



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**

**CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL *IN VITRO* DE ALMIDONES
EN ALIMENTOS DE CONSUMO POPULAR EN LA POBLACIÓN
MEXICANA.**

TESIS

Licenciatura en Nutrición

P R E S E N T A

P.L.N. Jose Guadalupe Contreras Soto
No. cuenta: 270452

Bajo la Dirección:
Mtro. Teodoro Suárez Diéguez

Co-Dirección:
Dra. Guadalupe López Rodríguez

Profesores Investigadores del Área Académica de Nutrición
en el ICsa



Pachuca, Hidalgo, 3 de mayo del 2018

El Presente trabajo se realizó en el “Instituto de Ciencias de la Salud” (ICSa) Área Académica de Nutrición, Laboratorio de Nutrición Molecular de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), bajo la dirección del Mtro. Teodoro Suárez Diéguez y la Dra. Guadalupe López Rodríguez.

Se agradece el apoyo otorgado por SEP-PRODEP de la Convocatoria Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2016, clave UAEH-CA-86 para el financiamiento de la presente tesis; además de que, durante el desarrollo de esta tesis, se contó con una beca SEP-PRODEP de la Convocatoria de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2016 clave UAEH-CA-86.

..



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



De acuerdo con el artículo 134 del Reglamento de Control Escolar vigente, el jurado de examen recepcional designado, autoriza para su impresión la Tesis titulada

"Caracterización nutrimental in vitro de almidones en alimentos de consumo popular en la población mexicana".

Que para obtener el Título de Licenciado de Nutrición sustenta el Pasante

C. Jose Guadalupe Contreras Soto.

ATENTAMENTE
Pachuca, Hidalgo, 3 de mayo del 2018
"Amor, Orden y Progreso"

PRESIDENTE:	DR. MARCOS M. GALVÁN GARCÍA
SECRETARIO:	DR. ERNESTO ALANÍS GARCÍA
PRIMER VOCAL:	DRA. GUADALUPE LÓPEZ ROGRÍGUEZ
SEGUNDO VOCAL:	DR. JOSÉ ALBERTO ARIZA ORTEGA
TERCER VOCAL:	MTRO. TEODORO SUÁREZ DIÉGUEZ
PRIMER SUPLENTE:	DR. MARCO A. GONZÁLEZ UNZAGA
SEGUNDO SUPLENTE:	DR. LUIS DELGADO OLIVARES

Agradecimientos

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis Directores

Al Mtro. Teodoro Suárez Diéguez y a la Dr. Guadalupe López Rodríguez por haberme guiado durante la realización del presente trabajo, ya que sin su valiosa dirección no podía haber logrado la realización de este trabajo de tesis, muchísimas gracias por la confianza y amistad que me brindaron, sus consejos y los ánimos, así mismo quiero agradecer al comité tutorial: Dr. Marcos M. Galván García, Dr. Ernesto Alanís García, Dr. José Alberto Ariza Ortega, Dr. Marco A. González Unzaga, Dr. Luis Delgado Olivares, por su amable asesoría, valiosas sugerencias y colaboración.

A mis Profesores

A los profesores que formaron parte de mi formación académica desde el ingreso a la universidad hasta el egreso de la misma, por sus enseñanzas, consejos, amistad y guía.

A mi padre Ariel.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan, por los valores infundidos, por su apoyo incondicional y que me ha motivado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor

A mi madre Marichuy.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hijo Gael

Por siempre darme tu amor y apoyo, por sacar una sonrisa cuando hace falta y por ser esa motivación para salir adelante.

A mis hermanos

A mi hermana Zarahi por estar ahí cuando te necesitaba y brindarme tu apoyo, consejos y cariño, a mis hermanas Isela y Mimi por su cariño y a mi hermano Toño por siempre llenar de alegría y cariño la casa.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Toño Estefes, Cesar Balderrama, Mau Muñoz, Mario Campos, Carlos Villafuerte.

A mis compañeros de laboratorio.

Que nos apoyamos mutuamente en la realización de nuestros trabajos porque cuando necesite algún favor en el laboratorio siempre acudían: Toño, Mario, Carlos.

A Angie, Susy y Ale.

Que me apoyaron durante el proceso de la tesis facilitando el material necesario y siempre atendiendo con una sonrisa.

Dedicatoria

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, los quiero mucho.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A Mis hermanos, Zarahi Nicté-Ha, Rosa Isela, Noemi de Jesús, y Luis Antonio, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A Mi hijo, José Gael, para que veas en mí un ejemplo a seguir, te amo.

A mis amigos, Toño, Mau, Cesar, Carlitos, Mario, por compartir los buenos y malos momentos.

A mi director por siempre insistir en ser mejor y darme ánimos.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

ÍNDICE

Índice de tablas.....	i
Índice de figuras.....	ii
Abreviaturas.....	iii
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico.....	3
2.1 El almidón como macronutriente y fuente primaria de energía.....	3
2.2 Características fisicoquímicas del gránulo de almidón.....	5
2.2.1 Características físicas de los gránulos de almidón.....	5
2.2.2 Composición química del gránulo de almidón.....	7
2.3 Propiedades nutrimentales de los almidones de cereales.....	7
2.3.1 Factores que afectan su digestibilidad.....	8
2.3.1.1 Factores intrínsecos.....	9
2.3.1.2 Factores extrínsecos.....	9
2.3.2 Caracterización nutrimental de carbohidratos dietéticos.....	10
2.3.2.1 Glucosa de rápida disponibilidad.....	10
2.3.2.2 Glucosa de lenta disponibilidad.....	11
2.3.2.3 Almidón de rápida digestibilidad.....	11
2.3.2.4 Almidón de baja digestibilidad.....	12
2.3.2.5 Almidón indigerible o resistente.....	12
2.3.2.6 Fibra dietética un hidrato de carbono importante.....	14
2.3.2.7 Clasificación de los alimentos con base en su índice glucémico.....	14
2.4. Métodos de preparación culinaria.....	15

2.5 Las características del almidón y su relación con la respuesta glicémica postprandial	16
2.6 Beneficios a la salud del consumo de alimentos de almidón de baja digestibilidad	19
3. Planteamiento del problema	22
4. Justificación	24
5. Objetivos	26
5.1 Objetivo general	26
5.2 Objetivos específicos	26
6. Métodos y procedimientos	27
6.1 Criterios metodológicos	27
6.2 Desarrollo experimental	28
6.3 Métodos	31
6.3.2 Acondicionamiento de alimentos	31
6.3.3 Análisis químico proximal	31
6.3.3.1 Humedad	31
6.3.3.2 Cenizas	32
6.3.3.3 Proteínas	33
6.3.3.4 Lípidos totales.....	34
6.3.3.5 Fibra cruda total	35
6.3.3.6 Hidratos de carbono digeribles	36
6.3.4 Caracterización nutrimental del almidón	36
6.3.5 Cinética de digestibilidad <i>in vitro</i>	40
6.3.5.1 Índice de hidrólisis	43
6.3.5.2 Estimación del índice glicémico	43
6.3.6 Análisis estadístico	44

7. Resultados y discusión	45
7.1. Composición química de los alimentos	45
7.2 Caracterización nutricional y medición de carbohidratos dietéticos	50
7.2.1 Caracterización de las fracciones de carbohidratos dietéticos.	50
7.2.2 Caracterización nutrimental de las fracciones de almidón en los alimentos	53
7.3 Estimación de la tasa de asimilación mediante una cinética enzimática <i>in vitro</i>	59
7.3.1 Digestibilidad de los carbohidratos dietarios	59
7.3.2 Caracterización cinética de digestibilidad <i>in vitro</i>	64
8. Conclusiones	69
9. Referencias	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del almidón resistente	14
Tabla 2. Clasificación de los alimentos seleccionados para el estudio	28
Tabla 3. Composición química de alimentos industrializados a base de cereal	45
Tabla 4. Composición química de los alimentos preparados de manera convencional a base de cereal	47
Tabla 5. Composición química de otras fuentes alimenticias de almidón.....	48
Tabla 6. Caracterización de carbohidratos en alimentos industrializados a base de cereal	51
Tabla 7. Caracterización de carbohidratos en alimentos preparados de manera convencional a base de cereal	52
Tabla 8. Caracterización de carbohidratos en otras fuentes de almidón	53
Tabla 9. Caracterización de las fracciones de almidón alimentos industrializados a base de cereal	54
Tabla 10. Caracterización de las fracciones de almidón en alimentos preparados de manera convencional a base de cereal	56
Tabla 11. Caracterización de las fracciones de almidón otros alimentos fuentes de almidón	57
Tabla 12. Caracterización cinética <i>in vitro</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la estructura laminar del granulo de almidón	6
Figura 2. Diagrama de las estructuras de amilosa y amilopectina	7
Figura 3. Diseño experimental	30
Figura. 4. Área bajo la curva	43
Figura 5. Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de alimentos industrializados a base de cereal avena y galletas marías	60
Figura 6. Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de alimentos preparados de manera convencional a base de cereal atole de maíz y tortilla de maíz	61
Figura 7. Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de otras fuentes de almidón puré de papa y frijoles	63
Figura 8. Correlación entre índice de hidrólisis e índice glicémico estimado.....	68

ABREVIATURAS

AACC	American Association of Cereal Chemists (Asociación Americana de Químicos de Cereales)
ACC	Alimentos convencionales a base de cereal
AD	Almidón digerible
AIC	Alimentos industrializados a base de cereal
ALD	Almidón de lenta digestibilidad
ANOVA	Análisis de varianza de una vía
AOAC	Association of Official Analytical Chemists (Asociación Oficial de Químicos Analíticos)
AQP	Análisis químico proximal
AR	Almidón resistente
ARD	Almidón de rápida digestibilidad
AT	Almidón total
AUC	Área bajo la curva
C_{∞}	Concentración de equilibrio
CG	Carga glucémica
EC.....	Ecuación
ELN	Extracto Libre de Nitrógeno
EURESTA	European Research Project on Resistant Starch (Proyecto Europeo de Investigación Sobre Almidón Resistente)
FD	Fibra dietética
DMRT	Prueba de rango múltiple Duncan
DM2	Diabetes Mellitus tipo 2
GL	Glucosa libre

GLD	Glucosa de lenta disponibilidad
GOD-POD	Glucosa Oxidasa Peroxidasa
GRD	Glucosa de rápida digestibilidad
GT	Glucosa total
HC	Hidratos de carbono
ID	Índice de digestibilidad
IH	Índice de hidrólisis
IG _e	Índice glucémico estimado
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
K _a	Constante de actividad cinética
<i>p</i>	Valor p (probabilidad)
R	Coefficiente de correlación
SPSS	Paquete Estadístico Para Ciencias Sociales
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de Estados Unidos)
UV	Ultravioleta

RESUMEN

Los carbohidratos son la principal fuente de energía para el ser humano y de todos los carbohidratos que consumimos, el almidón es el principal componente energético de la dieta. Investigaciones han reportado que el almidón consumido de los alimentos, no presenta el mismo grado de digestibilidad, es decir, no es asimilado en el organismo de la misma manera, debido a las diferencias fisicoquímicas de los almidones contenido en los alimentos. El objetivo de este trabajo fue determinar las características nutrimentales del almidón contenido en alimentos de consumo popular en México, y la evaluación de su digestibilidad *in vitro* del almidón para estimar el comportamiento de asimilación de los almidones. La metodología se basó en determinar la composición química de 15 alimentos mediante un análisis químico proximal (AQP): Humedad, Cenizas, Proteínas, Lípidos, Fibra y Carbohidratos. La caracterización nutrimental del almidón presentes en los alimentos se realizó mediante la cuantificación de Glucosa Libre (GL), Glucosa Total (GT), Glucosa Rápidamente Disponible (GRD), Glucosa Lentamente Disponible (GLD), Almidón Total (AT), Almidón Rápidamente Digerible (ARD), Almidón Lentamente Digerible (ALD), Almidón Resistente (AR), Almidón Digerible (AD), Índice de Digestibilidad (ID) y finalmente se realizó en 6 muestras una cinética de digestibilidad *in vitro* para la determinación del Área Bajo la Curva (ABC), Índice de Hidrólisis (IH), Índice glicémico estimado (IG_e) y Carga Glicémica (CG). Se realizó un análisis estadístico descriptivo, ANOVA con prueba de rango múltiple de Duncan y prueba de correlación de Pearson nivel de significancia (<0.05). Los alimentos evaluados mostraron rangos de 75.17%-3.27% de humedad, 2.86%-0.11% de cenizas, 19.84%-0.49% para proteínas, 23.91%-0.09% de lípidos y 87.96%-18.66% para carbohidratos, en cuanto a la caracterización nutrimental tenemos rangos de GL 25.53-1.59 %, para GRD 50.51-13.58%, para GLD 43.18-8.82%, el contenido de GT osciló entre 95.85-17.63%, para AT las cantidades fueron entre 90.00%-31.11%, los alimentos con mayor cantidad fueron almidón de maíz y papa. Los resultados de ARD comprenden entre 59.34-10.03%, para ALD se situó entre 60.55-12.18%, en cuanto al contenido de AR los alimentos oscilaron entre

69.98-0.61% donde el alimento con mayor cantidad de este parámetro fueron las habas enchiladas, para AD se registraron datos de 91.68-27.49%, ID 96.68-13.74%, para la cinética de asimilación los valores del ABC estuvieron entre 8517.85 y 4296.10 mg*mL/min, IH 125.88-63.53, IG_e 122.27-83.80 donde el alimento con mayor IG_e fue galletas marías, y mayor CG el almidón de maíz 110.92-18.04. En conclusión, se obtuvo que la preparación de los alimentos afecta la digestibilidad y asimilación del almidón, aunado a esto la fuente biológica y características bioquímicas del almidón influyen como factores propios del alimento.

Palabras clave: Almidón, Asimilación, Caracterización nutrimental, Respuesta glicémica.

ABSTRACT

Carbohydrates are the main source of energy for the human being and of all the carbohydrates that we consume, starch is the main energy component of the diet. Research has reported that the starch consumed from food does not present the same degree of digestibility, that is, it is not assimilated in the organism in the same way, due to the physicochemical differences of the starches contained in the food. The objective of this work was to determine the nutritional characteristics of the starch contained in foods of popular consumption in Mexico, and the evaluation of its *in vitro* digestibility of starch to estimate the assimilation behavior of starches. The methodology was based on determining the chemical composition of 15 foods through a proximal chemical analysis (AQP): Moisture, Ashes, Proteins, Lipids, Fiber and Carbohydrates. The nutritional characterization of the starch present in the food was made by quantifying Free Glucose (GL), Total Glucose (GT), Rapidly Available Glucose (GRD), Slowly Available Glucose (GLD), Total Starch (AT), Rapidly Digested Starch (ARD), Slowly Digested Starch (ALD), Resistant Starch (AR), Digestible Starch (AD), Digestibility Index (ID) and finally an *in vitro* digestibility kinetics was performed in 6 samples for the determination of the Area Under the Curve (ABC), Hydrolysis Index (HI), Estimated Glycemic Index (IGe) and Glycemic Load (CG). We performed a descriptive statistical analysis, ANOVA with Duncan's multiple range test and Pearson's correlation test level of significance (<0.05). The evaluated foods showed ranges of 75.17-3.27% of humidity, 2.86-0.11% of ashes, 19.84-0.49% for proteins, 23.91-0.09% of lipids and 87.96-18.66% for carbohydrates, in terms of nutritional characterization we have ranges of GL 25.53-1.59%, for GRD 50.51-13.58%, for GLD 43.18-8.82%, the content of GT ranged between 95.85-17.63%, for AT the amounts were between 90.00-31.11%, the Foods with higher amounts were corn starch and potato. The results of ARD comprised between 59.34-10.03%, for ALD it was between 60.55 and 12.18%, as for the content of AR the food ranged between 69.98-0.61% where the food with the largest amount of this parameter were beans enchiladas, for AD data were recorded of 91.68-27.49%, ID 96.68-13.74%, for the assimilation kinetics the ABC values were between 8517.85 and 4296.10 mg * mL / min, IH 125.88-63.53, IGe 122.27-83.80

where the food with the highest IGe was mary biscuits, and the highest corn starch 110.92-18.04. In conclusion, it was obtained that the preparation of the food affects the digestibility and assimilation of the starch, in addition to this the biological source and biochemical characteristics of the starch influence as factors of the food.

Key words: Starch, Assimilation, Nutrimental characterization, Glycemic response

1. INTRODUCCIÓN

La condición de salud de los individuos se ve determinado por factores genéticos y ambientales, dentro de los cuales la variable más importante es la alimentación. Una alimentación saludable debe cubrir las necesidades nutricionales individuales (Gómez y Palma, 2013; Plaza y col., 2013). Actualmente la dieta se considera uno de los factores más importantes en el desarrollo de diversas enfermedades. Los carbohidratos son el componente mayoritario en la dieta humana y proveen de la energía necesaria para el organismo. Sin embargo, se ha considerado que un consumo elevado de carbohidratos se relaciona con el desarrollo de enfermedades crónico degenerativas (Te y col., 2012; Plaza y col., 2013; Luna y col., 2014; Pereira y col., 2017).

La calidad de los carbohidratos en los alimentos se ha estudiado durante unos 30 años, prestando especial atención a la estructura del almidón en los productos alimenticios procesados. La tecnología y los métodos de cocción aplicados a los productos alimenticios dan como resultado diversos grados de digestión de almidón desde una asimilación rápida (como cereales extruidos) hasta almidón de digestión lenta (por ejemplo, frijoles de la olla) (Schenk, y col. 2003). En este trabajo nos centraremos específicamente en el almidón, esta molécula es la forma de almacenamiento energético en plantas y semillas, debido a esto se considera el componente mayoritario de fuentes alimenticias como cereales y leguminosas. El almidón compone cerca del 70-80% de la ingesta calórica de la dieta habitual, además de ser un componente empleado como materia prima en la industria alimentaria para la elaboración de aditivos y otros productos industrializados (Bernal y Martínez, 2006; Hernández y col, 2008; Singh y col. 2010; Miranda y col., 2013; Raigond y col. 2014).

Numerosos estudios han comparado los efectos fisiológicos de los productos a base de almidón y mostraron una correlación entre la digestibilidad *in vitro* del almidón y las respuestas de glucosa postprandiales. La investigación del metabolismo postprandial de las fracciones de almidón en alimentos generalmente se basa en la monitorización de los cambios postprandiales en las concentraciones circulantes de glucosa y de insulina en plasma durante un período de 2 horas. Este enfoque permite calcular los índices glucémico e insulínico que se espera produzcan los alimentos (Englyst y col., 2003, Wachters y col., 2006).

Aunque la respuesta moderada de glucosa postprandial puede indicar una apariencia de absorción lenta de carbohidratos ingeridos en el tejido, esta respuesta también resulta de la rápida aparición de carbohidratos ingeridos y la rápida absorción por parte del tejido. Sin embargo, estos marcadores postprandiales periféricos pueden proporcionar una reflexión de la cinética de absorción de la glucosa derivada de la asimilación del almidón y generen indicaciones sobre su cinética de absorción. Por lo tanto, es necesario describir la respuesta metabólica a la ingestión de hidratos de carbono a través de la caracterización nutrimental del almidón, además del perfil glucémico resultante de la diferencia entre el flujo de glucosa entrante y saliente, ya sea exógena del alimento o endógena del organismo (Schenk y col., 2003; Vinoy y col., 2013).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL ALMIDÓN COMO MACRONUTRIENTE Y FUENTE PRIMARIA DE ENERGÍA

Los carbohidratos son la principal fuente de energía primaria obtenida a partir de los alimentos consumidos en la dieta y se puede obtener como monosacáridos, oligosacáridos (dextrinas) y polisacáridos (almidón) (Plaza y col., 2013). En un régimen dietético equilibrado se indica que el aporte energético a partir de carbohidratos debe representar entre el 50-60% de la ingesta calórica habitual, el consumo excesivo de este macronutriente sobre todo como azúcares libres (monosacáridos y oligosacáridos) se ha reportado que puede ser un factor que favorezca el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles como diabetes, obesidad y enfermedades cardiovasculares (Lambert y col., 2017; Parada y Aguilera 2011). De todos los carbohidratos que ingerimos de los alimentos el almidón es el componente que otorga hasta el 90% de la energía a partir de la dieta y cuya fuente de consumo son todos los alimentos elaborados a base de cereales, leguminosos y tubérculos (Fuentes y col., 2010). Constituye la principal reserva energética de las plantas, la cual el ser humano consume para cubrir sus requerimientos energéticos (Magallanes y col., 2017). El principal compuesto que obtenemos de alimentos derivados de los cereales es el almidón, que constituye hasta un 75% de su composición total (Magallanes y col., 2017; Navarro y col., 2014), que dependiendo de su elaboración y fuente botánica tendrán características distintas entre un producto y otro (Madhusudhan y Tharanathan 1995). Los principales cereales consumidos en la dieta de la población mexicana son: maíz, trigo, avena y arroz, y en particular el maíz aporta hasta del 80% del almidón requerido por la industria alimentaria y otras ramas industriales). Otras fuentes alimenticias con alto contenido de almidón son leguminosas con 50% y los tubérculos con 20% de su composición total, ambas fuentes alimenticias forman parte del sustento alimentario de la población mexicana y a nivel mundial (Shandhu y Lim 2008; Romano y col., 2016).

