémica, dicha respuesta está dada por la ingesta de 50g del alimento probado, el IG es representado como un porcentaje de la respuesta de un alimento de referencia (glucosa o pan blanco) que se le es dado a la misma persona, este último alimento se

toma de referencia, con un valor de 100, el valor se obtiene a los 120 minutos luego de la ingesta (Manuzza *et al.*, 2018).

Los alimentos son clasificados con el índice glicémico en altos (valores mayores o iguales a 70), medios (valores de 55 a 70) y bajos (valores menores de 55), el IG se puede estimar por métodos *in vitro*, carbohidratos con una rápida absorción a nivel intestinal darán un elevado IG, mientras que carbohidratos con una absorción más lenta, producirán una curva más plana, y niveles bajo de elevación de la glucosa, diversos factores como su estructura y preparación, causaran variación de dicha curva (Díaz-Osorio *et al.*, 2019).

Variaciones en el índice glicémico en alimentos

Se han evidenciado controversias sobre el índice glicémico, debido a ciertas limitaciones ocasionadas por factores individuales del individuo y el alimento, las cuales pueden causar alteraciones en sus valores referidos. Ciertas variables como lo son, la variedad del alimento, el grado de maduración en frutas y vegetales y las técnicas de preparación y manipulación, pueden llegar modificar las características del alimento, dando como resultado diferencias en los valores del IG para un mismo alimento (Manuzza *et al.*, 2018). Hay cierta variabilidad esperada entre un mismo sujeto y distintos, ocasionado por mecanismos individuales y otras características interpersonales como lo pueden ser factores étnicos (Wolever *et al.*, 2015).

Finalmente, después de 12 años se han actualizado las tablas internacionales de índice glicémico para los alimentos, algunos datos generales se mantienen a través del tiempo. En los productos lácteos, legumbres, pastas y frutas, el IG tiende a ser bajo en su mayoría y de manera global. Los cereales y productos derivados de estos muestran gran variación, esto es sugerido por diferencias en los métodos de procesamiento y fabricación. Productos comercializados vienen en varias presentaciones de IG alto y bajo. La papa y arroz suelen ser alimentos con un IG alto, sin embargo, se han visto variedades con un IG más bajo. En las nuevas tablas, se muestran los porcentajes de alimentos de cada categoría que están entre las poblaciones de, bajo, medio y alto IG, lo cual ayuda a la hora de saber qué porcentaje de opciones hay disponible dentro de cada categoría de alimentos. Aunque esta edición mejora en la presentación de los datos en cuanto a su calidad y cantidad, lo cual ayuda en la investigación y la práctica clínica, se necesita tener datos del IG para cada región en particular, ya que en cada población se van a presentar alteraciones en el IG (Atkinson *et al.*, 2021).

Como fue antes mencionado, las técnicas de preparación y procesamiento de los alimentos, puede cambiar los valores del IG, las diferentes variaciones culturales, especies del alimento, y modo de cocción, deben tenerse en cuenta para los valores del IG de cada alimento (Manuzza *et al.*, 2018).

El sometimiento al efecto del calor en los alimentos, suele incrementar el índice glicémico, como cuando son hervidos en agua, como pasa con gran parte de los tubérculos y vegetales, también las técnicas de preparación pueden alterar el índice glicémico, por ejemplo en el proceso de trituración para ciertos granos, a menor partícula, mayor será su hidrólisis y absorción en el organismo, esto causa un aumento del IG, es decir, los alimentos refinados tienen un mayor IG, también, la cantidad de proteínas y fibra que dicho alimento contenga disminuirán la velocidad de digestión, disminuyendo captación de glucosa y el IG. Así mismo, el grado de maduración en frutas y vegetales, elevaran el índice glicémico por su alto contenido de amilosa (Rodríguez Huaman & Huaman Apaza, 2018).

En el estudio realizado por Rodríguez Huaman & Huaman Apaza, (2018), donde el objetivo fue comparar el índice glicémico y la carga glicémica (CG) entre tres variedades de tubérculos, la papa, moraya y chuño, donde los dos últimos son derivados del primero, demostró que existía una diferencia significativa en el consumo de estos, el chuño, un alimento que es bastante consumido por los habitantes alto andinos, el cual es sometido un proceso de deshidratación, que consiste en congelación natural en las heladas nocturnas y exposición a la luz del sol, fue el que presentó los niveles más bajos de IG y CG, evidenciando así como los procesos fisicoquímicos alteran la estructura de los almidones, disminuyendo así su IG.

En una tesis doctoral hecha por Fernández Ruano, (2020) donde se investigaba el uso de altas presiones hidrostáticas para el tratamiento de un producto panificable, que presentara un bajo índice glicémico y presencia de cualidades antioxidantes, se determinó que dicho tratamiento y bajos valores de humedad son capaces de dar lugar a productos con un mayor contenido de almidón, con producción almidones resistentes, lo cual altera los valores del IG, derivando en un valor más bajo de lo normal.

Ojeda *et al.*, (2018) estudiaron los efectos que causaban en el almidón los procesos de congelación y cocción sucesivos en un alimento a base de harina de maíz, llamado "bollo", se encontraron resultados significativos al comparar la cantidad concentración de almidón total y de almidones resistentes que contenía la harina de maíz precocida de dicho alimento luego del

tratamiento. Los resultados mostraron que los tratamientos sucesivos de congelación y cocción afectan de manera positiva la relación de fibra dietética y almidones solubles, dando como resultado un alimento parecido a uno integral, ya que demostró efectos positivos en la velocidad de digestión y la reducción del IG.

Meera *et al.*, (2019) realizaron un estudio donde compararon varias variedades de cultivos indígenas de arroz pigmentado, los resultados evidenciaron que la variedad "Kattuyanam" presentó un bajo IG, con un alto nivel de proteínas y fibra, así también están las variedades de "kavuni" rojo y negro, quienes presentaron un IG medio. Contrario a la creencia de que el consumo de arroz eleva en gran medida el IG, podemos evidenciar que dichas variedades pueden ser incluso usadas para preparaciones en personas para mantener un control de IG.

Ratnaningsih *et al.*, (2020) evaluaron los cambios fisicoquímicos presentados en el almidón de cowpea (una variedad de frijol), al usar un tratamiento de autoclavado-enfriamiento, los resultados mostraron una modificación estructural en el almidón e incremento de la cantidad de almidón resistente evidenciando una mejor estabilidad térmica y una disminución de su IG, comparado con la cowpea que no se le administró el tratamiento.

Una investigación realizada por Goel *et al.*, (2020) donde utilizaron un tratamiento de humedad-calor (THC) para evaluar los cambios fisicoquímicos en el almidón de alforfón, demostró que un TMC a un tiempo de 45 minutos resultó en un aumento en los valores de amilosa y almidón resistente, observándose una reducción para el índice glucémico estimado (eIG), convirtiendo al TMC en un potencial método de modificación que puede mejorar la estabilidad térmica del almidón y posible método para el desarrollo de alimentos funcionales con bajo índice glicémico.

Ritudomphol & Luangsakul, (2019) evaluaron el efecto de la temperatura y relación de agua para el proceso de cocción en tres variedades de arroz instantáneo, el estudio mostró que la menor temperatura de cocción estudiada que fue 82 grados centígrados (°C), anidada un mayor ratio de agua (1.9), disminuyó el índice glicémico estimado (eIG), probablemente por el incremento de almidones de lenta digestión y almidones resistentes, que resultan en una baja accesibilidad para el proceso enzimático de digestión, comparado con la cocción a altas temperaturas y bajo ratio de agua, donde el incremento de los almidones rápidamente dirigibles presentan una buena accesibilidad enzimática y por lo tanto un aumento en eIG, además de esto la variante de arroz con mayor contenido de amilosa resultó con un eIG más bajo.

En un estudio comparativo realizado por Shaikh *et al.*, (2019), donde se buscaba evidenciar los efectos de tratamiento con ácido cítrico y láctico en almidones de maíz y sorghum, los resultados mostraron que ambos tratamientos, con y sin humedad-calor, aumentaron de manera significativa la presencia de almidones resistentes y una disminución del IG, donde se sugiere que es a causa de una leve hidrólisis ácida y esterificación que une las cadenas de almidón.

Demirkesen-Bicak *et al.*, (2021) compararon diferentes condiciones de fermentación para la realización de pan con masa fermentada, la investigación buscaba obtener los efectos causados en el eIG, la digestibilidad del almidón *in vitro* y características sensoriales, para ello utilizaron dos tipos de fermentaciones, una producida vía espontánea (tipo 1) y otra con la adición de cepas fermentadoras de bacterianas y levaduras (tipo 2), para todas las condiciones de fermentación el incremento de los almidones resistentes fue mayor que en las muestras de control, en la fermentación tipo 2 el incremento fue más significativo que en la tipo 1, la fermentación tipo 2 a 30°C presentó un resultado más significativo en la disminución del eIG que la tipo 1 a 25 °C, esto puede ser explicado por el alto contenido de ácido láctico que se produce en las condiciones de la fermentación tipo 2.

ALIMENTO FUNCIONAL

En la actualidad aún no se cuenta con un concepto completamente estandarizado para decir lo que es un alimento funcional, sin embargo, una definición bastante aceptada es definirlo como aquellos alimentos que además de aportar los nutrientes habituales, poseen características que les permiten ejercer un efecto benéfico sobre el organismo, mejorando el estado de salud y bienestar (Aguirre, 2019).