Muchos estudios se han realizado para comprender el impacto del almidón sobre la respuesta postprandial generada y hasta el momento se han considerado tres factores más relevantes que son: la fuente botánica de almidón, el grado de gelatinización del almidón y la presencia simultánea de otros componentes de los alimentos (lípidos, azúcares, fibra y proteínas). Durante la última década, el papel de la microestructura o la disposición espacial y las interacciones de los componentes de los alimentos, se han considerado para explicar las implicaciones de asimilación del almidón en el intestino y su impacto en la salud (Aguilera, 2005; Lehmann y Robin, 2007).

Algunos aspectos a considerar, en la búsqueda de comprender el efecto del almidón en nuestras dietas incluyen:

- 1) El tipo de arreglo o arquitectura molecular del almidón, incluidas las materias primas modificadas
- 2) Presencia de sustancias que interfieren con la acción de las enzimas digestivas (es decir, compuestos anti enzimáticos)
- 3) La Microestructura del alimento, que controla el acceso al sustrato y la movilidad de las enzimas en el bolo alimenticio a lo largo del proceso de digestión (relación amilosa / amilopectina, grado de hinchazón de los gránulos, tipo de matriz alimentaria y retrogradación)
- 4) Las interacciones del almidón con otros componentes presentes en el alimento que impiden el contacto directo entre el almidón y las enzimas durante la digestión (Parada y Aguilera, 2011).

En alimentos ricos en almidón, los cambios a nivel del gránulo dependen de dos factores para la transferencia de calor y masa: la matriz del alimento y los

compuestos enlazados a esta. Durante el procesamiento, diferentes estados en el almidón se general: nativo, gelatinizado y dextrinizado, cada uno experimenta singulares procesos durante la digestión e influyen de distinta manera en la respuesta postprandial en el individuo (Parada y Aguilera, 2011).

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN

El almidón es abundante en leguminosas, cereales y tubérculos. Este componente de los alimentos naturalmente se encuentra en forma de gránulos localizado en el tejido de las plantas: cloroplastos de verde hojas y en amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos (Browman y Russell, 2001; Sajilata y col., 2006). El almidón está formado por dos polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina (Frost y Dornhorst, 2000).

2.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN

El almidón se encuentra contenido físicamente al interior de la cariósida de los cereales en forma de gránulos, cuya morfología, tamaño y composición química son característicos de cada fuente botánica (Wang y White, 1994; Lindeboom y col., 2004; Tester y col., 2004). El tamaño de los gránulos oscila entre 1- 100 μm , los más pequeños se encuentran en el amaranto, mientras que los de mayor tamaño los encontramos en los tubérculos. El tamaño de partícula y las características estructurales del gránulo, es un factor que influye en las propiedades tecnológicas del almidón (formación de geles, viscosidad, etc.). Los gránulos de almidón presentan una apariencia blanquizca y son insolubles en agua fría. Está constituido físicamente como un material heterogéneo de láminas amorfas y cristalinas distribuidas de manera alternas y de forma radial (Figura 1). Las regiones cristalinas están compuestas principalmente por amilopectina y estructuralmente se encuentra plegada como dobles hélices; por otro lado, las zonas amorfas están constituidas primordialmente por moléculas de amilosa. La cristalinidad es producida por el alto grado de ordenamiento molecular entre las

láminas amorfas y cristalinas del granulo constituidas por amilosa y amilopectina. Los almidones de los cereales presentan una estructura de cristalinidad de tipo A, mientras que los tubérculos y almidones ricos en amilosa presentan una estructura de tipo B, adicionalmente se encuentra una estructura de tipo C en almidones de leguminosa, esas estructuras se encuentran en relación con la distribución de las láminas amorfas y cristalinas, así como de acuerdo con la cantidad de amilosa y amilopectina presentes (Raigond y col. 2014; Agama y col., 2015).

La disposición radial y ordenada de las láminas que conforman al granulo de almidón, cuando es observado a través de un microscopio de luz polarizada resulta evidente observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro) a este fenómeno se le denomina cruz de malta. El centro de la cruz corresponde con el hilum, el punto de crecimiento del granulo (Watson y Ramstad, 1987; Wang y White, 1994; Lindeboom y col., 2004; Tester y col., 2004; Raigond y col., 2014).

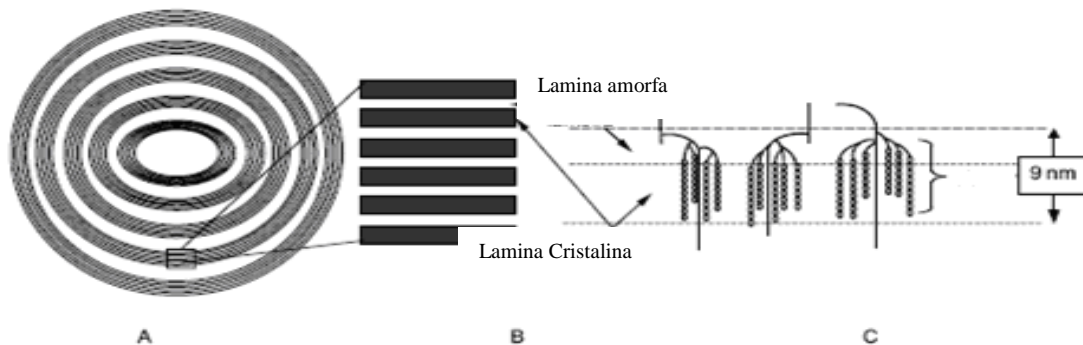


Figura 1. Diagrama de la estructura laminar del granulo de almidón.

A. laminas concéntricas de anillos microcristalinos separadas por anillos amorfos. B Esquema de las regiones amorfas y cristalinas. C estructuras de dobles helicoidales adyacentes formadas por cadenas de amilopectina dan lugar a laminas cristalinas. Puntos de ramificación constituyen la región amorfa. Fuente: Tester y col., 2004.

2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN

El almidón está constituido por dos homopolímeros la amilosa y amilopectina, y están constituidos por la unión de un solo monómero, la glucosa, éstos difieren por las características en su organización estructural. Por un lado, tenemos que la amilosa es un polímero predominantemente de estructura lineal, por enlaces glucosídicos α -(1-4), así mismo se encuentra la amilopectina que es un polímero ramificado por enlaces glucosídicos α -(1-4) y α -(1-6), las ramificaciones de la amilopectina se presentan cada 15-25 unidades de glucosa (Hernández y col., 2008). De estos dos polímeros la amilopectina es el principal constituyente del almidón, la diferencia en el contenido depende del origen botánico (Sharma y col., 2008; Raigond y col., 2014; Martínez y col., 2017).

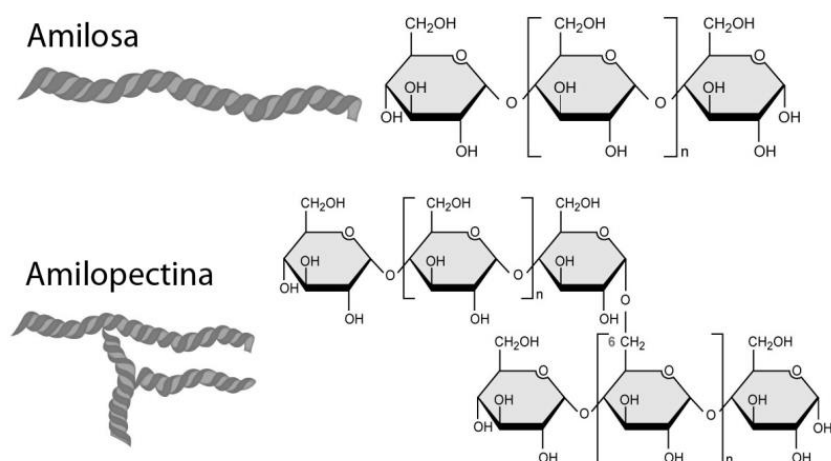


Figura 2 Diagrama de las estructuras químicas de amilosa y amilopectina donde se observa que amilosa es de cadena lineal con enlaces α 1-4, mientras que la amilopectina es una molécula ramificada con enlaces α 1-6.

2.3 PROPIEDADES NUTRIMENTALES DE LOS ALMIDONES DE CEREALES

Las características nutrimentales del almidón dependen de la fuente botánica, así como de las características propias del gránulo de almidón (Jenkins y col., 2012; Maki y col., 2012; Magallanes y col., 2017). Englyst y col. (1992) propuso una clasificación nutrimental de los almidones de acuerdo con el grado y velocidad de

asimilación que presentan. Además, está influenciada por distintos factores intrínsecos y extrínsecos, los primeros se relacionan con las características estructurales del alimento y del almidón, y los segundos por las condiciones fisiológicas propias del individuo (Raigond y col., 2014).

2.3.1 FACTORES QUE AFECTAN SU DIGESTIBILIDAD

Un nutriente contenido en un alimento no siempre se absorbe en su totalidad y esto depende del nivel de asimilación en el intestino delgado, la concentración final del componente que se libera del alimento durante los procesos digestivos dentro del intestino delgado, es considerado como bioaccesibilidad (Cardoso, 2015). La bioaccesibilidad refiere distintas interpretaciones, por lo que se ha considerado en muchos casos, como la fracción de nutriente de un alimento ingerido que está disponible para la realización de las funciones fisiológicas, metabólicas, o bien para ser almacenadas (Fairweather, 1993). De acuerdo con Paustenbach (2000) el término bioaccesibilidad se define como la transformación de los nutrimentos durante la digestión en un alimento y absorción a través del epitelio intestinal. En reportes actuales se considera a la bioaccesibilidad como todas las etapas de la digestión de los alimentos hasta la liberación del compuesto en la luz intestinal y su absorción a través del intestino delgado, considerando además la actividad biológica de los componentes liberados. Por otro lado, la bioaccesibilidad en muchos de los casos es considerado sinónimo de biodisponibilidad. Este es referido por Fernández, y col. (2009), a toda sustancia alimenticia o compuesto que es liberado de la matriz alimenticia y su disponibilidad para ser absorbido, participar en la distribución y metabolismo celular, considerando su almacenamiento, además de mantener su bioactividad. Los nutrientes presentan diversos grados de bioaccesibilidad, por ejemplo, los hidratos de carbono (HC) principal nutriente energético se encuentra en alimentos sólidos (cereales, leguminosas y tubérculos) su bioaccesibilidad en este caso se ve influenciada por la estructura (factores intrínsecos), preparación y composición de los alimentos (factores extrínsecos) (Tharanathan, 2002; Gómez y Palma, 2013; Luna y col., 2014).

2.3.1.1 FACTORES INTRÍNSECOS

Son las características fisicoquímicas y estructurales propias del alimento que inciden en el grado de asimilación del almidón en el intestino delgado, por ejemplo, la porosidad, textura, dureza, o diferente grado de empaquetamiento que tiene el almidón en alimentos como es el caso de espaguetis y sopas de pasta tradicional, en este contexto no es lo mismo consumir cereales o leguminosas parcialmente molidas que enteras, esto tiene que ver con el grado de trituración y molienda de los granos para ser consumidos, estas diferencias en las características estructurales y físicas del alimento que son consecuencia de los diferentes procesos que el alimento es sometido para su elaboración; pueden determinar el grado de acción enzimática de hidrólisis del almidón contenido en el alimento, además de las características bioquímicas del granulo de almidón como son el tamaño y forma del granulo, grado de gelatinización, retrogradación y cristalinidad, relación de amilosa/amilopectina, entre otros, que presenta el almidón en los alimentos (Englyst y col., 1992; Tharanathan y Mahadevamma, 2003; Lehmann y Robin, 2007; Hoover, 2010; Jenkins y col., 2012; Maki y col., 2012).

2.3.1.2 FACTORES EXTRÍNSECOS.

Las condiciones fisiológicas que el individuo presenta son un factor importante para determinar el grado de asimilación del almidón de los alimentos. Los factores a considerar son edad, condición fisiológica o patológica en el aparato digestivo, etapa de desarrollo, eficiencia de las condiciones fisiológicas y concentración enzimática en los procesos digestivos del individuo, determina la accesibilidad de las enzimas al gránulo, el porcentaje de hidrólisis de los gránulos de almidón contenido en el alimento, e impide que este macronutriente pueda ser asimilado de manera eficiente por el organismo, todos estos aspectos son factores que favorecen o limitan el grado de asimilación del almidón (Englyst y col., 1992; Tharanthan y Mahadevamma, 2003; Lehmann y Robin, 2007).

2.3.2 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE CARBOHIDRATOS DIETÉTICOS

Los carbohidratos se obtienen casi únicamente de alimentos de origen vegetal, mediante los cuales se vuelven una importante fuente energética para el ser humano, estos componentes se dividen en cuatro grandes grupos carbohidratos simples, oligosacáridos, almidones y polisacáridos no almidonosos, para la obtención de energía se acude a los HCO simples además de almidones, mientras que los oligosacáridos representan la parte de fibra en los alimentos puesto que no son digeridos por la microbiota intestinal (Luun y Butirris, 2007). La ganancia energética se da a partir de la hidrólisis enzimática del almidón que es uno de los procesos metabólicos primarios en la digestión humana. De acuerdo con Hysley en (1953) se define a fibra como los componentes no digeribles a partir de plantas como por ejemplo la pared celular, por otro lado, la AACC define fibra como a los componentes vegetales indigeribles para las enzimas digestibles del tracto gástrico y que pueden ser parcialmente fermentadas por la microbiota intestinal. Ahora bien, uno de los carbohidratos mayoritarios en la dieta es el almidón el cual se clasifica de acuerdo con su caracterización nutricional que introdujo Englyst y col. (1999) en relación a la cantidad y tasa de asimilación en el organismo y lo clasificó como almidón de rápida digestibilidad (ARD), almidón de lenta digestibilidad (ALD) y almidón resistente (AR) (Englyst y col., 1999; Sasaki y Koyama, 2012). La digestión de los hidratos de carbono y la subsecuente respuesta en el organismo puede ser estimada mediante métodos *in vitro* (Al-Mssallem y col., 2011).

2.3.2.1 GLUCOSA DE RÁPIDA DISPONIBILIDAD

Glucosa de rápida digestibilidad (GRD) es considerada como la cantidad de glucosa libre proveniente de un alimento y que está disponible para su absorción durante los primeros 20 minutos en la incubación *in vitro*. Es la cantidad de glucosa liberada de

la matriz de los alimentos, así como también de la liberación de monómeros de glucosa a partir de sacarosa y otros oligosacáridos (Al-Mssallem y col., 2011).

2.3.2.2 GLUCOSA DE LENTA DISPONIBILIDAD

El término glucosa de lenta digestibilidad (GLD) se refiere a la cantidad de glucosa liberada entre 20 minutos y 120 minutos de digestión *in vitro*. GLD es la cantidad de glucosa liberada por almidones de baja digestibilidad, glucosa liberada por los alimentos en forma de monómeros de glucosa, así como glucosa liberada a partir de sacarosa y otros oligosacáridos. En este sentido la GRD como GLD pueden ser utilizados como herramienta para la interpretación de una respuesta *in vivo* (Al-Mssallem y col., 2011).

2.3.2.3 ALMIDÓN DE RÁPIDA DIGESTIBILIDAD

Es la fracción de almidón que es asimilada de manera completa y en corto tiempo (20 minutos) en el intestino delgado por los procesos digestivos, para que el almidón sea altamente biodisponible debe de estar totalmente gelatinizado (Lindeboom y col., 2004), por ejemplo, alimentos que contienen una mayor fracción de almidón de rápida digestibilidad (ARD) son todos los subproductos a partir de cereales como, todo tipo de pan, galletas, frituras, tamal, harinas para preparar atoles, hot cakes, tortillas de trigo, sopa de arroz, entre otros, predominantemente a todos los alimentos que se consideran almidonosos, esto se debe al alto grado de refinación de los subproductos alimenticios a partir de los cereales y tienen como característica que el almidón es fácilmente hidrolizado por las enzimas. La estructura del gránulo de almidón sería principalmente de tipo amorfa pues la estructura cristalina presenta mayor resistencia a la hidrólisis enzimática debido a que es más ramificada y compacta lo cual no permite el paso de las enzimas hacia el interior del gránulo (Lehmann y Robin, 2007; Singh y col., 2010).

2.3.2.4 ALMIDÓN DE BAJA DIGESTIBILIDAD

Esta fracción de almidón se caracteriza por que su absorción es lenta o gradual y su asimilación es casi completa, esto se presenta con almidones contenidos en algunos alimentos con un proceso de transformación bajo, y se caracterizan por ser alimentos de grano entero, como es el caso de la preparación culinaria de leguminosas (frijoles de la olla, sopa de lentejas) o de algunos productos transformados como son los espaguetis que por las características físicas del propio alimento retrasa su asimilación. El almidón de lenta digestibilidad (ALD) está constituido por cadenas más largas y estables de amilosa debido, lo cual, favorece que disminuya su digestibilidad. Además, la presencia de otro tipo de compuestos como proteínas y lípidos dentro de la matriz del alimento puede influenciar el grado de digestibilidad y asimilación de los almidones. La digestibilidad de los almidones y proteínas en varios productos de cereales se ve significativamente afectada por la interacción de ambas moléculas. Se ha observado que las propiedades funcionales y digestibilidad del almidón se ven influenciadas por la presencia de pequeñas cantidades de proteína en cereales y otros alimentos debido a que las proteínas forman una red alrededor del gránulo de almidón (Ezeogu y col., 2008). Por otro lado, la formación de complejos entre lípidos y almidón favorece una disminución de su solubilidad, y genera incremento de la temperatura de gelatinización y/o retrasando su retrogradación, estos cambios favorecen la resistencia hacia la acción de las enzimas digestivas lo cual genera como resultado cambios significativos en la asimilación del almidón (Crowe y col., 2000; Lehmann y Robin, 2007; Ye y col., 2016).

2.3.2.5 ALMIDÓN INDIGERIBLE O RESISTENTE

Por el tipo de procesamiento o preparación al que los alimentos son sometidos para su elaboración, permite la formación de una fracción de almidón que tiene como característica el que no es hidrolizada por las enzimas intestinales en los procesos digestivos y pasa al intestino grueso, el cual, es fermentado por la microbiota del

colon o en su defecto puede ser eliminado en las heces sin ser asimilado en su totalidad (Nugent, A. 2005; Sajilata y col., 2006; Birt y col., 2013). La fracción no hidrolizada se denomina almidón resistente, y es definida por la EURESTA (European Research Project on Resistant Starch o Proyecto Europeo de Investigación Sobre Almidón Resistente) como: la suma de almidón y los productos de almidón degradados que no pueden ser absorbidos en el intestino delgado por individuos sanos (Nugent, 2005; Sajilata y col., 2006). Ejemplos de alimentos con estas características son aquellos donde el almidón se encuentra protegido por las estructuras celulares del propio alimento y las enzimas digestivas se ven limitadas en su acción enzimática, como es el caso de las semillas tostadas para botana, alimentos que por su procesamiento son tostados en calor seco, como la tortilla tostada en comal y el pan. En la tabla 1 se resumen las características de los distintos tipos de almidón resistente que hasta la actualidad se han identificado.

En los reportes científicos se muestra que la formación de almidón resistente se debe a la reorganización estructural predominantemente de forma lineal de amilosa y amilopectina con una tendencia a formar un material compacto semicristalino producto primordialmente de la retrogradación de los polímeros, cuyo peso molecular es de alrededor de 1.2×10^5 Da (Nugent, 2005; Fuentes y col., 2010; Birt y col., 2013). La formación de almidón resistente ocurre en almidones que predominantemente contienen amilosa debido a que las cadenas largas de α -glucano son necesarias para formar las estructuras cristalinas. Por otro lado, la retrogradación y la formación de almidón resistente pueden ocurrir en almidones cerosos cuando son sometidos a procesos de calentamiento y enfriamiento. Los cambios que ocurren en la estructura de los almidones durante su calentamiento y enfriamiento se han estudiado por la influencia sobre las propiedades tecnológicas en los alimentos (Sievert y Pomeranz, 1989; Haralampu, 2000; Perera y col., 2010).

Tabla 1. Clasificación del almidón resistente

Tipo de almidón resistente:	Fuente
AR-1. Almidón físicamente inaccesible, encapsulado dentro de las estructuras morfológicas en los granos	Granos enteros y/o parcialmente molidos
AR-2. Gránulos de almidón nativo altamente cristalinos	Papa cruda y plátano, leguminosas en botana.
AR-3. Almidón retrogradado/ recristalizado.	Pan y tortilla tostada
AR-4. Almidón modificado por procesos químicos.	Ingrediente para productos alimenticios.
AR-5. Complejos amilosa-lípido.	Papas fritas

Fuente: Birt, y col., 2013; Raigond, y col.,2014.

2.3.2.6 FIBRA DIETÉTICA UN HIDRATO DE CARBONO IMPORTANTE

Se define como fibra dietética (FD) a los componentes endógenos de las plantas, polisacáridos no almidón y lignina, que son resistentes a la digestión por los enzimas digestivos humanos. La FD se clasifica de una forma simplificada en soluble en agua (viscosa), que es fermentada en el colon por las bacterias (incluye pectinas, gomas, mucilagos, β -glucanos y algunas hemicelulosas) e insoluble en agua (no viscosa) que solo es fermentada en una parte limitada del colon. Los vegetales y los granos de cereales especialmente el trigo y el maíz son ricos en fibra insoluble; esta fibra tiene la capacidad de retener agua e incrementar el volumen fecal, regulando el movimiento intestinal (Salvin y Green, 2007; Stewart y Zimmer, 2015). Algunos de los beneficios del consumo de fibra dietética son disminución de riesgo de obesidad y sobrepeso, cáncer, DM2 y dislipidemias, cabe mencionar que este componente se encuentra principalmente en la testa de los cereales (Dahl y col., 2015).

2.3.2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS ALIMENTOS CON BASE EN SU ÍNDICE GLUCÉMICO

La caracterización nutrimental está relacionada con el índice glucémico estimado de cada alimento (Rosin y col., 2002), este parámetro índice glicémico (IG) se relaciona como la cantidad de glucosa potencialmente liberada de un alimento

cuando es consumido y se mide como el incremento en el área bajo la curva de la respuesta glucémica de un individuo después del consumo de un estándar de 50 o 25g de carbohidratos digeribles contenidos en un alimento (Wolever y col., 1991; Gunathilaka y Ekanayake, 2015; Augustin y col., 2015; Sambra y col., 2015; Arikawa y col., 2015). Se considera que el índice glucémico estimado puede ser una herramienta importante en la elección de alimentos para el tratamiento de enfermedades crónico degenerativas, puesto que el tipo de los hidratos de carbono se ve relacionado con el desarrollo de las enfermedades crónico degenerativas (Arikawa y col., 2015).

Se ha reportado que los carbohidratos contenidos en los diferentes alimentos otorgan respuestas glucémicas distintas, esto se debe a diversos factores propios de la composición del alimento y su preparación, como consecuencia de esto se han agrupado los alimentos de acuerdo al IG que presentan como alimentos de bajo IG < 50, alimentos de medio IG entre 50 y 70 y alimentos de alto IG \geq 70 (Sambra y col., 2015; Gunathilaka y Ekanayake, 2015; Schulte y col., 2015).

2.4. MÉTODOS DE PREPARACIÓN CULINARIA

Las preparaciones culinarias de cada país son un símbolo cultural que refleja sus raíces históricas, sin embargo, esto se ha visto modificado por la globalización, así como por el fenómeno de transculturización que impacta en el cambio de hábitos alimenticios de la población, lo cual, ha generado un aumento en la demanda de comida rápida así como en el consumo de productos industrializados sobre todo de alimentos de consumo inmediato, esto se ha asociado con el aumento en la prevalencia de enfermedades cardiovasculares. Generalmente los alimentos industrializados pasan por diversas técnicas de preparación que modifican la biodisponibilidad de los almidones que contienen, y en muchos de los casos son alimentos cuyas características favorece el aumento de la digestibilidad de los mismos (González, 2015). Uno de los principales fenómenos que se presenta en el gránulo de almidón posterior a un tratamiento térmico en medio acuoso es la gelatinización, este proceso se define como un colapso (disrupción) de la

organización estructural del gránulo de almidón generando de manera irreversible que se ve reflejado por la pérdida de birrefringencia del gránulo (Romano y col., 2016). Otro fenómeno que se manifiesta durante la preparación de los alimentos es la retrogradación del almidón y se refiere como la insolubilización y reorganización estructural de las cadenas de amilosa y amilopectina, en este proceso se relaciona con las variables de tiempo y temperatura (Kumar y col., 2017). Otros factores que afectan su asimilación es la interacción con lípidos que forman un complejo almidón-lípido y tiene como característica el no ser hidrolizado por las enzimas digestivas (Raigond y col., 2014; Magallanes y col., 2017).

2.5 LAS CARACTERÍSTICAS DEL ALMIDÓN Y SU RELACIÓN CON LA RESPUESTA GLICÉMICA POSTPRANDIAL

Desde el punto de vista nutricional el consumo de este macronutriente contenido en los alimentos posee características físicas, estructurales y químicas distintas dependiendo de la fuente biológica de la cual provenga. Físicamente el almidón se encuentra contenido en forma de gránulos al interior de las células del endospermo en los cereales y al interior de las células de los cotiledones en las leguminosas (parte morfológica que le otorga forma y tamaño al grano) y estos gránulos de almidón se caracterizan físicamente por tener tamaño y forma, además presentan una superficie rugosa y porosa, que los hace permeables al agua. Los gránulos están constituidos por láminas amorfas y cristalinas de manera concéntricas alternadas unas de las otras constituyendo un material heterogéneo, es decir, los gránulos están formados por una lámina amorfa y otra cristalina alternados una de la otra de manera secuencial hasta alcanzar el tamaño requerido. Los cereales contienen mayor número de láminas amorfas en comparación con las leguminosas, es decir, las leguminosas presentan mayor contenido de láminas cristalinas, lo que le otorga desde el punto de vista estructural una ventaja en comparación con los cereales y distinto tipo de respuesta postprandial. La composición química de los almidones está constituida por dos compuestos llamados polisacáridos, uno amilosa y otra amilopectina. Es diferente la forma en como están constituidos los

polisacáridos en los gránulos de almidón, mientras que la amilosa tiene como característica estructural el ser lineal, la amilopectina es ramificada. El contenido de amilosa y amilopectina en cada tipo de almidón varía, en los cereales presenta menor contenido de amilosa (30%) en comparación con las leguminosas (40%) (Tester y col., 2004; Lindeboom y Col., 2004).

Para que un nutrimento sea biodisponible (asimilado por el organismo) como es el caso del almidón, este debe de estar contenido en los alimentos en forma gelatinizado, este fenómeno se produce cuando los alimentos se someten al proceso de cocción. Con las investigaciones de la última década se ha comprobado científicamente que todos los alimentos derivados de cereales y leguminosas que consumimos presentan distinta respuesta metabólica en base a su biodisponibilidad, es decir, la forma como son asimilados en términos de cantidad y tiempo, representan diferencias en su respuesta glicémica postprandial. Los almidones de los alimentos a partir de cereales, se absorben en corto tiempo y es total (30 a 40 min promedio) y en casi el 100% de lo que consumimos, ejemplo pan, galletas, tamal, atole de avena entre otros, sin embargo, los almidones de las leguminosas tienen una tendencia a ser digeridos en mayor tiempo (120 min) y casi en su totalidad, ejemplo sopa de lentejas, tlacoyos, frijoles refritos etc., la otra fracción no es digerida y/o absorbida. La fracción de almidón que se asimila en forma rápida, en corto tiempo y completa se caracteriza por ser un “Almidón de Rápida Digestibilidad” (ARD); la fracción de almidón que es asimilada en forma paulatina y en un tiempo más prolongado y casi en su totalidad es considerado “Almidón de Baja o Lenta Digestibilidad” (ALD), la fracción que no es digerida y absorbida en los procesos digestivos es considerada la fracción de “almidón resistente o indigerible” (AR), esta diferencia en relación al grado y tiempo de asimilación determina su clasificación nutrimental. En este sentido los almidones a partir de los cereales se comportan como almidones de rápida digestibilidad, y presentan un alto IG, mientras que los almidones de las leguminosas se comportan como almidones de lenta o baja digestibilidad y presentan un medio o bajo IG (Englyst y col., 2005).

Esta diferencia en cuanto a la biodisponibilidad de los almidones en los alimentos que tiene una relación directa en la respuesta metabólica del organismo, la cual, se debe principalmente a las características físicas del granulo (tamaño y forma), estructurales del almidón (tipo de láminas amorfas y cristalinas) y composición química (cantidad de amilosa y amilopectina) de los cereales en comparación con las leguminosas, estos atributos y propiedades que contiene el almidón en los alimentos influyen en cómo será la forma de su asimilación y el tipo de respuesta metabólica en términos de su biodisponibilidad. Esto significa que la cantidad de energía y la forma en la cual el organismo la obtiene, produce un impacto distinto en el metabolismo del consumo.

Otro factor que modifica la biodisponibilidad de los almidones es la forma en la cual se consumen o se preparan culinariamente los alimentos, esto determina que las características físicas del alimento, es decir, la forma en cómo se ingiere, ejemplo papas enteras horneadas, fritas, o en puré, grano entero o harina etc., influye en cómo serán asimilados los almidones de los alimentos, a este criterio se le denomina factores intrínsecos de asimilación. No se asimila de la misma manera el almidón de los frijoles de olla (frijoles enteros hervidos con especias y sal) que refritos (frijoles en forma de puré). Otro ejemplo es la forma en como consumimos la tortilla, recién hecha el almidón que contiene presenta mayor biodisponibilidad, en comparación a una tortilla tostada en el comal, cuya biodisponibilidad es menor. Estos ejemplos representan como el grado de biodisponibilidad del almidón dependen de las características físicas del alimento, que tiene una influencia en la respuesta metabólica en el organismo aun siendo el mismo tipo de alimento, y se debe a que el almidón contenido en este, ha presentado cambios bioquímicos y estructurales después de haber sido gelatinizado en la preparación del alimento y ha generado que su asimilación sea distinta (Sandhu y Lim, 2008; Svihus y col., 2005).

2.6 BENEFICIOS A LA SALUD DEL CONSUMO DE ALIMENTOS DE ALMIDÓN DE BAJA DIGESTIBILIDAD.

Se ha reportado científicamente que los almidones de los alimentos no todos tienen las mismas características desde el punto de vista fisicoquímico, y ello les otorga un distinguo en términos de la respuesta metabólica que presenta el organismo al ser consumidos. Los almidones de rápida digestibilidad tienen como característica que son asimilados en corto tiempo y en su totalidad, esto representa desde el punto de vista metabólico una carga glicémica alta en corto tiempo. El consumo de alimentos con almidón con estas características tiene consecuencias negativas para las personas diabéticas, ya que el tipo de respuesta que se tiene complica la regulación del metabolismo de carbohidratos por la falta de insulina y ello complica regular y hasta bajar la carga glicémica en términos de concentración de glucosa en sangre con el tiempo. Otra desventaja que se presenta dietéticamente es que el consumo de alimentos con almidones de rápida digestibilidad en términos de frecuencia y cantidad, es decir, mayor cantidad y por tiempos prolongados, favorecen la obesidad. Esto se explica porque el excedente de glucosa que se encuentra en sangre se almacena como energía en el organismo de dos maneras, la de corto plazo en forma de glucógeno en el hígado y otra parte que no es utilizada como gasto energético se almacena en forma de grasa en el tejido adiposo y como consecuencia se produce un aumento sustancial de peso (Hashimoto y col., 2016).

Los alimentos que favorecen la ganancia de peso son principalmente los obtenidos a partir de los cereales y tubérculos, ya que muchos de los alimentos que consumimos en forma diaria son derivados de cereales, y estos productos se consumen en forma semi-elaborados como harinas (alimentos refinados) o como productos procesados, ejemplo productos de panificación en todas sus modalidades, atoles, cereales para el desayuno y sopa de pasta o arroz entre otros. Las leguminosas por el contrario para el caso muy particular de los mexicanos las consumimos en forma de granos enteros, son alimentos poco transformados o procesados a través de sus procesos culinarios de preparación. Sus almidones que

se consumen provocan en el ser humano respuestas metabólicas relacionadas con los almidones de baja digestibilidad. La velocidad de digestión del almidón y la liberación de glucosa al torrente sanguíneo al consumir estos alimentos es paulatina, lo cual, genera bajas respuestas glucémicas postprandiales, es decir, los beneficios que presenta el consumo de leguminosas es la obtención de energía gradual en mayor tiempo, y esto permite que se generen beneficios en su consumo lo que permitiría que el páncreas produzca insulina paulatinamente favoreciendo así la captación de glucosa por las células y evitando así las hiperglucemias (Zeng y col., 2017).

Los beneficios potenciales de alimentos que contiene almidón de baja digestibilidad están vinculados a la estabilidad del metabolismo de la glucosa, la diabetes y la saciedad. En recientes investigaciones se ha considerado que las dietas de mediano a bajo IG reduce la carga glucémica y está asociado con una disminución en el riesgo de desarrollar diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer de colon entre otros. En pacientes obesos, y diabéticos se demostró que la ingesta de almidones que proveen de glucosa lentamente a la sangre se mejora el perfil metabólico, los niveles de triglicéridos en sangre y las lipoproteínas de baja y muy baja densidad. Se ha reportado que el consumo de alimentos en el desayuno, que contengan almidones de baja digestibilidad mejora el metabolismo de los carbohidratos y produce una reducción de los requerimientos de insulina en pacientes con DM2 (Macdonald, 1999; Haralampu, 2000). Debido a que la glucosa es el principal combustible para el cerebro; se demostró también que los niveles de glucosa en sangre pueden influir en el rendimiento cognitivo, como la memoria y razonamiento analítico, sobre todo en los escolares ya que el cerebro en este tipo de actividades demanda hasta el 50% de la energía ingerida para un buen desempeño. Dada toda la evidencia de los beneficios en salud con el consumo de alimentos que contienen almidones de baja digestibilidad es recomendable promover el consumo de alimentos con bajos o moderados IG, ya que mantener una elevada concentración de glucosa en la sangre lo cual favorece la aparición de

enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad (Gelber y col., 2007; Fukuda y col., 2016).

3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los carbohidratos son la principal fuente de energía para el organismo y de la amplia gama de carbohidratos que consumimos el almidón es la principal fuente energética. Este compuesto se ingiere principalmente a partir de alimentos derivados de cereales, leguminosas y tubérculos. Anteriormente se consideraba que el almidón en los alimentos era asimilado de la misma manera, se digería en su totalidad y producía una respuesta metabólica muy similar, independientemente del origen del alimento. Sin embargo, en investigaciones se ha reportado, que el almidón consumido de los alimentos a base de cereales, no presenta el mismo grado de asimilación.

En este sentido, el almidón presenta características fisicoquímicas y nutrimentales únicas de acuerdo con su origen botánico, las cuales generan diversas respuestas glucémicas postprandiales tras su consumo, y que en algunos casos puede ejercer un efecto benéfico a la salud, como es el caso del consumo de almidón de baja digestibilidad que evita los picos glucémicos en el torrente sanguíneo después de ingerir un alimento. Debido a que existe información científica limitada que permita conocer las características nutrimentales de los almidones presentes en alimentos consumidos habitualmente por la población mexicana, este estudio ofrece un panorama de la posible respuesta metabólica del consumo de un alimento a base de cereales tal y como es consumido tradicionalmente por la población mexicana para fundamentar las recomendaciones de consumo de alimentos con distintas características nutrimentales y bioquímicas del almidón, con la finalidad de generar una caracterización de las fracciones de almidón en alimentos mexicanos para el uso clínico en tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas.

Aunque hay estudios que reportan el grado de asimilación del almidón, así como una estimación de la respuesta metabólica de diversos alimentos, son estudios

realizados en alimentos que se consumen en otros países y no existen reportes para los alimentos que son consumidos en México. Por esta razón dentro del presente trabajo se plantea indagar sobre las características nutrimentales de los almidones de alimentos mexicanos.

Por otro lado se ha reportado que el consumo del almidón puede ejercer un efecto benéfico a la salud como es el caso del consumo de almidón de baja digestibilidad que evita los picos glucémicos en el torrente sanguíneo después de ingerir un alimento o bien el almidón resistente que es fermentado por la microbiota intestinal y proporciona beneficios al intestino grueso, estos estudios se han realizado en otros países no teniendo información propia de los alimentos mexicanos debido a eso se plantea cual es la asimilación estimada del almidón en alimentos mexicanos, puesto que las bases de datos que tiene el profesional de la salud son propias de otros países.

4.- JUSTIFICACIÓN

La principal fuente energética en la dieta es a partir de los carbohidratos, que es una forma de obtención de energía primaria y directa y representa hasta el 80% del consumo calórico total de la dieta. De todos los carbohidratos consumidos, el almidón es el principal componente de los alimentos a partir de cereales, leguminosas y tubérculos. Desde el punto de vista nutricional el almidón (macronutriente) posee características físicas, estructurales y químicas distintas que depende de la fuente biológica a la cual proviene. En investigaciones recientes se ha reportado científicamente que todos los alimentos derivados de cereales que consumimos producen distinta respuesta glucémica en relación a su bioaccesibilidad, es decir, el grado de digestibilidad que presentan términos de cantidad y tiempo. Esta diferencia en cuanto a la bioaccesibilidad de los almidones en los alimentos tiene una relación directa con la respuesta metabólica en el organismo, la cual, se debe principalmente a las diferencias en las características físicas, estructurales y composición química del almidón, estos atributos y/o propiedades que posee el almidón en los alimentos influyen en cómo será el grado de digestibilidad, tipo de respuesta metabólica en términos de su bioaccesibilidad.

Uno de los principales problemas de salud pública en México es el incremento en la prevalencia de enfermedades crónicas degenerativas, las cuales se ven relacionadas con un elevado consumo de hidratos de carbono, debido a esto se considera de vital importancia la caracterización del almidón en alimentos mexicanos, así como por su bioaccesibilidad y tipo de respuesta estimada por los métodos *in vitro*.

En este documento se generará información científica que permita conocer las características nutrimentales y de asimilación estimada de los almidones presentes en alimentos consumidos habitualmente por la población mexicana, y conocer el nivel de digestibilidad y/o asimilación que tiene un alimento con diferentes contenidos de almidón tal y como es consumido por la población y esta información puede ser un referente en el manejo dietético del tratamiento de enfermedades de

tipo crónico degenerativas debido que el profesionalista puede recomendar o no el consumo de los diferentes alimentos de acuerdo con el cocimiento generado.

5.- OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características nutrimentales del almidón contenido en alimentos de consumo popular en México, y la evaluación de su digestibilidad *in vitro* del almidón para estimar el comportamiento de asimilación de los almidones.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el análisis químico proximal (AQP) de los alimentos seleccionados con el fin de estimar el contenido de nutrimentos.
- Determinar la caracterización nutrimental del almidón contenido en los alimentos seleccionados mediante un método *in vitro*.
- Evaluar la tasa de digestibilidad de los alimentos seleccionados mediante una cinética enzimática *in vitro*
- Determinar índice glucémico y carga glucémica de los alimentos seleccionados como estimadores indirectos del nivel de respuesta postprandial.