Diversos compuestos bioactivos como, prebióticos, probióticos, almidones resistentes, vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos, entre otros, son las sustancias que puede tener un alimento funcional, dichos compuestos bioactivos son los que causaran los efectos benéficos adicionales. Los alimentos funcionales pueden clasificarse en varios grupos, existen los llamados alimentos funcionales fortificados, a estos no se les añade ningún compuesto bioactivo, sino que son favorecidos los que ya están presentes en el alimento. Contrarios a estos tenemos otro grupo los cuales son alimentos industrialmente procesados a los que se les añade compuestos bioactivos, un claro ejemplo de estos es el yogur con probióticos, a este grupo se les denomina alimentos funcionales enriquecidos. Por último, está el grupo de alimentos a los cuales ni se les añade ni mejora ningún componente, sino que se retira uno de estos de su composición, dicho

componente que pueda causar un efecto adverso en el organismo, un ejemplo de ello es la leche descremada (Arias Lamos *et al.*, 2018).

En una tesis realizada por Flores Navarrete, (2018) para optar por el título de químico de alimentos, se realizó la obtención de una harina de plátano verde precocida y fortificada, El enriquecimiento de la harina consistió en la adición de sales de hierro para hacerla una harina rica en dicho mineral, encontrando así que la sal ideal para dicha fortificación es la de pirofosfato férrico, la harina resultante puede usarse como alimento funcional para ayudar a cubrir la carga de ingestión diaria de hierro necesaria en el organismo.

Pérez *et al.*, (2018) hicieron un estudio para el aprovechamiento de las cascaras de huevo, donde se obtuvo micropolvos a partir de estas, que eran ricos en calcio. Un micropolvo que por sus características inocuas podía ser usado como suplemento alimenticio de calcio combinado con otras preparaciones, en la presente investigación se realizó un yogurt que se fortificó adicionándole los polvos que se fabricaron, para así evaluar su potencial como alimento funcional, el cual obtuvo buenas características organolépticas y, además, con el doble contenido de calcio comparado con un yogurt normal.

ALIMENTACIÓN FUNCIONAL Y DIABETES

Ya hemos visto como la alimentación hace parte de los factores importantes a tener en cuenta en la prevención y tratamiento de la diabetes y la obesidad. Los alimentos consumidos, además de aportar los nutrientes que son necesarios para el organismo, deben tener en cuenta un tratamiento hipoglucemiante, de ahí surge un concepto denominado "tratamiento médico nutricional". Dicho tratamiento busca normalizar la glicemia, equilibrando con el tratamiento de la medicación hipoglucemiante, previniendo episodios híper e hipoglucémicos y buscando evitar las complicaciones a largo plazo de la diabetes. Además de esto, un buen tratamiento dietario procura evitar la prevalencia de enfermedades cardiovasculares, por lo que se enfoca también en la reducción de ingesta de grasa saturada, colesterol dietético y sal, para evitar la elevación de colesterol e hipertensión arterial (Ravera *et al.*, 2016; Riobó Serván, 2018).

La terapia de en la DM tipo 2 está enfocada principalmente en el control glicémico lo que lleva a dietas que reducen el consumo de carbohidratos. Una dieta muy usual es la que contiene bajas proporciones de carbohidratos y altas en proteínas, con este plan alimenticio se han observado

beneficios, dentro de los cuales se encuentran la pérdida de peso, cambios positivos en la composición corporal y efectos beneficiosos del metabolismo en estado de reposo, disminución en la concentración de triglicéridos e incremento de las HDL (Pinilla-Roa & Barrera-Perdomo, 2018).

Una dieta muy rica en carbohidratos presenta ciertas complicaciones, como lo son el posible deterioro del control glucémico, una mayor elevación en la glucosa postprandial, anormalidades a nivel metabólico de las lipoproteínas, aumento de la insulina endógena, exógena y producción de insulinoresistencia en los tejidos. Estos efectos perjudiciales del aporte elevado de carbohidratos, se encuentran ausentes cuando estos son de carácter complejos, con una considerable presencia de almidones resistentes y de lenta digestión, capaces de disminuir el IG y la CG (Riobó Serván, 2018).

Estudios han mostrado, que el consumo de alimentos, aunque ricos en carbohidratos, pero con un valor bajo de IG, son eficaces en la prevención y tratamiento de la diabetes y la obesidad. Obtener un adecuado control glucémico en individuos con alteraciones en la glucemia, pero que aún está por debajo de individuos diabéticos, es de vital importancia para reducir el riesgo de padecer diabetes que tienen estas personas (Riobó Serván, 2018).

En la industria alimentaria cada vez más se incorpora la fibra dietética como compuesto bioactivo para la creación de alimentos funcionales. Hay dos tipos de fibra, la fibra insoluble, y la fibra soluble, la primera está asociada con una reducción del estreñimiento y efectos benéficos en el funcionamiento del colon, la fibra soluble en cambio, está relacionada con una disminución en los niveles de glicemia y colesterol (Arias Lamos *et al.*, 2018).