6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

6.1 CRITERIOS METODOLÓGICOS

Los alimentos fueron seleccionados de acuerdo con los registros de la encuesta nacional agrícola 2015 donde se reporta la producción de diferentes productos agrícolas, Cereales como maíz, arroz y trigo considerando que los granos son los alimentos con mayor contenido de almidón, además se tomaron en cuenta los productos de mayor producción de acuerdo con la información reportada por INEGI (INEGI, 2017). Así mismo, se consideraron alimentos de diferentes IG para caracterizar las fracciones nutrimentales del almidón contenido en los alimentos. Para el contraste de los cereales se seleccionaron dos leguminosas (frijoles molidos, habas tostadas) que tienen un comportamiento distinto, así como un tubérculo como la papa, ya que es uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial, en recientes reportes que es el tercer alimento de mayor producción y consumo a nivel mundial, y representa uno de los alimentos con mayor aporte calórico (Song y col., 2014). Ahora bien los alimentos que se utilizaron en el proyecto fueron los de mayor preferencia, frecuencia, disponibilidad y tradicionales que son consumidos por la población mexicana, además se consideraron alimentos recomendados en la práctica clínica por suponer un bajo impacto en la carga glucémica o por tener un efecto saludable por las características de los carbohidratos que contienen estos alimentos, así como alimentos limitados o prohibidos por suponer que generan una respuesta glucémica de alto impacto y/o efecto desfavorable del metabolismo por el tipo de carbohidratos que contienen estos alimentos. Los alimentos que fueron considerados para el estudio estuvieron en buenas condiciones de consumo preferentemente frescos en su preparación, si eran productos empaquetados se verificó que el empaque no estuviese roto, no caducados, no golpeados y si no cumpliera con los requisitos el alimento fue excluido del estudio. Se consideró un muestreo aleatorio en los diferentes sitios o puntos de venta en un mismo periodo de tiempo y la identificación de cada muestra fue por códigos de números considerando el lugar, tipo y marca del alimento durante

el muestreo y su almacenamiento fue en refrigeración. Los datos que se registraron fueron la fecha de compra, fecha de caducidad, lote del producto y el origen del producto; los alimentos contemplados en este estudio se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los alimentos seleccionados para el estudio

AIC ^a	ACC	Otras fuentes de almidón
Amaranto tostado	Atole de maíz	Frijoles molidos
Cereal para desayuno	Bolillo	Habas
Hojuelas de avena	Arroz	Puré de papa
Galletas marías	Tortilla de maíz	
Galletas habaneras		
Mantecadas		
Sopa instantánea		
Tortilla de trigo		

Clasificación de los alimentos de acuerdo con su método de preparación y origen vegetal; Donde AIC^a Alimentos industrializados a base de cereal; ACC^b Alimentos artesanales a base de cereal

6.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la propuesta experimental se determinó la composición química proximal de los alimentos seleccionados de acuerdo a la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), a través de los siguientes análisis: humedad (925,09); proteínas (920,87); lípidos totales (920,85); fibra total, (991,43) y minerales como cenizas (923,03); y los carbohidratos se estimaron por diferencia como extracto libre de nitrógeno (ELN). Posteriormente se determinó la caracterización nutrimental de los almidones en los alimentos seleccionados mediante las diferentes fracciones nutrimentales del almidón por métodos *in vitro*, a través de la cuantificación del contenido de almidón total por la técnica desarrollada por Goñi y col., 1997; cuantificación de almidón resistente por Goñi y col., 1996; la determinación de almidón rápidamente digerible, lentamente digerible e índice de digestibilidad, por Englyst y col., 1999; Aarathi y col 2003, Ahmed y Urooj. 2008 y Patindol y col., 2010; e índice de digestibilidad. Por último, para estimar el

tipo de respuesta metabólica se realizó una cinética de digestibilidad *in vitro*, y la determinación del grado de hidrólisis e índice glucémico estimado de acuerdo a Goñi y col., 1997 (Figura 3).

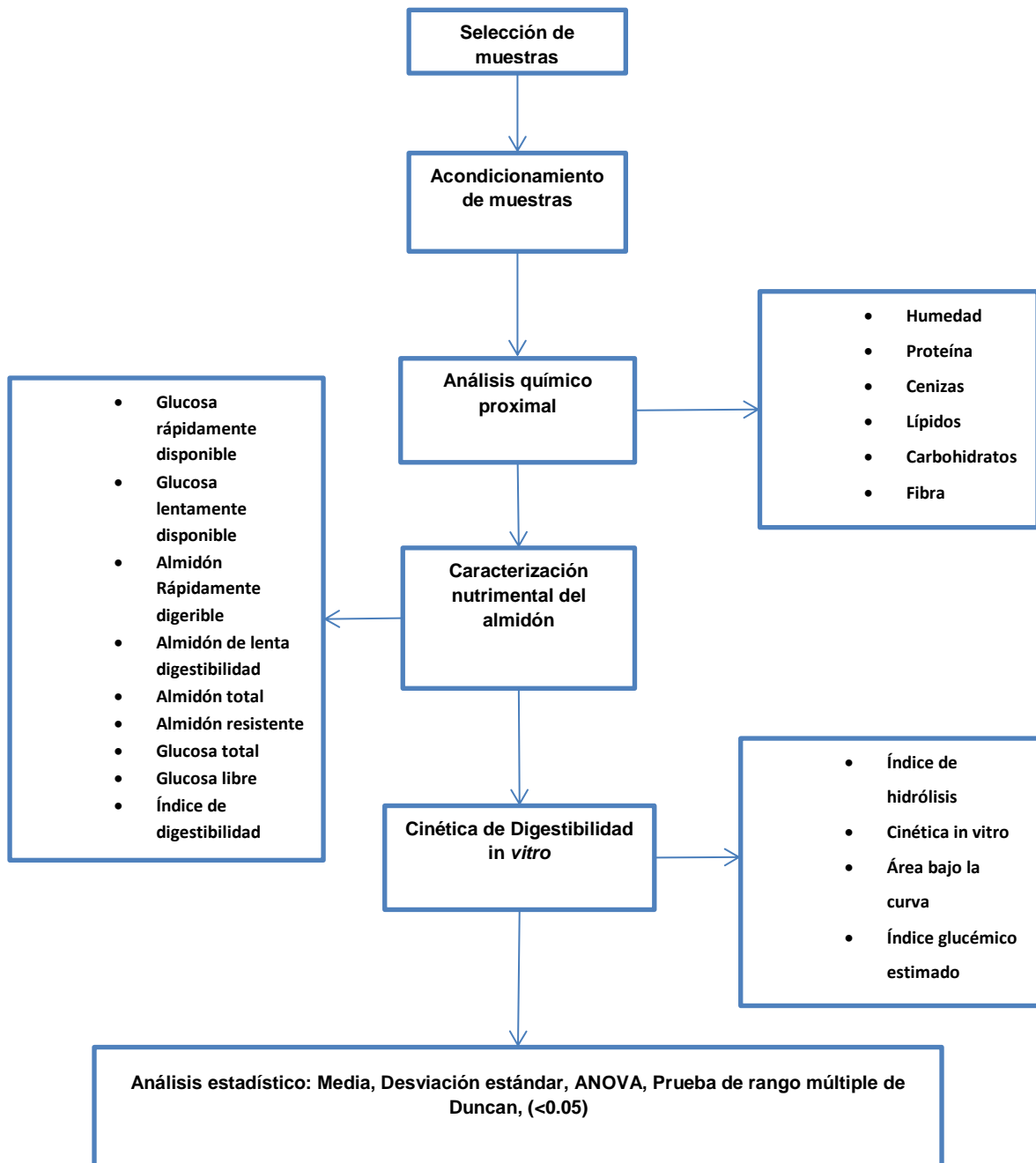


Figura 3. Diseño experimental

6.3 MÉTODOS

6.3.2 ACONDICIONAMIENTO DE ALIMENTOS

Las muestras de los alimentos seleccionados fueron analizadas tal y como se consumen. Para el caso de alimentos listos para consumo fueron comprados en establecimientos autorizados con la fecha de caducidad la más lejana posible, y se registró la fecha de compra y lote, la compra y elaboración de cada producto se realizó el mismo día de su análisis con la finalidad de que cada alimento conservara un alto grado de frescura, posterior a la adquisición de los alimentos se homogenizó la muestra a un tamaño de partícula de al menos un tamiz de 0.6 mm, para que la acción de las enzimas fuera de manera eficaz. En caso de alimentos preparados fueron analizados el mismo día de su elaboración, estos se homogenizaron hasta alcanzar un tamaño de partícula de un tamiz de 0.6 mm. Todas las muestras se almacenaron a una temperatura de refrigeración o congelación según fuera el caso (Ahmed y Urooj, 2008).

6.3.3 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

Para determinar la composición química de los alimentos seleccionados se realizó el procedimiento de acuerdo con las técnicas reportadas por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), a través de los siguientes análisis: humedad (925,09), proteína (920,87), lípidos (920,85), fibra total (991,43), material inorgánico en términos de cenizas (923,03) los carbohidratos se estimarán por diferencia como extracto libre de nitrógeno (ELN), todas las determinaciones se fundamentan como técnicas gravimétricas.

6.3.3.1 HUMEDAD

Para la determinación de humedad se realizó mediante la técnica reportada por la AOAC (925,09), el principio de esta técnica se fundamenta por la evaporación del contenido de agua, la pérdida de peso de la muestra fresca y seca fue la cantidad de agua contenida en el alimento.

El procedimiento fue poner a peso constante al pesa filtro, que consistió en llevar a la estufa por 12 horas a 105°C. y posteriormente se enfrió en un desecador y se pesó. En seguida se pesó 1 gramo de muestra en el pesa filtro previamente tarado a peso constante, llevar a la estufa y dejar la muestra 4 horas a 105°C. Se transfirió el pesa filtro a un desecador para enfriar la muestra. Una vez que alcanzó la temperatura ambiente, se pesó y registraron los datos, los resultados se expresaron como:

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100$$

(Ec) 1

Dónde:

a = masa en gramos de la muestra original

b = masa en gramos de la muestra desecada

6.3.3.2 CENIZAS

El principio de esta técnica se basa en una determinación de tipo gravimétrico en la cual se obtiene después de haber realizado una carbonización y oxidación total de la materia orgánica del alimento, el residuo o ceniza que queda en el crisol se considera como material inorgánico.

Para su determinación se realizó mediante el método oficial de la AOAC (923.03), que consistió en pesar 1 g de muestra en un crisol, acondicionado previamente a peso constante. Se calcinó la muestra con el mechero lentamente para evitar pérdida por arrastre de humo o proyecciones de la muestra fuera del crisol, hasta que la muestra se encontró totalmente calcinada. Cuando el desprendimiento de humo cesó, se colocó el crisol en la mufla a una temperatura entre 550° C, por 4 h o hasta que las cenizas estuviesen libres de carbón, esto es cuando se observan de coloración gris-blanquiza. En caso de que esto no sucediera, se dejó enfriar y agregaron unas gotas de agua destilada, para secar nuevamente en el mechero y se continuó calentando hasta obtener las características deseadas. Por último, se transfirió el crisol a la estufa, para enfriar

paulatinamente por un periodo de 30 min, y posteriormente se colocó en el desecador. Una vez que alcanzó la temperatura ambiente se pesó la muestra con el crisol.

$$\%Cenizas = \left(\frac{a - b}{m} \right) \times 100$$

(Ec) 2

Dónde:

a = Peso del crisol con las cenizas

b = Peso del crisol vacío

m= Peso de la muestra en gramos

6.3.3.3 PROTEÍNAS

El método de cuantificación de proteínas se basa en la determinación del contenido de nitrógeno que contiene un alimento. La cantidad de proteína es determinada por el nitrógeno liberado en la digestión de la muestra en H₂SO₄ oxidando la materia orgánica hasta nitrógeno amoniacal, y posteriormente la destilación del compuesto por arrastre de vapor recolectado en una solución de H₃BO₃ y posteriormente se titula con HCl. El contenido de proteína se calculó mediante el contenido de nitrógeno amoniacal por el factor de conversión de 6.25.

Para su determinación se realizó con el método reportado por la AOAC (991.20). Se pesaron 2 g de muestra y se colocó en el matraz de digestión junto con una tableta catalizadora, se adicionaron 5 mL de agua destilada y 15 mL de H₂SO₄, se llevó a una temperatura de 230°C hasta su oxidación total y desarrollar una coloración de tono verde esmeralda. Posteriormente se neutralizó el residuo con NaOH al 40%, se realizó la destilación del compuesto amoniacal obtenido durante la digestión y el condensado de la destilación se recolecto en una solución de H₃BO₃ al 3% (pH=4.6-4.7) y finalmente la titulación con HCl 0.1 N. Los resultados se expresaron como:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(mL \text{ de HCl}) \times (\text{Normalidad de HCl}) \times 0.014}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

(Ec) 3

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{Nitrógeno} * 6.25$$

(Ec) 4

Esta determinación no incluye nitrógeno no proteico, para convertir el contenido de nitrógeno en la muestra se utiliza el factor de 6.25 (Ronald, y col., 1996).

6.3.3.4 LÍPIDOS TOTALES

El contenido de grasa también denominado extracto etéreo, puede estar formado por lípidos enlazados y por lípidos libres, estos últimos consisten en grasas neutras y ácidos grasos libres los cuales pueden ser extraídos por disolventes orgánicos como éter etílico, cloroformo, hexano etc. Existen dos tipos principales de extracción una directa con disolventes del tipo Bolton o Bailey –Walter y otra por extracción continua con el equipo Soxhelt, cuyo principio de extracción es de manera intermitente (Ronald, y col., 1996).

El procedimiento se realizó de acuerdo con el método de análisis de la AOAC (920,85). Se pesó una cantidad de muestra de 2 g en papel filtro y se colocaron en los cartuchos de extracción, estos se ubicaron en el sistema de extracción del Soxhelt, en donde el disolvente orgánico se mantenía a reflujo constante por un periodo de tiempo necesario hasta la extracción total de los lípidos, aproximadamente 5 h. Al término de la extracción se colocó la muestra en el desecador, la cantidad de lípidos se calculó por la diferencia de peso de la muestra al inicio y final del proceso. Los resultados se expresaron de la siguiente manera:

$$\% \text{ Lípidos} = (b - a/c) \times 100$$

(Ec) 5

Dónde

A= Peso del papel filtro en gramos

B= peso del papel filtro con muestra en gramos

C= peso de la muestra en gramos

6.3.3.5 FIBRA CRUDA TOTAL

La fibra cruda total representa la parte de material indigerible de los alimentos de origen vegetal. Su determinación se fundamenta en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo el cual se considera como fibra cruda total, posteriormente se calcina el residuo para su corrección de materia inorgánica. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

Para la cuantificación se realizó por técnica establecida de la AOAC (991,43), la cual, consistió en colocar en un vaso de Berzelius, aproximadamente 2.0 g de muestra seca y desengrasada y 200 ml de H₂SO₄ caliente a 0.255 N. Se conectó al condensador y se mantuvo en ebullición suave durante 30 minutos. Al término del tiempo, se filtró a vacío sobre papel filtro de poro medio en un embudo Bushner colocado en un matraz Kitazato, (considerar el peso de papel filtro), se lavó el residuo de muestra con agua hirviendo, hasta la eliminación de la acidez en el agua de lavado. Se lavó el precipitado con solución de NaOH 0.313 N, y se transfirió de manera cuantitativa del papel al vaso de Berzelius, en un volumen de 200 mL del álcali. Se colocó nuevamente a reflujo durante 30 min, para llevar a cabo la digestión alcalina. En caliente, se filtró a vacío a través del papel filtro empleado anteriormente. Con agua caliente se procedió a lavar hasta eliminar el álcali de la muestra, y verificó el pH con papel indicador la neutralidad del agua de lavado. Por último, se lavó el precipitado con etanol y colocó la muestra en el crisol previamente a peso constante. Se secó la muestra a 110°C. Al término del secado se colocó la muestra en el desecador para enfriarla hasta temperatura ambiente y finalmente pesarla. Se incinero la muestra seca, donde primero se calcinó en el mechero y posteriormente en la mufla a 550°C. Se dejó enfriar la muestra calcinada en la estufa hasta que alcanzara una

temperatura de 100°C y posteriormente se colocó en el desecador para que alcanzara la temperatura ambiente y pesarla. Los resultados se expresaron como:

$$\%Fibra Cruda = (a - b/m) \times 100$$

(Ec) 6

Dónde:

a = Peso del crisol con el residuo antes de calcinar en gramos

b = Peso del crisol con el residuo calcinado, en gramos

m= Peso de la muestra seca en gramos

6.3.3.6 HIDRATOS DE CARBONO DIGERIBLES

Los carbohidratos se estimaron por diferencia del extracto libre de nitrógeno, cenizas, lípidos, humedad y fibra de acuerdo a lo establecido por la AOAC, todas las técnicas utilizadas fueron de tipo gravimétrico.

6.3.4 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DEL ALMIDÓN

La caracterización nutricional del almidón son ensayos enzimáticos que hidrolizan la muestra del alimento a evaluar en condiciones controladas por métodos *in vitro*, y simulan los procesos digestivos fisiológicos *in vivo*. Estos métodos permiten determinar las distintas fracciones nutrimentales del almidón que se encuentran en los alimentos tal y como se consumen. El procedimiento de estos ensayos se inicia con la acción de la pepsina que hidroliza todo el material proteico que el alimento contenga, para liberar los polisacáridos encapsulados por la matriz proteica que los envuelve. Posteriormente la acción de las enzimas hidrolíticas digestivas (pancreatina, amilasa, amiloglicosidasa e invertasa), complementan la hidrólisis completa del almidón y oligosacáridos presentes hasta liberar la glucosa contenida en la muestra. Se cuantificó la cantidad de glucosa liberada a los 20 minutos y 120 minutos, para el contenido de glucosa total se utilizó la

glucosa liberada de la fracción que no fue hidrolizada en un tiempo mayor de 120 minutos. La glucosa se cuantificó por medio de un método enzimático-colorimétrico utilizando glucosa oxidasa-peroxidasa (GOD-POD) por espectrofotometría a una longitud de onda de 540 nm. La intensidad del color desarrollado es proporcional a las absorbancias obtenidas y se cuantifica mediante interpolación en una curva estándar de glucosa. De esta manera se pueden determinar las diferentes fracciones nutrimentales que presenta el almidón de la muestra a evaluar (Almidón de rápida digestibilidad, almidón de lenta digestibilidad, almidón resistente, almidón total, glucosa rápidamente disponible, glucosa de lenta disponibilidad, glucosa total y glucosa libre) (Englyst y col., 1996; Patindol y col., 2010 Ahmed y Urooj, 2008).

Para la realización de este procedimiento se pesaron cantidades de alimentos con una proporción de 500 mg de carbohidratos totales disponibles de acuerdo a lo obtenido en el análisis bromatológico antes realizado, posteriormente la muestra se colocó en un tubo falcón de 50 mL de capacidad conjunto con un agitador magnético, con la finalidad de simular la perístasis, a cada muestra se le agregaron 5 mL de HCl 0.05M, así como 5 mL de pepsina preparada, se incubó durante 30 minutos a una temperatura de 37°C , al término de la hidrólisis proteica, se procedió a adicionar 5 mL de buffer de acetatos 0.5 M, ajustando el pH a 4.9 y se continuó con agitación por 2 minutos con la finalidad de atemperar la muestra, pasado ese periodo se procedió a agregar 5 mL del coctel enzimático y se colocó en el baño a 37°C con agitación constante, se tomó el tiempo dejando 1 minuto de intervalo por reacción y se mantuvo la agitación. Se tomaron alícuotas de 0.5 mL a los tiempos 20, 30, 60, 90, 120 minutos y se inactivaron con alcohol al 66%. Posteriormente al sobrante de muestra se le agregaron 10 mL de KOH 7M y las muestras se colocaron en un baño de hielo con agitación constante e incubaron durante 45 minutos, pasado el tiempo se tomó una alícuota de 1 mL, y se le adicionaron 2 mL de buffer de acetatos 1M, se ajustó el pH a 4.5, se agregaron 300µL de amiloglucosidasa, la muestra se colocó en un baño a 60°C durante 60 minutos, pasado el tiempo se procedió a inactivar la muestra y finalmente cada muestra se aforaba a 100 mL de los cuales se tomó una alícuota y se realizaban las diluciones correspondientes para cuantificar el contenido de glucosa por el método enzimático-colorimétrico GOD-POD.

Para el caso de glucosa libre se pesaron 50 mg de carbohidratos disponibles y se adicionaron 20 mL de buffer de acetatos 1 M a pH 5.2, se mezcló y se colocó en un baño maría a 100°C, durante 10 minutos, una vez transcurrido el tiempo la muestra se atemperaba y se colocaba en un baño maría a 37°C donde se le agregó invertasa, se incubó durante 30 minutos, una vez pasado el tiempo se agregaron 2 mL de agua y se inactivó la enzima. La cantidad de glucosa obtenida se cuantifico por el método enzimático-colorimétrico GOD-POD.

Para la cuantificación de glucosa obtenida de las muestras se utilizó el método enzimático-colorimétrico GOD-POD. En alícuotas de 0.5 mL de muestra se agregó 1 mL del reactivo GOD-POD y las muestras se incubaron junto con un blanco en un baño maría a 37°C durante 30 minutos, una vez trascurrido el tiempo se inactivo la reacción enzimática con 2 mL de H₂SO₄ 12 N. Finalmente se midió las absorbancias a 540 nm en un espectrofotómetro UV-Visible.

La cuantificación de cada uno de los parámetros se determinó de la siguiente manera:

GL: mg de glucosa libre

$$GRD = (G_{20})$$

(Ec) 7

GRD: mg de glucosa hidrolizados en la muestra a los 20 minutos (glucosa rápidamente disponible).

$$GLD = (G_{120} - G_{20})$$

(Ec) 8

GLD: mg de glucosa hidrolizados en la muestra a los 120 minutos (glucosa lentamente disponible).