Se ha investigado el consumo de fibra soluble o también denominada fibra fermentable, como lo son las gomas, pectinas y mucinas, los cuales provienen de la modificación de ciertos monosacáridos como la manosa, la arabinosa y la galactosa, la presencia de la fibra soluble en la dieta trae ciertos beneficios como lo son una disminución en la velocidad de digestión, una liberación más lenta de los monosacáridos a la circulación y por lo tanto, una curva de carácter más plana de la glicemia postprandial, su favorecimiento en la absorción de agua contribuye al mejoramiento de la saciedad, lo que permite disminuir la cantidad ingerida de alimento (Casasola & Segura, 2021)

En los últimos años se evidencia la utilización de fibras vegetales para adición en ingredientes como lo son como salvado de trigo; harinas integrales multigranos compuestas de copos de

avena; grano de centeno; semillas de girasol; sésamo; linaza; harinas y almidón resistente en la fabricación de pan. El almidón resistente otorga beneficios en el producto de panificación, modifica características generales del producto como lo son la consistencia, textura, y características sensoriales (Arias Lamos *et al.*, 2018; Benítez *et al.*, 2018).

Son muchos los estudios realizados en los últimos años para la obtención e investigación de posibles alimentos funcionales que ayuden en la prevención y tratamiento de las ECNT, dentro de las cuales se ha provisto de relevancia la DM tipo 2, dichos estudios se centran principalmente en la adición o estudios de compuestos bioactivos en los alimentos, los más importantes, son los compuestos fenólicos, antioxidantes, almidones de lenta digestión, almidones resistentes, presencia de fibra dietética, prebióticos, entre otros, dichos compuestos generan efectos benéficos ya mencionados que permiten ayudar en la prevención y tratamiento de la DM.

Una revisión llevada a cabo por Acosta, (2019), mostro en evidencia que el consumo de alimentos ricos en polifenoles, principalmente de frutas como fresas, moras, uvas, cerezas, manzanas, pera, ayudan a disminuir el riesgo de DM tipo 2 y también se asoció a varios de estos compuestos bioactivos con una modulación en resistencia a la insulina. Los polifenoles de mayor importancia que causan estos efectos benéficos pertenecen al grupo de los flavonoides, dentro de ellos están las antocianinas, epicatequina y proantocianinas.

Alongi *et al.*, (2019) evaluaron la adición de pulpa de manzana como ingrediente funcional en la realización de galletas, lo que mostró un resultado positivo, evidenciando una reducción significativa del IG de estas, esto sugerido por el alto contenido de fibra presente en la pulpa que aportó los beneficios para la reducción de la respuesta glicémica, en el presente estudio se concluyó que la pulpa puede ser usada como es un posible ingrediente para ser usado en la fabricación de alimentos funcionales que ayuden en el manejo y control glicémico de pacientes con DM tipo 2.

En una investigación hecha por Martínez Aguilar *et al.*, (2020) donde buscaban la elaboración de un producto de panificación adicionado con sucralosa (edulcorante no calórico) y fibra (avena), con el fin de reducir los niveles de glucosa postprandiales y medir su efecto en los pacientes con DM tipo 2, los resultados mostraron una reducción del índice glicémico, y a pesar de que los resultados no fueron significativos según la metodología propuesta, dicho producto de panificación se considera como una buena alternativa del pan tradicional, cumpliendo con las características organolépticas.

Díaz-Osorio *et al.*, (2019) desarrollaron snacks con harinas de plátano y yacón, los resultados mostraron que estos contenían una fortificación con polifenoles y agentes antioxidantes, asociados principalmente a la harina de yacón, sustancias que están relacionadas con la prevención de enfermedades degenerativas por sus efectos fisiológicos, además de esto, las formulaciones de harina para los snacks mostró un alto contenido de almidones de lenta digestión y almidones resistentes, los cuales se consideran benéficos para la minimización de la respuesta glicémica, esto correlacionado con un bajo eIG encontrado en estas harinas, efecto principalmente atribuido a la harina de plátano.

También se realizó una revisión bibliográfica por Yábar Villanueva & Reyes De La Cruz, (2019) de la maca, un potencial alimento funcional, la literatura mostró que este es un alimento de carácter energético y funcional, por sus valores nutritivos, altos en compuestos fenólicos, sustancias que ayudan en la prevención de enfermedades como la DM tipo 2, también contiene compuestos bioactivos que favorecen también enfermedades como el cáncer y además también contiene fitoesteroles los cuales son de ayuda en la prevención de enfermedades vasculares, la maca es un alimento consumido y cultivado principalmente en la población andina, presenta importancia en su exportación a china, donde es usado como remedio natural, para mejoramiento del rendimiento sexual y como terapia para la condición post-menopáusica.

En una revisión bibliográfica llevada a cabo por Vargas Zambrano *et al.*, (2019) sobre el potencial de la quinua como alimento funcional por sus características nutricionales se concluyó que esta era una excelente fuente de nutrientes, con una alta capacidad antioxidante y una buena fuente de polifenoles, donde se sugiere la quinua como una potencial fuente alimenticia para ser usada en el desarrollo de alimentos modernos que ayuden en la prevención de diversas enfermedades crónicas y degenerativas.

de Jesús Mex-Álvarez *et al.*, (2018) realizaron una investigación para estudiar el efecto de cinco variedades de maíz cultivados en el Estado de Campeche (México), los resultados mostraron, actividad hipoglucémica pobre en tres de los extractos de maíz, sin embargo se encontró que los maíces de variedad morado y rojo, tenían un rango de con un moderado – bajo IG con una actividad hipoglucémica moderada, se sugiere que el contenido de fenoles en el maíz morado puede explicar su actividad hipoglucemiante, así mismo su bajo índice glicémico puede indicar poca biodisponibilidad de los azúcares.

CONCLUSIONES

Después de analizar la información presentada podemos concluir que, en primera instancia, la DM y más específicamente la DM tipo 2 y sus complicaciones a largo plazo son un problema creciente de salud pública, de gran importancia a tratar para la reducción de su impacto biopsicosocial y económico.

Así mismo, se puede decir que la alimentación y, por lo tanto, una dieta balanceada y saludable es un gran factor a tener en cuenta para la prevención y tratamiento de la DM tipo 2, así como otros padecimientos crónicos y degenerativos.

Para actuar en dicha prevención y tratamiento, la alimentación funcional para la diabetes mellitus se enfoca en gran parte en la reducción de la curva de glicemia postprandial que se presenta en los alimentos ricos en carbohidratos, así como la implementación de alimentos ricos en componentes bioactivos como compuestos fenólicos, que puedan causar beneficios a nivel metabólico, donde radica principalmente la fisiopatología de esta enfermedad.

Para llevar a cabo la elaboración de alimentos con esas características, se realiza el estudio de diversos procesos que puedan producir cambios beneficiosos en su estructura o composición, buscando alterar lo menos posible sus características organolépticas y que sean de agrado para el consumo humano. Algunos de estos procesos son tratamientos fisicoquímicos como humedad y calor, tratamientos químicos con sustancias que modifiquen los alimentos, o tratamientos microbiológicos que traigan consigo características deseables y beneficios al alimento.

Por último, se esperaría que en el futuro estas investigaciones se realicen con mayor frecuencia, buscando la creación de alimentos cada vez más beneficiosos para la salud de la población y reducir el impacto que tiene la mala alimentación hoy en día, siendo importante también que dichos alimentos sean de carácter asequible para la mayoría, pudiendo estar al alcance de las poblaciones más vulnerables.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Lourdes que siempre me acepta de cualquier forma y nunca me ha faltado de su gran amor incondicional.

A mi padre Jorge por enseñarme a usar la razón en los momentos más difíciles y ser el apoyo económico en este gran camino.

A mis profesores que se esmeraron en brindarme la enseñanza y los conocimientos para llegar hasta aquí, especialmente al profesor Cristian por transmitirme su amor al conocimiento e investigación.

A mi amigo Carmelo que siempre me reta con su forma de pensar y ha sido el hermano que me regaló la vida.

Al resto de mis familiares y amigos, que fueron muchos los que me apoyaron emocionalmente en muchos momentos y motivándome siempre en el transcurso de esta carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. L. C. (2019). Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *Revista Digital RED CieN*, 1(3).
- Aguirre, P. (2019). Alimentos funcionales entre las nuevas y viejas corporalidades. *AIBR: Revista de Antropología Iberoamericana*, ISSN-e 1578-9705, Vol. 14, N^o. 1, 2019, Págs. 95-120, 14(1), 95–120.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6832409&info=resumen&idioma=SPA>
- Alongi, M., Melchior, S., & Anese, M. (2019). Reducing the glycemic index of short dough biscuits by using apple pomace as a functional ingredient. *LWT*, 100, 300–305.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.068>
- Arias Lamos, D., Montaña Díaz, L. N., Velasco Sánchez, M. A., & Martínez Girón, J. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Tecnura*.
<https://doi.org/10.14483/22487638.12178>
- Association, A. D. (2017). 3. Comprehensive Medical Evaluation and Assessment of Comorbidities: Standards of Medical Care in Diabetes—2018. *Diabetes Care*, 41(Supplement_1), S28–S37. <https://doi.org/10.2337/dc18-S003>
- Atkinson, F. S., Brand-Miller, J. C., Foster-Powell, K., Buyken, A. E., & Goletzke, J. (2021). International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 114(5), 1625–1632.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab233>
- Barquilla, A. (2017). Actualización breve en diabetes para médicos de atención primaria. *Revista Española Sanid Penit*, 17, 57–65.
- Benítez, V., Esteban, R. M., Moniz, E., Casado, N., Aguilera, Y., & Mollá, E. (2018). Breads fortified with wholegrain cereals and seeds as source of antioxidant dietary fibre and other bioactive compounds. *Journal of Cereal Science*, 82, 113–120.
<https://doi.org/10.1016/J.JCS.2018.06.001>
- Carabetti, J. A. M. (2017). Cardiomiopatía diabética TT - Diabetic cardiomyopathy. *Revista Uruguay de Cardiología*, 32(3), 264–276.
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-