GT: mg de glucosa obtenidos de la porción digerible

$$AT = (GT - GL) \times 0.9$$

(Ec) 9

AT: Almidón total.

$$ARD: (G_{20} - GL) \times 0.9$$

(Ec) 10

ARD. Almidón de rápida digestibilidad

$$ALD = (G_{120} - G_{20}) \times 0.9$$

(Ec) 11

ALD: Almidón lentamente digerible.

$$AR = AT - (ARD + ALD)$$

(Ec) 12

AR: Almidón resistente a la hidrolisis o indigerible.

$$AD = AT - AR$$

(Ec) 13

AD: Almidón digerible.

$$ID = (AD/AT) \times 100$$

(Ec) 14

ID: Índice de digestibilidad como la relación del almidón digerible con respecto al contenido de almidón total.

6.3.5 CINÉTICA DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO*

El nivel o grado de asimilación se determina mediante la evaluación de una cinética de digestibilidad del nutriente, y esta se puede considerar como un estimador en la respuesta metabólica al consumo del nutrimento. Jenkins y col (1987) introdujeron el concepto de IG para clasificar los alimentos en relación al tipo de respuesta de la absorción de glucosa en sangre. Se han propuesto muchos procedimientos *in vitro* para evaluar el nivel de hidrólisis del almidón considerando estas como un predictor de los efectos fisiológicos al consumo de un alimento en particular, los métodos de evaluación difieren desde la preparación y/o acondicionamiento de la muestra hasta el tipo de enzimas digestivas utilizadas en los ensayos, así como establecer una buena relación con las pruebas *in vivo*. En ese caso se utilizó la metodología reportado por Goñi y col de (1997) con ciertas modificaciones.

Se consideraron porciones de alimentos con 30 mg de carbohidratos disponibles y se colocó la muestra en tubos falcón. Se agregaron 10 mL de buffer HCL-KCL a pH 1.5, y 200 μ L de solución de pepsina, se incubó a 40°C durante 1 hora en un baño con agitación, pasada esta etapa se procedió a aforar la solución a 25 mL con buffer de fosfatos y se ajustó el pH a 6.9, una vez ajustado el pH se agregaron 5 mL del buffer con α -amilasa, las muestras se incubaron en un baño maría con agitación a 37°C, se tomó una alícuota de 1 mL a los tiempos 20, 30, 60, 90, 120, 150 minutos, para la inactivación enzimática las alícuotas se colocaron en un baño maría a 100°C con agitación enérgica durante 5 minutos. Posteriormente a cada tubo se le agregaron 3 mL de buffer de acetato sódico 0.4M a pH 4.75, y 60 μ L de amiloglucosidasa y se incubaron a 60°C durante 45 minutos. Finalmente se realizaron las diluciones necesarias para medir la concentración de glucosa liberada en cada reacción enzimática mediante una técnica enzimática-colorimétrica con el reactivo de GOD-POD, la absorbancia del color desarrollado se leyó a una longitud de onda de 540 nm en el espectrofotómetro. La cuantificación se obtuvo por interpolación de las absorbancias en una curva tipo de glucosa.

El porcentaje de hidrólisis se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{HIDRÓLISIS} = \frac{(\mu\text{G de glucosa/mL})(250)(0.9)(100)}{(1000)(\text{Peso de la muestra seca en mg})}$$

(Ec) 15

Para describir la cinética de la hidrólisis *in vitro* del almidón se consideró un modelo enzimático de primer orden, de tal manera que la velocidad de reacción es proporcional en cada tiempo t a la concentración del producto liberado bajo las siguientes consideraciones (Dona y col., 2010):

$$-dC_{\infty}/dt = k_a C_{\infty}$$

(Ec) 16

Dónde

t = Tiempo

C = la concentración de almidón hidrolizado en el tiempo t .

C_{∞} = la concentración de equilibrio al tiempo t

K_a = la constante cinética de velocidad de primer orden, considerada como constante de absorción.

Como esta ecuación es una función de la razón de cambio de la concentración de producto liberado con respecto al tiempo, su integración desde $t=0$ y C_0 (concentración inicial) hasta C_{∞} (concentración en el equilibrio) al tiempo t , se obtiene la siguiente ecuación

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt})$$

(Ec) 17

Para estimar la respuesta postprandial de la absorción y/o asimilación de glucosa en términos de medir la relación de las variaciones de las concentraciones del producto liberado en función del tiempo, se utiliza la relación gráfica del área bajo la curva (ABC),

que corresponde al área total comprendida bajo la curva de la cinética de reacción, y expresa la cantidad de glucosa que es liberada o puede ser absorbida desde el epitelio intestinal.

El Área bajo la curva de la cinética enzimática *in vitro* se determinó de la siguiente manera:

$$ABC_0^t = \frac{C_{\infty}(t - t_0) - C_{\infty}}{k(1 - e^{-kt})}$$

(Ec) 18

Dónde:

C_{∞} = es la concentración de glucosa liberada en la condición de equilibrio

K = la constante cinética de equilibrio y/o absorción

t_0 y t_f = son los tiempos iniciales (0 min) y final (150 min).

Considerando el principio del método de los trapezoides el área bajo la curva total se calculó como:

$$ABC_0^{\infty} = \Sigma ABC_0^{30} + ABC_{30}^{60} + ABC_{60}^{90} + ABC_{90}^{120} + ABC_{120}^{150}$$

(Ec) 19

Corresponde a la sumatoria de cada una de las partes de la cinética de primero orden a los tiempos 30, 60, 90, 120 y 150 minutos.

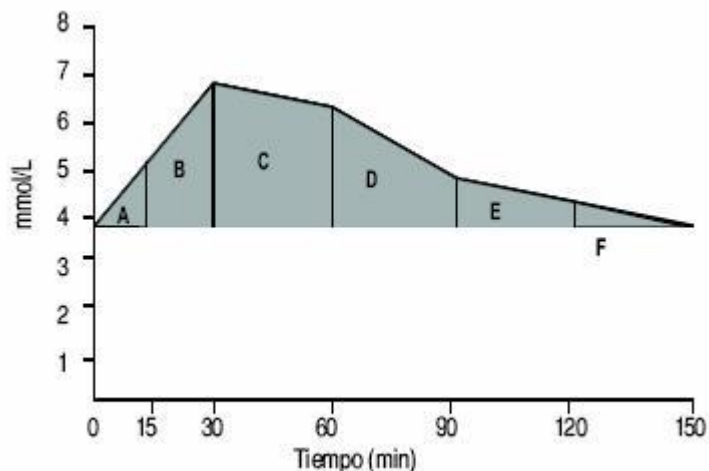


Figura. 4. Área bajo la curva

6.3.5.1 ÍNDICE DE HIDRÓLISIS

El índice de hidrólisis (IH) se determinó como la relación entre el área bajo la curva de la muestra con respecto al alimento de referencia (pan blanco) La expresión matemática fue la siguiente:

$$IH = \left(\frac{ABC \text{ muestra}}{ABC \text{ pan blanco}} \right) \times 100$$

(Ec) 20

6.3.5.2 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE GLICÉMICO

El índice glucémico (GI) es una clasificación de la cantidad de glucosa liberada y/o absorbida en la sangre a partir de un alimento consumido. Se define como el incremento del área bajo la curva (AUC) de glucosa liberada después del consumo de un alimento de prueba, y expresada como el porcentaje del área correspondiente después de una carga equivalente de carbohidrato de un producto de referencia (pan blanco). El índice glucémico de los alimentos de prueba se estimó usando la ecuación de regresión por Goñi y col. (1997):

$$IG_e = (39.71 + 0.549) \times IH$$

(Ec) 21

Donde:

IG_e: Índice glicémico estimado

IH: Índice de hidrólisis

6.3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores se expresaron como la media de los ensayos por triplicado \pm su desviación estándar. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y una prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) para analizar la significancia de las diferencias entre las medias de las distintas muestras. Las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas cuando el valor de $p < 0.05$. Utilizando SSPS versión 15 para Windows.

7.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS

La composición del análisis químico proximal de cada uno de los alimentos se muestra en las Tablas 3,4 y 5, este análisis se realizó mediante las técnicas de la AOAC con la finalidad de obtener la cantidad de hidratos de carbono para la caracterización y análisis de los alimentos seleccionados.

Tabla 3. Composición Química de Alimentos Industrializados a base de Cereal

Alimentos industrializados (% base húmeda)						
Alimento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	*Hidratos de carbono (%)
Amaranto Tostado	10.27±0.21 ^c	0.53±0.04 ^g	15.10±0.07 ^a	6.35±0.01 ^e	5.38±0.04 ^d	66.37±0.26 ^d
Cereal (corn flakes)	3.27±0.18 ^f	0.79±0.00 ^f	8.06±0.02 ^e	1.63±0.02 ^f	0.90±0.02 ^{cd}	85.34±0.25 ^a
Galleta habanera	3.42±0.07 ^f	1.11±0.02 ^d	10.48±0.79 ^{cd}	9.64±0.02 ^d	4.17±0.19 ^a	71.17±1.05 ^c
Galleta maría	7.01±0.04 ^e	0.22±0.01 ^h	9.80±0.08 ^d	1.25±0.28 ^f	0.50±0.09 ^d	81.21±0.34 ^b
Hojuelas de avena	8.90±0.83 ^d	0.91±0.09 ^e	10.36±0.02 ^{cd}	8.88±0.08 ^d	2.81±0.87 ^b	68.13±1.74 ^d
Mantecadas (Bimbo)	23.93±0.86 ^a	1.56±0.00 ^b	11.40±0.01 ^b	23.91±1.35 ^a	0.39±0.04 ^d	58.80±2.24 ^e
Sopa instantánea (Maruchan)	8.35±0.22 ^d	1.20±0.03 ^c	10.60±0.03 ^c	16.14±0.01 ^b	1.23±0.08 ^b	60.46±0.32 ^e
Tortilla de trigo (Tía Rosa)	18.40±0.45 ^b	2.86±0.00 ^a	10.32±0.02 ^{cd}	11.42±0.04 ^c	1.31±0.10 ^c	55.67±0.59 ^f

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3). * Obtenidos por diferencia; Carbohidratos = [100 - (humedad + proteína + ceniza + lípido + fibra dietética)].

Medias con letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes. Diferencias Significativas p<0.05

El parámetro de humedad se refiere a las cantidades presentes de agua en las muestras examinadas; en la Tabla 3 se pueden observar los resultados donde la cantidad de humedad en alimentos industrializados se sitúan en un rango de 3.27% y 23.93%, con el valor más alto para las mantecadas y el valor más bajo registrado fue el cereal para desayuno (corn flakes), ($3.27 \pm 0.18\%$), estos valores obtenidos para el cereal son similares a los presentados por la USDA con 3.00%, por otro lado Zhu y col (2017) reportaron un contenido de 20% de humedad en la tortilla de trigo, similar al reportado en este estudio (18.40 ± 0.45). El análisis químico de los alimentos elaborados de manera artesanal se encuentra en la Tabla 4, y presentan un rango de humedad entre 7.14%-61.06%. En el caso del arroz cocido fue el alimento con mayor contenido de humedad ($61.06 \pm 2.67\%$). El grupo de Gunathilaka y Ekanayake (2015) reportaron resultados entre 63%-64% similares a los obtenidos en este estudio (61.06 ± 2.67). En el caso de almidón de maíz la USDA reporta 8.32% similar a lo obtenido en este estudio (7.14 ± 0.46). En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para alimentos distintos a los cereales (leguminosas y tubérculos) con rango entre 6.74% y 75.17%, estos resultados son concordantes con los reportados por la USDA, a excepción con las habas que por el proceso de tostado disminuyeron su capacidad de retención de agua, lo cual hace que el acceso de las enzimas al gránulo de almidón sea más complicado aún.

El contenido de cenizas en los AIC se muestra en la Tabla 3. Los alimentos analizados en el presente estudio mostraron contenidos que variaron entre 0.22% y 2.86%, el alimento con mayor contenido de cenizas fue la tortilla de trigo ($2.86 \pm 0.00\%$), y el de menor contenido de cenizas fue el cereal para desayuno (corn flakes) ($0.79 \pm 0.00\%$) y amaranto tostado ($0.53 \pm 0.04\%$). El contenido de cenizas para alimentos elaborados de manera artesanal se muestran en la Tabla 4 y presentan valores entre 0.12% -1.19%, donde la tortilla de maíz presentó el mayor contenido de cenizas (1.19 ± 0.03), resultados similares a los reportados por Agama y col. (2004) (1.14% a 1.54%); para el caso de la maicena se obtuvo la menor cantidad (0.12 ± 0.05), en este caso el grupo de Lovera y Col (2017) reportaron concentraciones de cenizas entre 0.12%-0.43% y midieron la digestibilidad de almidones aislados de distintas fuentes biológicas, similares a lo reportado en este estudio. Para el caso de alimentos de fuentes distintas a los cereales se muestran en la tabla 5, obteniendo rangos de 0.12%. a 1.19%.

Tabla 4. Composición Química de los Alimentos Preparados de Manera Convencional a base de Cereal.

Alimentos preparados de manera Convencional (% base húmeda)						
Alimento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	*Hidratos de carbono (%)
Almidón de maíz (Maicena)	7.14±0.46 ^d	0.12±0.05 ^c	0.49±0.00 ^d	0.33±0.14 ^d	0.92±0.11 ^c	87.96±0.19 ^a
Arroz cocido	61.06±2.67 ^a	0.63±0.00 ^b	3.83±0.00 ^c	2.79±0.00 ^c	0.8±0.28 ^a	29.61±2.97 ^c
Bolillo	26.89±3.22 ^c	0.11±0.01 ^c	13.61±0.04 ^a	4.95±0.10 ^a	2.39±0.74 ^b	52.03±4.10 ^b
Tortilla de maíz	42.34±0.93 ^b	1.19±0.03 ^a	6.87±0.08 ^b	3.24±0.02 ^b	1.10±0.28 ^c	45.24±1.25 ^b

*Obtenidos por diferencia; Los valores son media ± desviación estándar (n = 3); Carbohidrato: Obtenidos por diferencia = [100 - (humedad + proteína + ceniza + lípido + fibra dietética)].

Medias con letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes, Diferencias Significativas p<0.05

En relación a la cantidad de proteínas en los alimentos seleccionados se obtuvo mediante el método Kjeldahl que se muestran en las tablas 3,4 y 5. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para los alimentos (AIC), el porcentaje de proteínas en estos alimentos se encontró entre 8.06% -15.10%, el alimento con mayor contenido fue el amaranto tostado (15.10±0.07%) y el menor contenido fue el cereal para desayuno (8.06±0.02). En el estudio realizado por Capriles y Col. (2008) reportaron cantidades de proteína para amaranto con distintos tratamientos térmicos que oscilaron entre 15.20% - 18.20%, valores que son similares para el amaranto tostado en este estudio (15.10±0.07%), para el caso del cereal para el desayuno la USDA reporta una cantidad de proteína de 7.50% similar a lo obtenido en este estudio. Para el caso de los alimentos ACC en la Tabla 4 se muestran valores entre 0.29% y 13.61%, el alimento con menor cantidad de proteína fue la maicena (0.49±0.00, por otro lado, Lovera y Col., (2017) reporto en estudios de distintos tipos de almidones aislados concentraciones de proteína alrededor de 0.08%- 0.55%, Delcour y col., (2010) reportaron concentraciones de

proteína para almidones de maíz en rangos de 0.04% y 0.45%, similar a lo encontrado en las muestras estudiadas. Para el caso de la tortilla de maíz se obtuvo 6.87 ± 0.08 %, que los resultados son similares a lo reportado por la USDA (5.70%) y Agama y col. (2004) (9.33% y 7.51%).

Tabla 5. Composición Química de otras Fuentes Alimenticias de Almidón.

Otras fuentes de almidón (% base húmeda)						
Alimento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	*Hidratos de carbono (%)
Frijoles cocidos molidos	54.62 ± 3.24^b	0.86 ± 0.00^a	7.21 ± 0.02^b	2.06 ± 0.02^b	11.28 ± 0.69^a	23.95 ± 3.94^b
Habas tostadas enchiladas	6.74 ± 0.86^c	0.85 ± 0.02^a	19.84 ± 0.19^a	11.45 ± 0.04^a	8.85 ± 0.021^b	52.26 ± 0.38^a
Puré de papa	75.17 ± 1.51^a	0.71 ± 0.04^b	5.17 ± 0.00^c	0.09 ± 0.01^c	0.19 ± 0.01^c	18.66 ± 1.57^b

Los valores son media \pm desviación estándar (n = 3); * Obtenidos por diferencia; Carbohidratos = [100 - (humedad + proteína + ceniza + lípido + fibra dietética)].

Medias con letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes; Diferencias Significativas $p < 0.05$.

En la tabla 3 se muestran la concentración de lípidos para los alimentos AIC en rangos de 1.25%, y 23.91%, las muestras de mayor contenido fueron las mantecadas marca conocida y sopa instantánea marca conocida (23.91 ± 1.35 y 16.14 ± 0.01), estos resultados son similares a lo reportado por la USDA (18.75% y 26.22%) y Marconi y col., (2014) reporto 18.6 %. En el caso de los alimentos ACC los contenidos de lípidos fueron de 0.33% y 4.95% y se muestra que el bolillo fue el de mayor concentración (4.95 ± 0.10), por otro lado Lovera y Col (2017) reportaron cantidades de 0.10% a 1.09% en almidones aislados de tubérculos, mientras que Delcour y col. (2010) indicaron en su estudio que la cantidad de lípidos en cereales se encuentra entre 0.01% y 1.3% similar a este estudio. El contenido de lípidos en otras fuentes de alimentos osciló de entre 0.09% y 11.45%, y

el de mayor contenido fue para las habas tostadas enchiladas ($11.45 \pm 0.04\%$), este parámetro es distinto para habas naturales (1.53%), ya que en el proceso de tostado se realiza en un medio lipídico, es decir, el tostado no es en seco, es con aceite, de tal manera, que el contenido de lípidos para la habas tostadas sea mayor en comparación con las naturales o normales. Para el caso del puré de papa el estudio realizado por Leonel y col., (2017) mostraron cantidades de lípidos en papa en la variedad Asterix (0.88% a 0.95%) similares a los reportados en el presente estudio (0.09%).

Los resultados de fibra bruta de AIC se muestran en la Tabla 3 donde se puede observar que lo obtenido en este estudio oscilo entre 0.38% y 4.17% , el alimento con mayor contenido fue la galleta habanera y amaranto tostado (4.17 ± 0.19 y $5.38 \pm 0.04\%$), Capriles y col., (2008) reportaron que el proceso de extrusión puede aumentar el contenido de fibra en las muestras de amaranto extruidas, por otro lado en el estudio realizado por Stewart y Zimmer (2017) reportaron un contenido de fibra en una galleta convencional similar a lo reportado en el presente estudio para galleta maría (0.55%). Los Alimentos ACC se muestran en la Tabla 4 y presentan rangos entre $0.92 \pm 0.11\%$ y $2.39 \pm 0.74\%$, siendo la maicena y el arroz cocido los de menor cantidad (0.92 ± 0.11 y 0.8 ± 0.28), los resultados obtenidos del contenido de fibra para el almidón de maíz y arroz cocido son consistentes con los reportados por la USDA (0.9%). La cantidad de carbohidratos para los alimentos AIC en la Tabla 3, muestra rangos entre $85.34 \pm 0.25\%$ y $55.67 \pm 0.59\%$, el alimento con mayor contenido de hidratos de carbono fue cereal para desayuno (85.34 ± 0.25), similar con lo reportado por la USDA (84%), el alimento con menor cantidad de carbohidratos fue la tortilla de trigo (55.67 ± 0.59), similar a lo reportado por la USDA entre $47.00-49.00\%$

En relación a los alimentos ACC los resultado obtenidos se muestran en la Tabla 4 en rangos entre 29.61% y 87.96% , por otro lado la USDA reporta cantidades de 91% para el almidón de maíz, esto debido a que existe un alto grado de pureza en comparación con los almidones de productos derivados de los cereales (Madhusudhan y Taranathan, 1995) El alimento que presento menor contenido fue el arroz cocido ($29.61 \pm 2.97\%$), similar a lo reportado por la USDA 28.59% de hidratos de carbono. Los alimentos

distintos a los cereales para el tipo de muestras seleccionadas entre 18.66 ± 1.57 a $52.26\pm 0.38\%$ y que de acuerdo con la USDA (18.85% y 58.00%) y los resultados reportados en el presente estudio fueron sumamente similares.

7.2 CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y MEDICIÓN DE CARBOHIDRATOS DIETÉTICOS

7.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FRACCIONES DE CARBOHIDRATOS DIETÉTICOS.