04202017000300264&lang=es

- Casasola, S., & Segura, G. L. (2021). Sobre el lugar y el impacto de la fibra dietética en el control metabólico de la Diabetes mellitus tipo 1. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 31(1), 4.
- Castillo, M. Y. J., Bornachera, M. E. Q., & Díaz, C. S. (2018). Impacto del alto costo relacionado con la diabetes Mellitus en el sistema de salud en Colombia. *REDIIS/Revista de Investigación e Innovación En Salud*, 2, 82–91.
- de Jesús Mex-Álvarez, R. M., Garma-Quen, P. M., de Jesús Bolívar-Fernández, N., de la Asunción Escalante, R. M., & Guillen-Morales, M. M. (2018). Actividad Hipoglucemiante de Variedades Criollas de Maíz (*Zea mays* L.). *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 49(3), 1–13.
- del Val Zaballos, F. (2020). Actualización en diabetes tipo 2: nuevas opciones y recomendaciones. *NPunto*, III, 43–69. <https://www.npunto.es/content/src/pdf-articulo/5f33c605dcaa0art3.pdf>
- Demirkesen-Bicak, H., Arici, M., Yaman, M., Karasu, S., & Sagdic, O. (2021). Effect of Different Fermentation Condition on Estimated Glycemic Index, In Vitro Starch Digestibility, and Textural and Sensory Properties of Sourdough Bread. In *Foods* (Vol. 10, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/foods10030514>
- Díaz-Osorio, A., Martínez-Castaño, M., Contreras-Calderon, J., & Gallardo-Cabrera, C. (2019). Glycemic Index in vitro, Phenolic Content and Antioxidant Activity of a Snacks made with unripe banana (*Musa paradisiaca*) and Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Flours. *Informacion Tecnologica*, 30(5), 111–120. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500111>
- Domínguez-Olmedo, J. M., Pozo-Mendoza, J. A., & Reina-Bueno, M. (2017). Revisión sistemática sobre el impacto de las complicaciones podológicas de la diabetes mellitus sobre la calidad de vida. *Revista Española de Podología*, 28(1), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.repod.2017.02.001>
- Durán Agüero, S., Carrasco Piña, E., & Araya Pérez, M. (2012). Alimentación y diabetes. *Nutrición Hospitalaria*, 27(4), 1031–1036.

- Egan, A. M., & Dinneen, S. F. (2019). What is diabetes? *Medicine (United Kingdom)*, 47(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2018.10.002>
- Fernández Ruano, M. (2020). *Aplicación de altas presiones hidrostáticas en el desarrollo de un producto panificable con bajo índice glucémico y alta capacidad antioxidante*.
- Flores Navarrete, D. S. (2018). *Obtención de harina de plátano verde tipo HARTÓN (Musa AAB) precocida y fortificada*. Quito: UCE.
- Franco Quinde, C., Lucas, E., Lino, W., & Parrales, I. (2018). Prevalencia y factores de riesgo de diabetes tipo II. *RECIMUNDO: Revista Científica de La Investigación y El Conocimiento*, ISSN-e 2588-073X, Vol. 2, Nº. 1, 2018, Págs. 530-549, 2(1), 530–549. <https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.530-549>
- Galicia-Garcia, U., Benito-Vicente, A., Jebari, S., Larrea-Sebal, A., Siddiqi, H., Uribe, K. B., Ostolaza, H., & Martín, C. (2020). Pathophysiology of Type 2 Diabetes Mellitus. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/ijms21176275>
- Goel, C., Semwal, A. D., Khan, A., Kumar, S., & Sharma, G. K. (2020). Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physicochemical and functional properties of heat-moisture treated buckwheat starch. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2941–2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>
- Guedes-Oliveira, J. M., Salgado, R. L., Costa-Lima, B. R. C., Guedes-Oliveira, J., & Conte-Junior, C. A. (2016). Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 268–273. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.005>
- Hernández, A., Galván, S., Arrázola, G., & Osorio, J. (2016). Evaluación de las condiciones de proceso sobre las propiedades funcionales de harina de plátano. *Agronomía Colombiana*.
- International Diabetes Federation. (2021). IDF Diabetes Atlas: Tenth edition 2021. In *International Diabetes Federation*.
- Manuzza, M. A., Brito, G., Echegaray, N. S., & López, L. B. (2018). *Glycemic index and glycemic load: their value in treatment and prevention of noncommunicable chronic*

diseases. 36(162), 10–18.

<https://pdfs.semanticscholar.org/6c8f/a38f93071f5e33c5d02df047868dd7c2b84c.pdf>

- Martínez Aguilar, R. C., Castillo de del Valle, N. R., & Guzmán de Ascencio, L. M. (2020). Efecto de un producto de panificación elaborado con sucralosa y su influencia sobre el índice glicémico en pacientes diabéticos tipo 2. *Crea Ciencia Revista Científica*, 0(2 SE-Artículos de Investigación), 10–15. <https://doi.org/10.5377/creaciencia.v0i2.9250>
- Meera, K., Smita, M., Haripriya, S., & Sen, S. (2019). Varietal influence on antioxidant properties and glycemic index of pigmented and non-pigmented rice. *Journal of Cereal Science*, 87, 202–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.03.005>
- Meza Letelier, C. E., San Martín Ojeda, C. A., Ruiz Provoste, J. J., & Frugone Zaror, C. J. (2017). Pathophysiology of diabetic nephropathy: a literature review. *Medwave*, 17(1), e6839. <https://doi.org/10.5867/medwave.2017.01.6839>
- Ojeda, L., Claramonte, M., Rey, J., Trestini, C., Useche, M., Zambrano, N., Rodríguez, M., Velásquez, I., & Noguera-Machado, N. (2018). Efecto de los procesos de congelación y descongelación sobre los almidones en un alimento a base de maíz. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(4). <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000500310>
- Okiyama, D. C. G., Navarro, S. L. B., & Rodrigues, C. E. C. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 103–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.007>
- OMS. (n.d.). *Diabetes*. Retrieved January 6, 2022, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- OPS/OMS. (n.d.). *Diabetes*. Retrieved January 3, 2022, from <https://www.paho.org/es/temas/diabetes>
- Organizacion Mundial de la Salud. (2016). Informe mundial sobre la diabetes. Resumen de orientación. *Organizacion Mundial de La Salud*.
- Organización Mundial de la Salud. (2021, May 27). *Información actualizada sobre la 74.^a Asamblea Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/news/item/27-05-2021-update-from-the-seventy-fourth-world-health-assembly-27-may-2021>

- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *La carga de la diabetes mellitus en la Region of the Americas, 2000-2019*. <https://www.paho.org/es/enfermedades-no-transmisibles-salud-mental/portal-datos-enfermedades-no-transmisibles-salud-3>
- Páez, J. A., Triana, J. D., Ruiz, M. Á., Masmela, K. M., Parada, Y. A., Peña, C. A., Perdomo, C. M., Quintanilla, R. A., Ramirez, A. F., & Villamil, E. S. (2016). Complicaciones crónicas de la diabetes mellitus: visión práctica para el médico de atención primaria. *Revista Cuarzo*, 22(1), 13–38. <https://doi.org/10.26752/cuarzo.v22.n1.144>
- Palacios, A., Durán, M., & Obregón, O. (2012). Factores de riesgo para el desarrollo de diabetes tipo 2 y síndrome metabólico. *Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo*, 10(1), 34–40.
- Pearson, T., Wattis, J. A. D., King, J. R., MacDonald, I. A., & Mazzatti, D. J. (2016). The Effects of Insulin Resistance on Individual Tissues: An Application of a Mathematical Model of Metabolism in Humans. *Bulletin of Mathematical Biology*, 78(6), 1189–1217. <https://doi.org/10.1007/s11538-016-0181-1>
- Pérez-Díaz, I. (2016). [Diabetes mellitus]. *Gaceta Medica de Mexico*, 152 Suppl 1, 50–55. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27603888/>
- PÉREZ, G., GUZMAN, J., DURAN, K., RAMOS, J., & ACHA, V. (2018). Aprovechamiento de las cascaras de huevo en la fortificación de alimentos . In *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación* (Vol. 16, pp. 29–38). scielobo .
- Pinilla-Roa, A. E., & Barrera-Perdomo, M. D. P. (2018). Prevention of diabetes mellitus and cardiovascular risk: Medical and nutritional approach. *Revista Facultad de Medicina*, 66(3), 459–468. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n3.60060>
- Ratnaningsih, N., Suparmo, Harmayani, E., & Marsono, Y. (2020). Physicochemical properties, in vitro starch digestibility, and estimated glycemic index of resistant starch from cowpea (*Vigna unguiculata*) starch by autoclaving-cooling cycles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142, 191–200. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.09.092>
- Ravera, A., Carubelli, V., Sciatti, E., Bonadei, I., Gorga, E., Cani, D., Vizzardì, E., Metra, M., & Lombardi, C. (2016). Nutrition and Cardiovascular Disease: Finding the Perfect Recipe for Cardiovascular Health. In *Nutrients* (Vol. 8, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/nu8060363>