La cantidad y tipo de carbohidratos contenidos en los alimentos AIC analizados se muestran en la Tabla 6, los parámetros analizados son: glucosa libre GL, glucosa de rápida disponibilidad GRD, glucosa de lenta disponibilidad GLD y glucosa total GT. El contenido de glucosa libre para los alimentos AIC oscilo entre 1.59 y 25.53 g/100g y los alimentos con mayor cantidad de glucosa libre fueron las mantecadas (25.53 ± 1.76) seguidas de galletas marías (22.75 ± 0.57); por otro lado el alimento con menor contenido de GL fue la sopa instantánea (1.59 ± 0.03), estos tres productos tienen como similitud que su materia prima que es el trigo, sin embargo el proceso de elaboración por el cual pasan hace que estas diferencias se muestren de manera muy notoria ya que las pastas normalmente presentan estructuras compactas durante el proceso que es la extracción, en cambio las mantecadas y galletas cuya materia prima es la harina de trigo se agregan a la formulación del producto azúcares libres (sacarosa) que se refleja en la cantidad glucosa libre cuantificada, de manera similar sucede con todos los tipos de galletas comercializadas en rangos de 12.62 a 22.75% similar al estudio reportado por Meynier y col (2015) con contenidos de glucosa libre en galletas entre 3.1 a 18.8%. En este caso, en el estudio realizado por Meynier y col (2015) reportaron que el contenido de glucosa libre en los alimentos a base de cereal analizados se mostró entre 2.1-15%.

La cantidad de GL para los alimentos ACC mostraron cantidades entre 4.28 y 7.69%, el alimento con mayor cantidad de GL fue el arroz cocido (7.69 ± 0.00), en comparación con el de menor cantidad que fue el bolillo (4.28 ± 0.08), esto resultados son similares a los

reportados por Meynier y col (2015). Los alimentos distintos a los cereales se encontraron cantidades entre 3.12 y 6.48 %, para el tipo de alimentos considerados. Las posibles diferencias con otros estudios son debidas a la utilización de invertasa en la determinación de GL en el presente estudio. Englyst y col. (1999,2003) reportaron que las fracciones de glucosa de rápida disponibilidad y de lenta disponibilidad son utilizadas como un estimador de la respuesta glicémica puesto que se mostró una fuerte correlación entre estos parámetros con algunos estudios *in vivo*.

Tabla 6. Caracterización de carbohidratos en alimentos industrializados a base de cereal

Alimentos industrializados (% base húmeda, como se consumen)				
Alimento	GL (%)	GRD (%)	GLD (%)	GT (%)
Amaranto	5.60±0.38 ^f	10.12±0.00 ^h	24.31±0.00 ^f	61.83±0.00 ^e
Tostado				
Cereal (corn flakes)	17.15±0.01 ^c	38.94±0.01 ^c	34.68±0.02 ^a	78.39±0.02 ^a
Galleta habanera	12.62±0.12 ^d	33.69±0.02 ^d	29.69±0.02 ^{cd}	69.02±0.14 ^c
Galleta maría	22.75±0.57 ^b	49.04±0.01 ^a	14.56±0.03 ^g	65.37±0.06 ^d
Hojuelas de avena	8.00±0.07 ^e	29.50±0.00 ^g	37.61±0.02 ^e	70.44±0.01 ^b
Mantecadas (Bimbo)	25.53±1.76 ^a	43.73±0.04 ^b	25.93±3.11 ^b	65.39±0.21 ^d
Sopa instantánea (Maruchan)	1.59±0.03 ^g	29.03±0.02 ^f	23.60±0.11 ^{cd}	56.41±0.01 ^g
Tortilla de trigo (Tía Rosa)	7.71±0.00 ^e	23.55±0.08 ^e	31.90±0.07 ^c	57.40±0.28 ^f

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3).GL: Glucosa libre; GRD: Glucosa de rápida disponibilidad; GLD: Glucosa de lenta disponibilidad; GT: Glucosa Total. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa (p<0.05).

En la Tabla 6 se muestra el contenido de GRD para los alimentos AIC, para este caso la cantidad de GRD osciló entre 10.12 y 49.04%, el cual, muestra el mayor contenido en las galletas marías (49.04±0.01%), en comparación con el de menor contenido que fue el amaranto tostado (10.12±0.00). Englyst y col. (2007) en su estudio reportaron cantidades similares de GRD para espagueti (18.1%) a este estudio, por otro lado, Sharavathy y col., (2001) reportó contenido del 25.1% de GRD en arroz cocido, similar a lo reportado en este estudio (21.80±0.09%). Las diferencias que se pueden encontrar con relación a lo

reportado en la literatura para el caso del cereal para desayuno y pan blanco, puede ser debido al tiempo de vida de anaquel de ambos productos, pues el cereal se obtuvo con tres meses de antelación y se utilizó para otras pruebas por lo cual posiblemente durante los procesos anteriores hubo una absorción de agua, y en el caso del pan blanco (bolillo) se obtuvo en un establecimiento local, sugiere que probablemente no era un producto elaborado el mismo día de la compra, se considera que el envejecimiento de este alimento influye en los resultados obtenidos, de tal manera que el proceso de retrogradación del almidón en el bolillo es una condicionante en la diferencia de la obtención del GRD y GDL en este producto (Srichuwong y Jane 2007).

Tabla 7. Caracterización de carbohidratos en alimentos preparados de manera convencional a base de cereal

Alimentos artesanales (% base húmeda, como se consumen)				
Alimento	GL (%)	GRD (%)	GLD (%)	GT (%)
Atole preparado	5.04±0.13 ^b	50.51±0.15 ^a	43.18±1.00 ^a	95.85±0.36 ^a
Arroz cocido	7.69±0.00 ^a	21.80±0.09 ^b	16.15±0.00 ^d	34.82±0.02 ^d
Bolillo	4.28±0.08 ^c	18.50±0.00 ^c	26.23±0.00 ^c	57.28±0.00 ^b
Tortilla de maíz	7.64±0.00 ^a	16.54±0.00 ^d	33.91±0.04 ^b	44.31±0.10 ^c

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3).GL: Glucosa libre; GRD: Glucosa de rápida disponibilidad; GLD: Glucosa de lenta disponibilidad; GT: Glucosa Total. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa (p<0.05).

Se denomina glucosa total a la cantidad de carbohidratos que contiene el alimento en su composición este parámetro apoya y confirma la cantidad de hidratos de carbono que presenta cada alimento, en relación con los métodos reportados por la AOAC, que son determinados por diferencia con respecto a los demás componentes en el análisis químico proximal del alimento. En este sentido, los resultados obtenidos para el grupo de alimentos AIC muestran un rango de 56.41% al 78.39%, el cereal para el desayuno es mayor (78.39±0.02) y la sopa instantánea (maruchan) el menor (56.41±0.01). En el estudio realizado por Englyst y col. (1997) reportó para el cereal de desayuno marca conocida 82.3%, similar a lo reportado en este estudio (78.39±0.02) considerando que las diferencias entre los resultados no son estadísticamente significativas. Para el caso

de la sopa instantánea comercial la USDA reporta en promedio un 60.94% para este tipo de productos en contraste a lo obtenido en este estudio (56.41 ± 0.01) el cual, no se considera estadísticamente significativo. En el caso de los alimentos ACC se obtuvo un rango del 34.82% a 95.85%, el alimento con mayor cantidad de GT fue el atole preparado (95.85%), en comparación con el de menor contenido que fue el arroz cocido (34.82%), finalmente la cantidad de GT en alimentos distintos a los cereales se obtuvieron cantidades entre 57.00 ± 0.01 % para habas tostadas y para el puré de papa 17.63 ± 0.01 %, estos datos se asemejan con lo reportado por la USDA 58.29% y 17.21% respectivamente.

Tabla 8. Caracterización de Carbohidratos en Otras Fuentes de Almidón

Otras fuentes de almidón (% base húmeda, como se consumen)				
Alimento	GL (%)	GRD (%)	GLD (mg/g)	GT (%)
Frijoles cocidos molidos	6.48 ± 0.38^a	11.49 ± 0.02^b	14.32 ± 0.06^a	24.17 ± 0.01^b
Habas tostadas enchiladas	3.64 ± 0.06^b	10.98 ± 0.00^b	18.32 ± 0.00^b	57.00 ± 0.01^a
Puré de papa	3.12 ± 0.14^b	13.58 ± 0.29^a	8.82 ± 0.34^c	17.63 ± 0.01^c

Los valores son media \pm desviación estándar (n = 3). GL: Glucosa libre; GRD: Glucosa de rápida disponibilidad; GLD: Glucosa de lenta disponibilidad; GT: Glucosa Total. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa ($p < 0.05$).

7.2.2 CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE LAS FRACCIONES DE ALMIDÓN EN LOS ALIMENTOS

En las Tablas 9,10,11 se muestra la caracterización de las diferentes fracciones nutrimentales del almidón contenido en los Alimentos AIC y ACC y otras fuentes diferentes a los cereales, como son almidón de rápida digestibilidad ADR, almidón de lenta digestibilidad ALD y almidón resistente AR; Almidón total y Almidón Digerible, además del Índice de Digestibilidad ID. El almidón comúnmente se encuentra en semillas, raíces, tubérculos, este componente es considerado como la principal fuente de almacenamiento de carbohidratos en plantas superiores y sus frutos (Magallanes-Cruz y col., 2017).

Tabla 9. Caracterización de las fracciones de almidón en alimentos industrializados a base de cereal

Alimentos industrializados (% base húmeda, como se consumen)						
Alimento	ARD (%)	ALD (%)	AT (%)	AR (%)	AD (%)	ID (%)
Amaranto Tostado	10.03±0.62 ^f	33.27±0.45 ^a	55.85±0.55 ^d	14.69±1.08 ^a	42.31±1.08 ^f	76.21±0.88 ^e
Cereal (corn flakes)	35.59±0.00 ^b	30.74±0.04 ^b	70.30±0.02 ^a	9.67±0.02 ^b	65.33±0.02 ^a	92.59±0.00 ^d
Galleta habanera	31.74±0.16 ^d	26.68±0.10 ^c	62.00±0.00 ^b	5.44±0.12 ^c	57.42±0.07 ^c	92.74±0.17 ^d
Galleta maría	44.69±0.56 ^a	12.18±0.49 ^f	58.67±0.75 ^c	4.13±0.07 ^d	56.86±0.07 ^c	96.68±0.57 ^a
Hojuelas de avena	26.01±0.11 ^e	33.40±0.06 ^a	63.77±0.09 ^b	5.58±0.17 ^c	59.41±0.17 ^b	92.01±0.11 ^d
Mantecadas (Bimbo)	34.60±2.53 ^c	20.62±0.95 ^e	54.86±2.30 ^d	2.46±1.73 ^e	51.53±1.73 ^d	95.60±2.53 ^b
Sopa instantánea (Maruchan)	26.45±0.00 ^e	20.10±0.25 ^e	52.46±0.05 ^e	2.44±0.26 ^e	48.55±0.26 ^e	94.45±0.00 ^c
Tortilla de trigo (Tía Rosa)	31.88±0.02 ^d	22.68±0.43 ^d	51.25±0.06 ^e	2.43±0.45 ^e	50.56±0.45 ^d	94.88±0.02 ^c

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3). ARD: Almidón de rápida digestibilidad; ALD: Almidón de lenta digestibilidad; AT: Almidón total (porcentaje de almidón con respecto a los hidratos de carbono); AR: Almidón resistente; AD: Almidón digerible; ID: Índice de digestibilidad. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa ($p < 0.05$).

El almidón se clasifica nutricionalmente de acuerdo a su grado de digestión velocidad de asimilación resistente AR este puede ser un estimador en la respuesta del consumo de alimentos, estos parámetros pueden verse modificados por factores extrínsecos e intrínsecos (Sharavaty y col., 2001). El proceso de la digestión del almidón no es algo simple y sencillo como se consideraba anteriormente, pues depende de diversos factores como son condiciones de hidrólisis, actividad enzimática, entre otros (Dona y col., 2010; Romano y col., 2016).

El ARD se define como la fracción de almidón que se digiere durante los primeros 20 minutos de digestión, esta fracción es rápida y completamente digerida en el intestino del ser humano (Misra y Monro 2009; Miao, y col., 2009; Kaur y col. 2015). En las Tablas 9, 10,11 se muestran los alimentos con mayor cantidad de ARD por ejemplo para AIC, los alimentos con mayor cantidad de ARD fueron galletas marías (44.69 ± 0.56 %), mantecadas (34.60 ± 2.53) y cereal hojuelado de maíz (corn flakes) (35.59 ± 0.00), y los alimentos con menor ARD fueron amaranto tostado (10.03 ± 0.62). Para el grupo de alimentos ACC los que obtuvieron mayor cantidad de ARD fueron el atole (38.13 ± 0.14) seguido por el bolillo (19.94 ± 0.10) y arroz cocido (17.99 ± 0.33) y la tortilla de maíz fue el alimento que menor contenido de ARD mostró (14.27 ± 0.03). En alimentos distintos a los cereales, el de mayor contenido fue el puré de papa (59.34 ± 0.94) y el menor los frijoles cocidos (12.07 ± 1.82). El reporte de investigación por Kaur y col. (2015) y Rosin y col. (2002) presentaron valores de contenido de ADR en frijoles (14.4% y 11.42 %) similares a lo reportado en este estudio. En el reporte por Sajilata y col. (2006) presento valores para el atole de 40.13% y para mantecadas de 45.60%, similar a lo reportado por este estudio (38.13 ± 0.14 y 34.60 ± 2.53) estas diferencias pueden deberse a la cantidad de grasa ya que la presencia de esta nutriente afecta la digestibilidad del almidón pues inhibiendo la actividad de la α -amilasa hasta en un 35% (Shing y col., 2010). Rosin y col. (2002) reportaron una cantidad similar de ARD con un 20.69% en pan blanco y en el presente estudio se encontró un 24.94% en la digestión *in vitro* del bolillo tal y como se consume. El ALD es una de las partes funcionales de los almidones más importantes debido a que en algunos estudios se ha reportado que puede tener un efecto benéfico a la salud al ser humano principalmente en la respuesta glicémica pues a diferencia del ARD este tiene una respuesta lenta y sostenida mientras que el ARD tiene una respuesta rápida (Lehmann y Robin 2007).

En la tabla 9 se muestra la cantidad de ALD para el grupo de alimentos AIC, los alimentos con mayor contenido fueron hojuelas de avena (33.40 ± 0.06), amaranto tostado (33.27 ± 0.45) y cereal hojuelado de maíz para el desayuno (30.74 ± 0.04) y lo de menor cantidad fue la galleta María (12.18 ± 0.49).

Tabla 10. Caracterización de las fracciones de almidón en alimentos preparados de manera convencional a base de cereal

Alimentos preparados de manera Convencional (% base húmeda, como se consumen)						
Alimento	ARD (%)	ALD (%)	AT (%)	AR (%)	AD (%)	ID (%)
Atole preparado	38.13±0.14 ^b	51.52±1.12 ^b	90.00±0.00 ^a	1.33±0.96 ^c	87.66±0.96 ^b	96.13±0.15 ^b
Arroz cocido	17.99±0.33 ^a	12.61±0.04 ^c	31.11±0.02 ^d	0.61±0.28 ^d	27.49±0.28 ^a	88.05±0.41 ^a
Bolillo	19.94±0.10 ^c	26.65±0.10 ^d	51.27±0.13 ^b	4.40±0.22 ^a	47.80±0.07 ^c	92.94±0.11 ^c
Tortilla de maíz	14.27±0.03 ^d	29.68±0.28 ^a	39.47±0.04 ^c	3.08±0.36 ^b	35.18±0.74 ^b	89.27±0.03 ^d

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3). ARD: Almidón de rápida digestibilidad; ALD: Almidón de lenta digestibilidad; AT: Almidón total (porcentaje de almidón con respecto a los hidratos de carbono); AR: Almidón resistente; AD: Almidón digerible; ID: Índice de digestibilidad. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa (p<0.05).

En el grupo de alimentos ACC el de mayor contenido de ALD fue el atole (51.52±1.12) y el de menor fue el arroz cocido (12.61±0.04). En el estudio realizado por Rosin y col. (2002) reporto una cantidad de 32.51% de ALD para pan blanco, similar a los reportados en el presente estudio (26.65±0.10), un alimento a considerar dentro del estudio es el atole de maíz, el cual mostró un contenido de ALD del 51.52%, similar a lo reportado por el grupo de Sajilata y Col. (2006) con un contenido de 59% de ALD. El contenido de ALD en frijoles y habas enchiladas mostraron cantidades de ALD de 60.55±1.18 y 16.27±0.10, esto es similar a lo reportado por otros estudios, donde se demuestra que las leguminosas presentan mayor cantidad de ALD en comparación con los alimentos derivados de los cereales. La deferencia entre los frijoles molidos y las habas enchiladas en este estudio puede deberse a los diferentes grados de gelatinización del almidón en ambos alimentos mientras que en el haba es un proceso de tostado en medio lipídico o en seco, los frijoles se evaluaron cocidos y molidos, la diferencia en las características estructurales y físicas en ambos alimentos influyen en cómo será asimilado el almidón que estos contienen, la gelatinización es un proceso bioquímico que se lleva a cabo cuando el almidón se

encuentra con suficiente agua y la absorción de esta es por acción directa del calor, ya que el almidón no es soluble a temperatura ambiente, sin embargo este proceso es reversible hasta antes que se alcance la temperatura de gelatinización, una vez pasado este punto, el cambio a un estado amorfo permite mayor paso de las enzimas al interior del granulo lo que puede explicar las diferencias entre estos 2 alimentos en este estudio (Zhang y Jin, 2011; Neder-Suaréz y col., 2016).

Tabla 11. Caracterización de las Fracciones de Almidón otros Alimentos Fuentes de Almidón

Otros alimentos fuentes de almidón (% base húmeda, como se consumen)						
Alimento	ARD (%)	ALD (%)	AT (%)	AR (%)	AD (%)	ID
Frijoles cocidos molidos	12.07±1.82 ^b	60.55±1.18 ^a	65.85±1.46 ^c	27.38±3.01 ^b	43.42±4.43 ^a	28.33±1.41 ^b
Habas tostadas enchiladas	13.74±0.09 ^b	16.27±0.10 ^c	84.24±0.10 ^b	69.98±0.19 ^a	30.02±0.19 ^a	13.74±0.09 ^c
Puré de papa	59.34±0.94 ^a	32.34±1.16 ^b	90.00±0.00 ^a	1.31±2.11 ^c	91.68±2.11 ^a	59.34±0.94 ^a

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3). ARD: Almidón de rápida digestibilidad; ALD: Almidón de lenta digestibilidad; AT: Almidón total (porcentaje de almidón con respecto a los hidratos de carbono); AR: Almidón resistente; AD: Almidón digerible; ID: Índice de digestibilidad. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa (p<0.05).

El AR es una fracción en los almidones que se encuentra presente de manera natural en alimentos con alto contenido de almidón, la resistencia a la hidrólisis del almidón se ve influenciada por la proporción de amilosa/amilopectina, debido a que la amilosa es lentamente digerida, mientras que la amilopectina es rápidamente digerida (Raingond y col, 2014). La fracción de AR escapa de la digestión en el intestino delgado, sin embargo esta fracción es fermentada por la flora intestinal del colon, el AR tiene beneficios en la salud humana por ejemplo la fermentación de este por las bacterias tiene como producto final ácidos grasos de cadena corta, así mismo tiene funciones similares a la fibra (Dona y col. 2010), algunos usos que se le dan a esta fracción debido a los beneficios que provee son su uso en el tratamiento y prevención de enfermedades como diabetes, obesidad y cánceres de colon y recto (Topping y col. 2008).

En la Tabla 9 se puede observar que los alimentos AIC con mayor cantidad de AR fueron el amaranto tostado (14.69 ± 1.08) y el Cereal de maíz para el desayuno (9.67 ± 0.02) y lo de menor contenido fueron la sopa instantánea (2.44 ± 0.26), tortilla de trigo (2.43 ± 0.45), para el caso de los alimentos ACC el de mayor cantidad fue el arroz cocido (0.61 ± 0.28) y el atole (1.33 ± 0.96), del grupo de alimentos distintos a los cereales el que mostró mayor cantidad de AR fue las habas enchiladas $69.98\pm 0.19\%$, y el alimento de menor contenido fue el puré de papa (1.31 ± 2.11).