- Riobó Serván, P. (2018). Pautas dietéticas en la diabetes y en la obesidad . In *Nutrición Hospitalaria* (Vol. 35, pp. 109–115). scielo.es .
- Ritudomphol, O., & Luangsakul, N. (2019). Optimization of Processing Condition of Instant Rice to Lower the Glycemic Index. *Journal of Food Science*, 84(1), 101–110.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.14406>
- Rodríguez Huaman, H. M., & Huaman Apaza, H. M. (2018). *Índice glicémico y carga glicémica de la papa, moraya y chuño en pobladores sanos altoandinos de la ciudad del Cusco, 2018*.
- Rueda, B., David, G., Rojas, M., Elizabeth, R., Tumipamba, G., Amador, C., Gutiérrez, M., Andrés, J., Valarezo, L., Alejandra, J., Zambrano, U., Paul, A., Retete, C., Alexandra, K., Venegas, B., Maritza, L., Arias, P., Gabriel, C., David, G., ... Rojas, M. (2020). Abordaje del dolor neuropático en el paciente diabético. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(4), 435–439. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4092376>
- Shaikh, F., Ali, T. M., Mustafa, G., & Hasnain, A. (2019). Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.115>
- Solano, J. N., & Fornieri, M. V. (2019). Cardiomiopatía diabética: entidad poco conocida y el impacto terapéutico de los inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2 en el miocardio diabético. *Revista Clínica Escuela de Medicina UCR-HSJD*, 9(1).
https://doi.org/10.15517/rc_ucr-hsjd.v9i1.36489
- Torres González, J. D., González Morelo, K. J., Acevedo Correa, D., & Jaimes Morales, J. del C. (2016). Efecto de la utilización de harina de *Lens culinaris* como extensor en las características físicas y aceptabilidad de una salchicha. *Tecnura*, 20(49 SE-Investigación), 15–28. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a01>
- Vargas Zambrano, P., Arteaga Solorzano, R., & Cruz Viera, L. (2019). ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EL POTENCIAL NUTRICIONAL DE LA QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) COMO ALIMENTO FUNCIONAL . In *Centro Azúcar* (Vol. 46, pp. 89–100). scielocu .

- Vásquez Solórzano, R. W., & Rodríguez Vargas, A. R. (2019). La actividad física para el desarrollo la calidad de vida de adultos mayores con diabetes TIPO II. *Recimundo*, 3(1), 362–386. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(1\).enero.2019.362-386](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(1).enero.2019.362-386)
- Vázquez San Miguel, F., Mauricio Puente, D., & Viadé Julià, J. (2016). Neuropatía diabética y pie diabético. *Medicine (Spain)*, 12(17). <https://doi.org/10.1016/j.med.2016.09.004>
- Vintimilla Enderica, P. F., Giler Mendoza, Y. O., Motoche Apolo, K. E., & Ortega Flores, J. J. (2019). Diabetes Mellitus Tipo 2: Incidencias, Complicaciones y Tratamientos Actuales. *Recimundo*, 3(1), 26–37. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(1\).enero.2019.26-37](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(1).enero.2019.26-37)
- Wolever, T. M. S., Giddens, J. L., & Sievenpiper, J. L. (2015). Effect of ethnicity on glycaemic index: A systematic review and meta-analysis. In *Nutrition and Diabetes* (Vol. 5, Issue 7). <https://doi.org/10.1038/nutd.2015.21>
- Yábar Villanueva, E., & Reyes De La Cruz, V. (2019). La Maca (*lepidium meyenii walpers*) alimento funcional andino: bioactivos, bioquímica y actividad biológica . In *Revista de Investigaciones Altoandinas* (Vol. 21, pp. 139–152). scielo .
- Yamamoto, W. R., Bone, R. N., Sohn, P., Syed, F., Reissaus, C. A., Mosley, A. L., Wijeratne, A. B., True, J. D., Tong, X., Kono, T., & Evans-Molina, C. (2019). Endoplasmic reticulum stress alters ryanodine receptor function in the murine pancreatic β cell. *The Journal of Biological Chemistry*, 294(1), 168–181. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA118.005683>
- Zafar, M. I., Mills, K. E., Zheng, J., Regmi, A., Hu, S. Q., Gou, L., & Chen, L.-L. (2019). Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110(4), 891–902. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz149>
- Zheng, Y., Ley, S. H., & Hu, F. B. (2018). Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(2), 88–98. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.151>