En el estudio realizado por Dongao y Ogawa (2016) mencionan que la cantidad de almidón resistente en el arroz cocido es relativamente baja en comparación con otros productos derivados de los cereales y leguminosas. Por otro lado de acuerdo con Sandhu y Lim (2008) el contenido de AR en leguminosas oscila entre 40.3%-78.9%, en comparación en este estudio que fue en leguminosas como las habas enchiladas se obtuvo un contenido de AR de 69.98 ± 0.19 y en los frijoles cocidos y molidos de 27.38%, esta diferencia es debida por el distinto grado de gelatinización que presentaban los frijoles cocidos en comparación con las habas tostadas, debido a que el grado de gelatinización del almidón juega un papel importante en la posible respuesta que tendrá el alimento, ya que el contenido de agua es un factor fundamental para determinar el grado de gelatinización del almidón, cuyos el contenido de agua en los frijoles cocidos y molidos fue de 54.62% y para las habas tostadas $6.74\pm 0.86\%$, esta diferencia es un factor determinante en la caracterización nutrimental del almidón.

En este sentido, en la sopa instantánea presentó una cantidad considerable de AR (2.44 ± 0.26), esto se puede relacionar con la alta cantidad de lípidos que contiene, pues en estudios recientes se ha reportado que los alimentos con alto contenido de lípidos el almidón puede formar complejos de amilosa-lípido, que son complejos no hidrolizables por las enzimas digestivas y es considerado como almidón resistente tipo V (Raigond y col., 2014), la adición de lípidos en los alimentos no solo forma complejos de lípidos-amilosa, además modifica la capacidad de sus propiedades funcionales y reduce la solubilidad de este compuesto en agua, así como también las propiedades reológicas de

las pastas, la capacidad de absorción de agua, la temperatura de gelatinización aumenta y la actividad enzimática en el granulo es claramente reducida (Copeland y col., 2009; Shing y col. 2010).

Englyst y col. (2007) reportaron cantidades de AR en arroz cocido de 0.2%, en este estudio fue de 0.61 ± 0.28 %, y en el caso del pan blanco reportaron 3.06%, en este estudio el pan blanco fue el bolillo tradicional con un contenido de AR del 4.40 ± 0.22 %. Las diferencias se pueden atribuir a que son 2 tipos de productos distintos, al tiempo de vida de anaquel del bolillo que determina el grado de envejecimiento y que implica un nivel de retrogradación del almidón contenido en el alimento. En este sentido el grupo de Pérez y col. (2013) reportaron que la cantidad de AR en alimentos de cereales sometidos a distintas condiciones y temperaturas de almacenamiento se ve influenciada por la temperatura de almacenamiento, el grado de gelatinización del almidón y el nivel de retrogradación de la amilosa.

7.3 ESTIMACIÓN DE LA TAZA DE ASIMILACION MEDIANTE UNA CINÉTICA ENZIMATICA *IN VITRO*

7.3.1 DIGESTIBILIDAD DE LOS CARBOHIDRATOS DIETARIOS

El consumo de carbohidratos está sumamente vinculado con el requerimiento energético que el organismo necesita. Las características bioquímicas y estructurales del almidón, los factores extrínsecos del alimento determinan la forma y la velocidad de su digestibilidad e impactan su nivel de asimilación (Seri y col., 2017).

Las Figuras 5, 6,7, se muestran las cinéticas de hidrolisis que caracterizan la asimilación del almidón en los alimentos en estudio, como son atole de maíz, hojuelas de avena, frijoles, puré de papa, galletas marías y tortilla de maíz y el pan blanco que es el alimento de referencia. Los patrones de las cinéticas de los alimentos del atole (almidón de maíz), frijoles cocidos, puré de papa y tortilla de maíz se caracterizan por una liberación del producto de la hidrolisis (glucosa) en corto tiempo (30 minutos) y alcanzan un punto asintótico a los 60 minutos, posteriormente su liberación es de manera gradual y que se

mantiene el comportamiento asintótico en comparación como alimentos como hojuelas de avena y galletas marías.

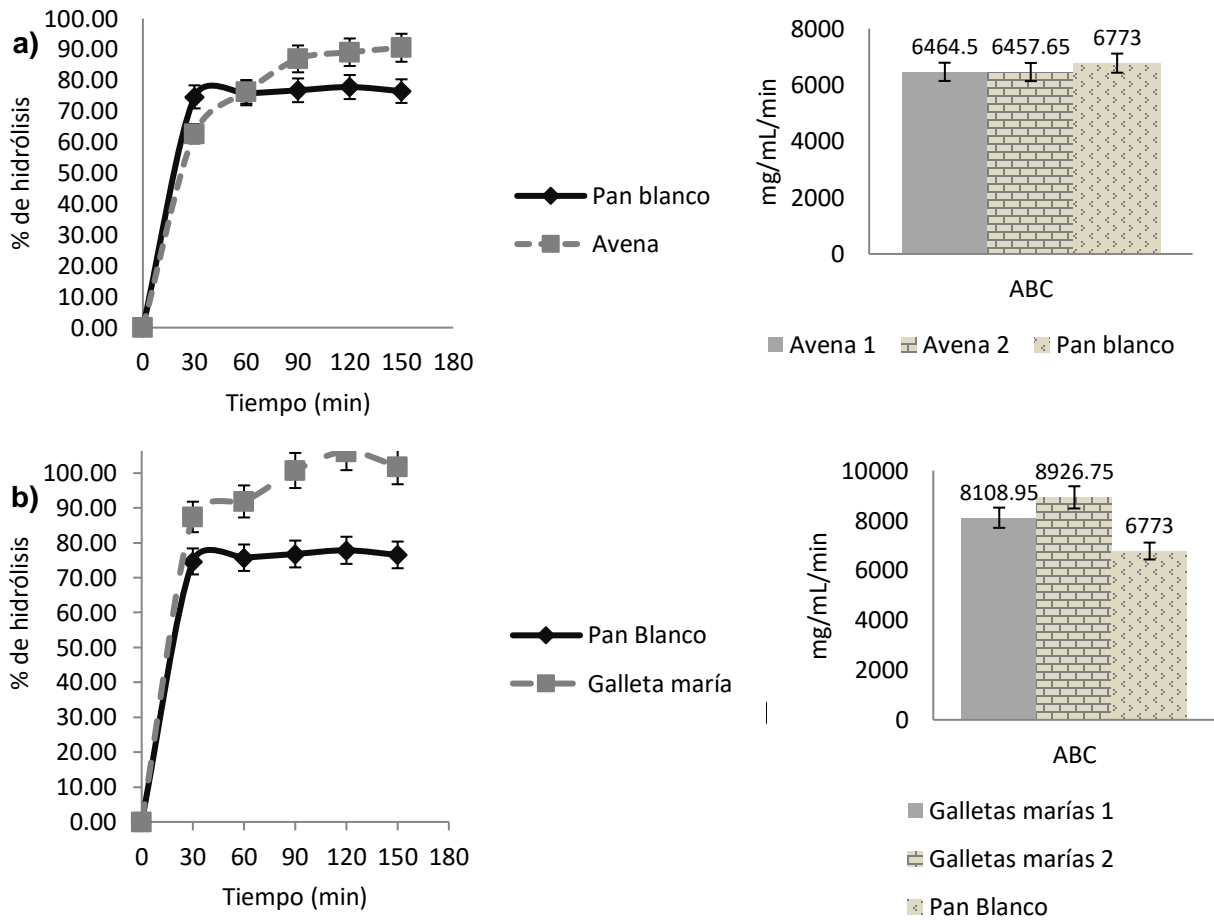


Figura 5 Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de AIC donde **a)** cinética de hidrólisis y ABC de avena, **b)** cinética de hidrólisis y ABC de galletas marías.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de dos alimentos de AIC, estos muestran un comportamiento similar entre sí, que alcanzan un comportamiento asintótico aproximadamente al minuto 90 y posteriormente mantienen una tendencia asintótica, hasta el minuto 150 ambas muestras casi alcanzan el 100% de hidrolisis.

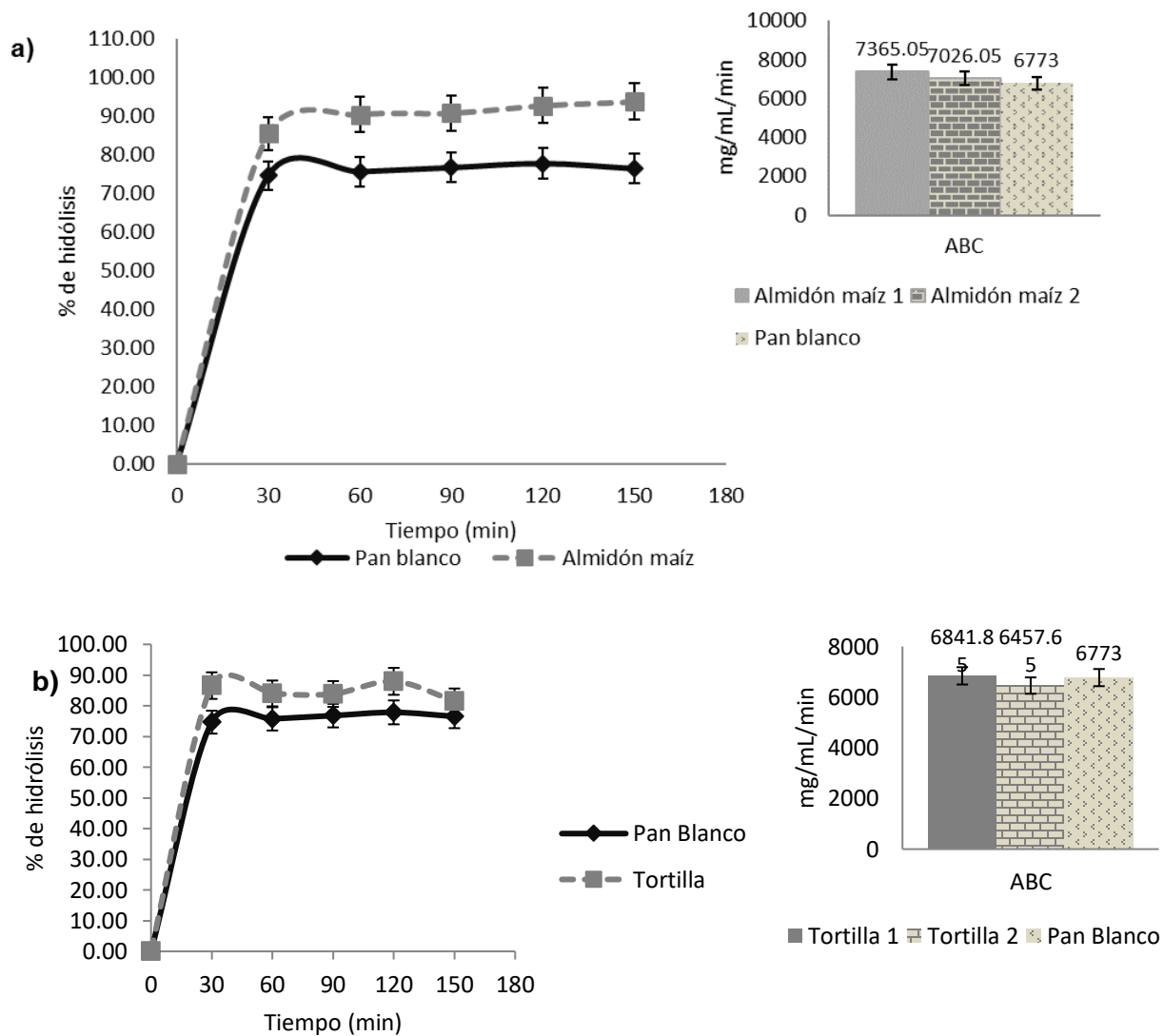


Figura 6 Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de ACC donde **a)** cinética de hidrólisis y ABC de atole de maíz, **b)** cinética de hidrólisis y ABC de tortillas de maíz.

El patrón de comportamiento de la cinética de hidrólisis puede ser un indicador de la posible respuesta glucémica que el organismo muestra al consumir cualquier alimento, ya que los métodos *in vitro* han de mostrarse un predictor de la posible respuesta glucémica con los procedimientos *in vivo*. Estos métodos *in vitro* simulan las condiciones digestivas utilizando complejos enzimáticos y condiciones similares a los que se

presentan en el organismo (Jayakody y Hoover, 2002; Genkina y col., 2009; Araya, y col. 2013). En el estudio reportado por Donlao y Ogawa (2016) se evaluó el grado de hidrólisis en muestras de arroz tratadas a diferentes condiciones de secado, alcanzando niveles de hidrólisis de 80 y 100% similares con las muestras de arroz en este estudio, mostrando un comportamiento inicial de liberación de altas concentraciones del producto en corto tiempo.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de las muestras de alimentos del grupo ACC que presentan comportamientos de tasas de velocidad enzimáticas similares entre ellas y con el alimento de referencia (pan blanco).

De acuerdo con Wang y col., (2012) la tendencia de velocidad enzimática de hidrólisis se debe a que la enzima ejerce su acción inicialmente en la parte amorfa del granulo de almidón de tal manera que la liberación del producto es alta en corto tiempo, en comparación con las etapas de velocidades lentas, después de concluir la hidrólisis de la parte amorfa, la enzima prosigue con la región amorfa/cristalina o totalmente cristalina de tal manera que la velocidad de liberación de producto es lenta y en concentraciones menores y se requiere mayor tiempo para obtener toda la glucosa del almidón contenido en el alimento (Jayasinghe y col., 2013). Además de la forma de acción de la amilasa y amiloglicosidasa en las regiones amorfas y cristalinas del granulo, el tamaño del granulo también ejerce una influencia en el nivel de hidrólisis del almidón, en gránulos pequeños la acción enzimática es más rápida como es el caso de los gránulos de almidón que contiene el amaranto (1 a 5 μm), en comparación con los gránulos de mayor tamaño como es el caso de los gránulos que contienen las leguminosas (20 y 30 μm), además de otros aspectos bioquímicos que presenta el granulo como son el grado de porosidad en la superficie, relación de amilosa/amilopectina, grado de empaquetamiento de las dobles hélices de los polímeros, nivel de ramificación de la amilopectina, la cantidad de complejos lípidos-amilosa presentes, todos estas características en los gránulos determinan el nivel de asimilación y su respuesta glucémica en el organismo independientemente del origen o la fuente biológica que provengan (Jane y col., 1997; Aston y col., 2008; Wang y col., 2008; Espinosa-Solis y col., 2011; Wang y col., 2012).

En la Figura 7 se muestran los comportamientos de alimentos diferentes a los cereales, que es el caso del frijol como leguminosa y la papa como tubérculo.

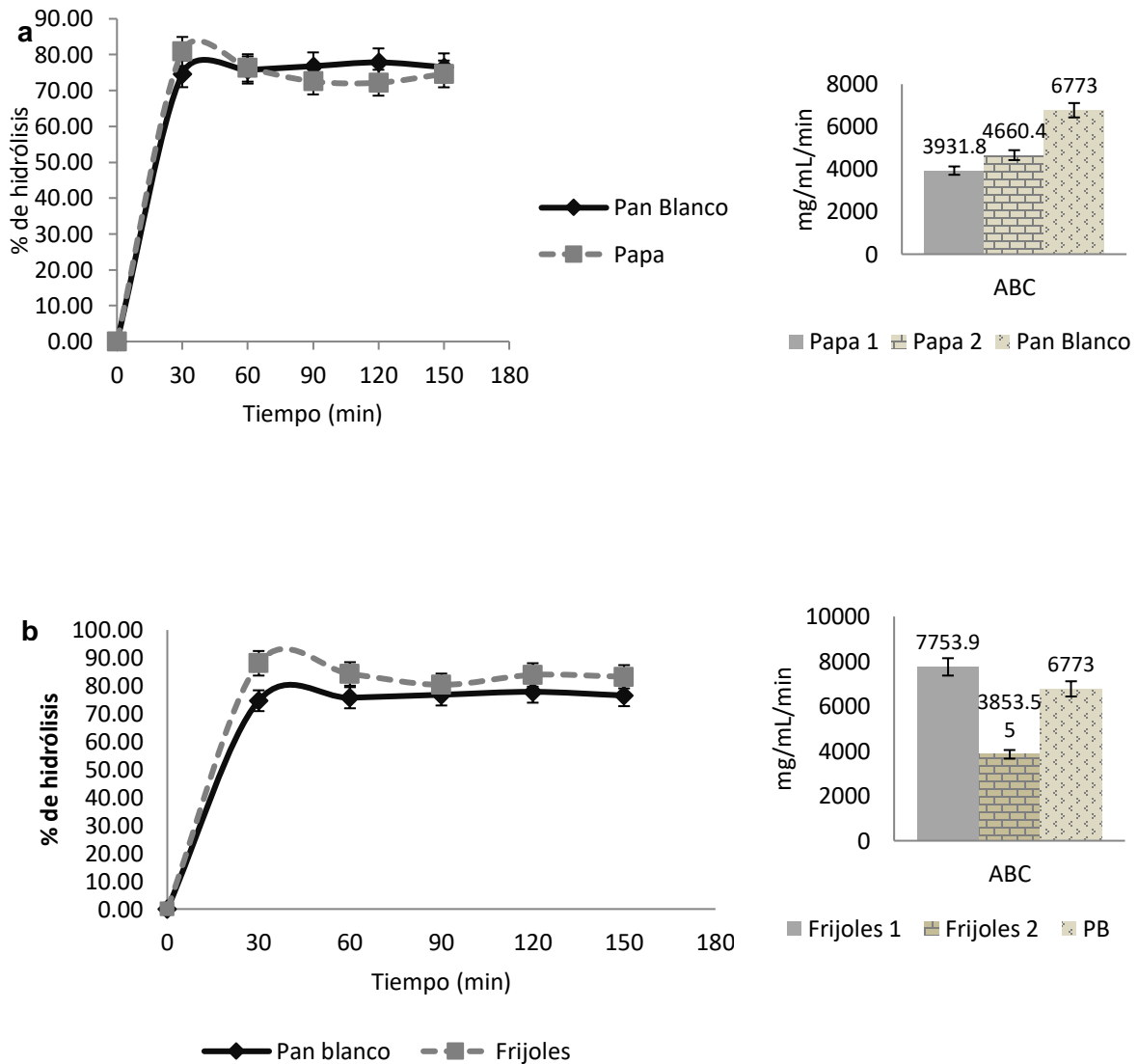


Figura 7 Patrones de hidrólisis y área bajo la curva de AIC donde **a)** cinética de hidrólisis y ABC de puré de papa, **b)** cinética de hidrólisis y ABC de frijoles.

7.3.2 CARACTERIZACIÓN CINÉTICA DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO*

En la Tabla 12 se muestra la caracterización de las constantes cinéticas a partir de las curvas del comportamiento cinético de los alimentos seleccionados, cuyos parámetros son: C_{∞} concentración de equilibrio, k_a , constante de actividad cinética, ABC área bajo la curva, (IH), índice de hidrólisis, IG_e índice glucémico estimado, CG carga glucémica. El alimento con una concentración de equilibrio mayor C_{∞} fue las galletas marías (106.14 ± 1.13 %) y la de menor concentración fue la papa (74.62 ± 2.22 %), en relación a las constantes cinéticas k_a , la mayor fue la tortilla de maíz (0.062 ± 0.01) y la menor fue la avena (0.036 ± 0.01), para el caso del ABC, el alimento que mayor contenido de glucosa libero fue las galletas marías (8517.85 ± 578.27 mg*min/mL) mientras que el alimento con menor ABC fueron las papas cocidas (4296.10 ± 515 mg*min/mL), en relación al índice de hidrólisis y el índice glucémico estimado están íntimamente relacionados ya que para la obtención del IG_e es necesario primero obtener el IH. El IG_e considerado como la máxima cantidad de glucosa liberada del alimento, y se ha considerado junto con la carga glucémica estimadores indirectos para predecir el tipo de respuesta postprandial que se genera al consumo del alimento (Parada y Aguilera, 2011).

Tabla 12. Caracterización Cinética *in vitro*.

Alimento	C_{∞} (%) ^a	Ka	ABC ^b (mg*min/mL)	IH ^c	IG _e ^d	CG _e ^e
Almidón de maíz	93.80±1.83 ^b	0.055±0.0 ^a	7195.55±239.70 ^{ab}	106.22±1.23 ^{ab}	110.14±0.76 ^{ab}	110.92±0.35 ^a
Avena	90.55±2.10 ^{bc}	0.036±0.01 ^a	6461.07±4.84 ^{ab}	99.18±7.31 ^{ab}	103.48±1.23 ^{ab}	72.75±0.81 ^b
Frijol	83.25±2.19 ^{cd}	0.052±0.04 ^a	5803.72±2757.96 ^{ab}	85.27±38.87 ^{ab}	97.21±23.97 ^{ab}	27.03±6.49 ^d
Galletas marías	106.14±1.13 ^a	0.055±0.00 ^a	8517.85±578.27 ^a	125.88±11.26 ^a	122.27±6.94 ^a	71.26±3.28 ^b
Papa	74.62±2.22 ^e	0.035±0.00 ^a	4296.10±515.19 ^b	63.53±8.98 ^b	83.80±5.53 ^b	18.04±1.20 ^e
Tortilla de maíz	81.55±5.92 ^{de}	0.062±0.01 ^a	6649.75±271.67 ^{ab}	98.16±1.88 ^{ab}	105.17±1.15 ^{ab}	48.49±0.65 ^c

Los valores son media ± desviación estándar (n = 3). ^a C_{∞} y k se calcularon con la ecuación $C=C_{\infty}(1-e^{-kt})$ ^b ABC se calculó como $ABC_{0^{\infty}}=C_{0^{\infty}}(t-t_0) - C_{\infty}/k(1-e^{-kt})$ ^c El IH se calculó como $IH=ABC \text{ almidón}/ABC \text{ pan blanco} * 100$ ^d El IG_e se estimó mediante la ecuación $IG_e=39.71+0.549 * IH$ ^e La CG se estimó como el $(IG * CT)/100$. Las diferentes letras entre los alimentos muestran una diferencia significativa (p<0.05).

Se ha reportado estudios con alimentos a partir de leguminosas en *in vivo* muestran comportamientos de IG_e más bajos que los de alimentos como cereales y tubérculos, sin embargo el comportamiento en nuestro estudio mostro comportamientos cinéticos similares a los productos de cereales, lo cual, puede atribuirse a las condiciones de preparación del alimento y el estado de gelatinización del almidón, que modifica y aumenta la digestibilidad del mismo, ya que la gelatinización es la disrupción de los gránulos que genera mayor biodisponibilidad del almidón, generando una matriz amorfa que favorece la acción de la enzimas amilolítica (García-Alonso y col., 1998; Noda y col., 2005; Shandhu y Lim, 2008).

En el estudio realizado por Sandhu y Lim, (2008) reportan que el IG_e de las leguminosas en bruto se obtuvieron valores entre 44.2 y 50.7, que difiere con lo obtenido en este estudio en muestras de frijol cocido y molido IG_e (97.21), estas diferencias se pueden deber a las condiciones de preparación y las características físicas de la matriz alimenticia que favorecen el acceso a la acción de las enzimas, ya que los frijoles cocidos y molidos genera una mayor superficie de contacto y esto favorece la acción de las enzimas sobre la matriz del alimento, en comparación cuando el almidón está dentro de la célula vegetal (frijoles enteros), el agua disponible puede ser limitante porque las células contienen menos agua de la necesaria para generar la gelatinización completa, esto produce distintos grados de gelatinización, generando diferencias entre un estudio y otro aunque sea la mismo tipo de alimento (Kim, Y col. 2008), Además, otros factores como las características estructurales de los alimentos (matriz amorfa, compacta, cristalina etc.) el tamaño de partícula, el tipo de cocción y preparación o procesamiento (enlatados, extruidos, pastas, etc.) generan o favorecen interacción del almidón con otros componentes como los lípidos o proteínas formando complejos no hidrolizables por las enzimas que inhiben o limitan la acción de estas en el almidón contenido en el alimento (Zhang y Hamaker, 2003, 2005; Cottrell, Duffus, Paterson, y Mackay, 1995; Noda y col., 2008)

En un estudio reportado por (Meynier y col., 2015) el IG_e para productos de panadería es mayor a 70, lo cual concuerda con lo reportado para galletas marías en este estudio (122.27 ± 6.94), además, este grupo de investigación reporta que el IG de estos alimentos se puede afectar por las características físicas de estos alimentos sometidos a diferentes tratamientos como la extracción que reportan valores de IG_e medio para productos extruidos, lo que puede atribuirse a que la digestibilidad de los alimentos procesados y cocinados se ve aumentada en comparación con un alimento crudo (Wang y Copeland 2013). Por otro lado, el IG_e de los alimentos en este estudio es mayor en comparación con algunos reportes (Zavarece y col., 2010), esto se relaciona que a mayor contenido de amilosa puede desarrollarse mayor cantidad de AR en el alimento y esto impacta de manera directa con el IG_e que se pueda obtener en alimentos totalmente gelatinizados. Esta condición puede presentarse en alimentos hojuelados para el desayuno, como es el caso de la avena que dependiendo del tratamiento que se le otorgue el IG_e cambia, y se considera que puede ser debido al grado de gelatinización en el proceso de elaboración del producto ya que no todos los productos a partir de avena tienen el mismo IG_e como lo reporta Parada y Aguilera (2009). Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportado por el grupo de Foster y col. 2002 que reportaron IG_e similares en avena de IG_e 95.

En general, el efecto de la digestión del almidón se expresa como IG_e , que es la relación entre el área bajo la curva ABC de la concentración de glucosa en sangre después de la ingestión del alimento y la del alimento estándar (pan blanco o glucosa en solución), manteniendo al mismo tiempo las cantidades de carbohidratos potencialmente disponibles (50 g). Si el IG se multiplica por la cantidad de carbohidratos en el alimento, se obtiene el CG. Estos índices proporcionan valores para estimar la respuesta glucémica de cualquier alimento de una manera estandarizada y conveniente, pero algunos investigadores los encuentran inadecuados debido principalmente a la simplificación extrema y la combinación de factores. Por ejemplo, en un mismo alimento puede presentar diferencias de las

cinéticas postprandiales para la liberación de glucosa *in vitro* o *in vivo* en relación con el tiempo y obtener el ABC similares. (Sopade y Gidley, 2009; Parada y Aguilera, 2011).

Los procedimientos *in vitro* utilizados para estimar la respuesta glucémica se basan en la cantidad de glucosa liberada a lo largo del tiempo después de una digestión enzimática del alimento. Sin embargo, los métodos reportados por cada investigador en ocasiones pueden presentar algunas diferencias, principalmente porque las condiciones de los métodos *in vitro* no siempre son similares aun siendo el mismo alimento, aunque tratan de simular todos los factores implicados durante la digestión de almidón *in vitro* por esta razón pueden presentarse diferencias en un estudio y otro. (Makroglou y Kuang, 2006; Lightowler y Henry, 2009).

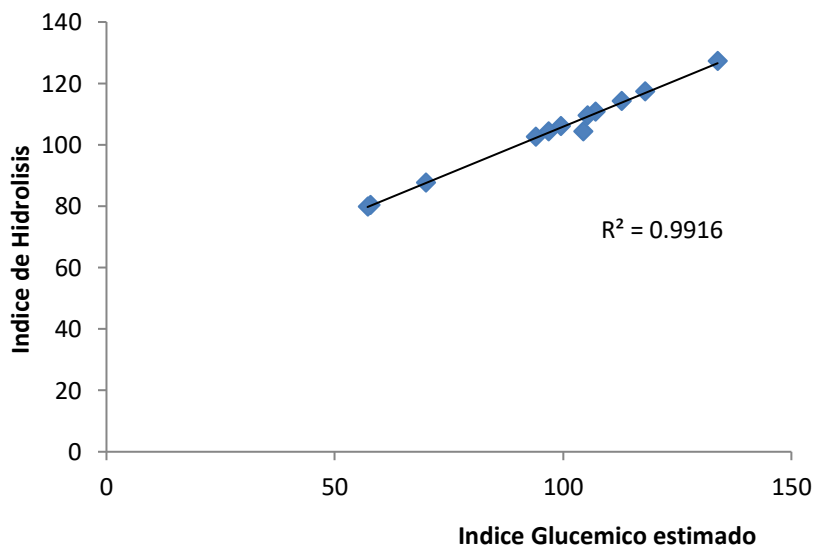


Figura 8. Correlación entre IH e IGe

Actualmente en el ámbito de la investigación se generan métodos para mejorar los procedimientos *in vitro* y desarrollar modelos matemáticos que puedan estimar más adecuadamente la respuesta *in vivo* en el consumo de los alimentos. En este sentido,

se puede concluir que la bioaccesibilidad de la glucosa a partir del almidón durante la digestión en el intestino delgado se rige no solo por aspectos relacionados con la microestructura intrínseca del almidón (proporción cristalina / amorfa) y la matriz estructural del alimento, pero también por la presencia de otros componentes de los alimentos que interactúan con el almidón modificando el nivel o grado de asimilación de este. (Sopade y Gidley, 2009).

En la Figura 8 se puede observar que existe una correlación positiva elevada entre el IH y IG_e puesto que el valor de $R^2= 0.9916$ ya que se encuentra dentro del cuadrante positivo superior, de acuerdo a la prueba de Pearson entre más cercano esté el valor a 1 mayor fuerza de correlación tendrán los elementos analizados, y esto puede deberse a que algunos valores como el IH son necesarios para el cálculo de IG_e .

8. CONCLUSIONES

El análisis químico proximal de los alimentos en estudio fue similar a lo reportado por la base de datos del departamento de agricultura de los Estados Unidos, por lo cual se consideró que los resultados obtenidos durante el análisis fueron acertados.

En relación a la caracterización de los carbohidratos dietarios en los alimentos seleccionados se obtuvo que en alimentos que no presentan una transformación total como amaranto tostado, habas enchiladas, atole, muestran un contenido bajo de glucosa libre, ya que todos los alimentos a partir de las fuentes originales el contenido de carbohidratos totales corresponde en 99% almidón.

El contenido de glucosa de rápida disponibilidad y glucosa de lenta disponibilidad en los alimentos de estudio está en relación directa con el tipo de tratamiento o transformación que tiene el alimento para su consumo, que determina el tipo de matriz alimentaria que el alimento presenta como son las mantecadas, el bolillo, el atole, los frijoles cocidos y molidos, y muestran mayor liberación de glucosa en concomitancia

con el contenido total de glucosa y esto determina el contenido de almidón de rápida digestibilidad y almidón de lenta digestibilidad.

Los alimentos a partir de cereales presentan mayor contenido de almidón de rápida digestibilidad en comparación con los alimentos a partir de leguminosas. Esto es debido principalmente a las diferencias de las características fisicoquímicas y estructurales del almidón de a partir de cereales en relación con las leguminosas.

En el caso del atole presento un contenido mayor de almidón de lenta digestibilidad en comparación con el bolillo, las mantecadas o el arroz cosido. Este mismo comportamiento lo presenta la tortilla de maíz, con la similitud que en ambos casos el índice de digestibilidad es del 90%.

En alimentos a partir de leguminosas el tipo de procesamiento tiene una influencia directa sobre el contenido de almidón de rápida digestibilidad y almidón de lenta digestibilidad, ya que la estructura o las características fisicoquímicas del mismo determina o favorece que el almidón contenido en el alimento favorezca una mayor o inhiba su asimilación, como es el caso de los frijoles cosidos y molidos y las habas tostadas y enteras.

Este trabajo nos permitió identificar las fracciones de almidón en alimentos a base de cereal preparados en México, que pueden servir al profesional de la salud en la elección de alimentos y en la preparación de los mismos para ciertas patologías, de acuerdo con el grado de gelatinización y como afectan los componentes del alimento en el índice glicémico estimado.

9. REFERENCIAS

Aarathi, A., Urooj, A. y Puttaraj, S. 2003. *In vitro* starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. *Starch/Starke*. 55 (2): 94-99.

- Agama, A. E., Bello, P. L. A., Pacheco, V. G. y Evangelista L. S. 2015. Estructura interna de los gránulos de almidón de plátano mediante gelatinización química superficial: propiedades morfológicas, fisicoquímicas y moleculares. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 14(1): 73-80.
- Agama, A. E., Rendón, V. R., Tovar, J., Paredes, L. O., Islas, H. J. J. y Bello, P. L. A. 2004 In vitro starch digestibility changes during storage of maize flour tortillas. *Nahrung.* 48 (1): 38-42
- Ahmed, F. y Urooj, A. 2008. *In vitro* starch digestibility and nutritionally important starch fractions in processed roots and tubers. *Starch/Starke.* 60 (9): 493-499.
- Al-Mssallem, M. Q., Hampton, S. M., Frost, G. S. y Brown, J. E. 2011. A study of hassawi rice (*oryza sativa l.*) in terms of its carbohydrate hydrolysis (*in vitro*) and glycaemic and insulinaemic indices (*in vivo*). *Eur. J. Clin. Nutr.* 65: 627-634.
- AOAC- Official methods of analysis, 15th ed. Association of official analytical chemists (secciones 925,09; 920,87; 920,85; 991,43; 923,03). 2005.
- Arikawa, Y. A., Jakits, E. H., Flood, A., Thomas, W., Gross, M., Shmitz, H. K. y Kurzer, M. S. 2015. Consumption of a high glycemic load but not a high glycemic index diet is marginally associated with oxidative stress in young women. *Nutr. Res.* 35 (1): 7-13.
- Augustin, L. S. A., Kendall, D.J.A, Jenkins, W. C., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. C., Björck, I., Brand-Miller, J. C., Brighenti, F. Buyken, A. E., Ceriello, A. La Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S. W., Sievenpiper J.L., Trichopoulou, A., Wolever, T. M. S., Baer-sinnott, S. y Poli A. 2015. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutr., Metab. Cardiovasc. Dis.* 25: 795-815.
- Bernal, L. y Martínez, B. E. 2006. Una nueva visión en la degradación del almidón. *Rev. Del Centro de Inv. (mex).* 7(25): 77-90.
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips G. J., Rowling, M., Schalinke, K., Scott M. P. y Whitley, E. M. 2013. Resistant starch: promise for improving human health. *Adv. Nutr.* 4(6): 587-601.
- Browman B.A. y Russell R.M. 2001. Conocimientos Actuales sobre Nutrición. 8th edn, Washington DC: Organización panamericana de la salud, pp. 64-77.
- Cardoso, C., Alfonso, C., Lourenco, H., Costa, S. y Nunes, M. L. 2015. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk-benefit evaluation of food. *Trends in Food Sci. & Tech.* 41(1): 5-23.

- Capriles, V. D., Coelho, K. D., Guerra, M. A. C. y Aréas J. A. G. 2008 Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index. *J Food Sci.* 73 (7):H160-H164.
- Crowe, T. C. Seligman, S. A. y Copeland, L. 2000. Inhibition of enzymic digestion of amylose by free fatty acids *in vitro* contributes to resistant starch formation. *J. Nutr.* 130: 2006 e 2008.
- Dahl W. J.; Stewart M. L. 2015 Position of the academy of nutrition and dietetics: health implications of dietary fiber. *J.Acad. Nutr. Diet.* 115 (11): 1861-1870.
- Delcour, A. J., Bruneel, C., Derde, J. L., Gomand, V. S., Pareyt, B., Putseys, A. J., Wilderjans, E. y Lamberts, L. 2010. Fate of starch in food processing: from raw materials to final food products. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 1: 87-111
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., y Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46(S2): 33-50.
- Englyst, H. N., y Cummings, J. H. 1996. Measurement of rapidly available glucose (rag) in plant foods; a potential *in vitro* predictor of glycemic responses. *Br. J. Nutr.* 75(3): 327–337.
- Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J. y Cummings, J. H. 1999. Rapidly available glucose in foods: an *in vitro* measurement that reflects the glycemic response. *Am. J. Clin. Nutr.* 69(3): 448–454.
- Englyst, K. N., Vinoy, S., Englyst, H. y Lang, V. 2003. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *Br. J. Nutr.* 89(3): 329-340.
- Englyst, K. N. y Englyst, H. N. 2005. Carbohydrate Bioavailability. *Br. J. Nutr.* 94(1):1-11.
- Escudero, E. A. y González, S. P.
- Ezeogu, L. I., Duodu, K. G., Emmanbux, M. N. y Taylor, J. R. N. 2008. Influence of cooking conditions on the protein matrix of sorghum and maize endosperm flours. *Cereal. Chem.* 85: 397 e 402.
- Fairweather, T. S. J. 1993. Bioavailability of nutrients. In R. Macrae, R. K. Robinson, Y M. J. Sadler (Eds.), *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition* (pp. 384e388). London: Academic Press.
- Fernández, G. E., Carvajal, L. I. y Pérez, G. A. 2009. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutr. Res.* 29:751 e 760.

- Foster, P. K., Holt S. H., Brand, M. J. C. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.* 76 (1): 5-56.
- Fuentes, Z. E., Riquelme, N. M. J., Sánchez, Z. E. y Pérez, A. J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: a review. *food res. int.* 43(4): 931–942.
- Fukuda, T., Hamaguchi, M., Kojima, T. y col. 2016. The impact of nonalcoholic fatty liver disease on incident type 2 diabetes mellitus in non-overweight individuals. *Liver Int* 36: 275–283.
- Frost G. y Dornhorst A. 2000. The relevance of the glycaemic index to our understanding of dietary carbohydrates. *Diab. Med.* 17: 336-345.
- Gelber, R.P., Gaziano, J.M., Manson, J.E., Buring, J.E. y Sesso, H.D. 2007 A prospective study of body mass index and the risk of developing hypertension in men. *Am J Hypertens* 20: 370–377.
- Gómez, C. C. y Palma, M. S. 2013. Una visión global, actualizada y crítica del papel del azúcar en nuestra alimentación. *Nutr. Hosp.* 28 (Supl. 4): 1-4.
- González, V. P., 2015. Food for thought: the translation of culinary references in animation. Ikála. *Revista de lenguaje y cultura.* 20 (2): 247-264.
- Goñi I., García, D. L., Mañas, E., y Saura, C. F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem.* 56(4): 445-449.
- Goñi, I., García, A. A. y Saura, C. F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr. Res.* 17(3): 427-437.
- Gunathilaka, M. D. T. L. y Ekanayake, S. 2015. Effect of different cooking methods on glycaemic index of Indian and Pakistani basmati rice varieties. *Ceylon. Med. J.* 60 (2): 57-61.
- Haralampu, S.G. 2000. Resistant starch—a review of the Physical Properties and Biological Impact of RS3. *Carbohydr. Polym.* 41(3): 285-292.
- Hashimoto, Y., Fukuda, T., Oyabu, C., Takana, M., Asano, M., Yamazaki, M. y Fukui, M. 2016 Impact of low-carbohydrate diet on body composition: meta-analysis of randomized controlled studies. *Obesity Rev.* 17: 499-509.
- Hernández, M. M., Torruco, U. J. G., Chel, G. L. y Betancur, A. D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos en Yucatán, México. *Cienc. Tecnol. Aliment., Campinas.* 28(3): 718-726.

- Hoover, R. 2010. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50(9): 835-847.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI Dirección: <http://www.inegi.org.mx/>
Acceso: 11/05/16
- Jayasinghe, M. A., Ekanayake, S. y Nugegoda, D. B. 2013. Effect of different milling methods on glycaemic response of foods made with finger millet (*Eucenea coracana*) flour. *Cey. Med. J.* 58: 148-152.
- Jenkins, D. J. Kenddall, C. W., Agustin, L. S., Mitchell, S., Shaye P.S.B., Mejia, B.S., Chiavaroli, L., Mirrahimi, A., Ireland, C., Bashyam, B., Vidgen, E., de Souza, J. R., Sievenpiper, L. J., Coveney, J., Leiter, A. L y Josse, G. R. 2012. Effect of legumes as part of low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Arch. Intern. Med.* 172 (21): 1653-1660.
- Lambert, P. S., Normand, S., Blond, E., Sothier, M., Roth, H., Meyner, A., Vinoy, S., Laville, M. y Nazare, J. A. 2017 Modulation of starch digestibility in breakfast cereals consumed by subjects with metabolic risk: impact on markers of oxidative stress and inflammation during fasting and the postprandial period. *Mol Nutr. Food Res.* 61 (12): 9-20
- Lehmann, U., y Robin, F. 2007. Slowly digestible starch-its structure and health implications: a review. *Trends in Food Sci. &Tech.* 18(7): 346-355.
- Leonel, M., Lopes, dC. E., Mazetti, F. A., Peres, S. R., Marques, E. A. A., Loli, G. E. y Rodrigues, dS. T. P. 2017 Chemical composition of potato tubers: the effect of cultivars and growth conditions. *J. Food Sci. Technol.* 54 (8): 2372-2378.
- Lightowler H.J. y Henry C.J.K. 2009. Glycemic response of mashed potato containing high-viscosity hydroxypropylmethylcellulose. *Nutr. Res.* 29: 551-557.
- Lindeboom, N., Chang, P. R. y Tyler, R. T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke*, 56(3): 89-99.
- Lovera, M., Pérez, E. y Laurentin, A. 2017 Digestibility of starches isolated from stem and root tubers of arracacha, cassava, cush–cush yam, potato and taro. *Carbohydr. Polim.* 176: 50-55.
- Luna, L. V., López, M. J. A., Vázquez, G. M. y Fernández, S. M. L. 2014. Hidratos de carbono: Actualización de su papel en la diabetes mellitus y la enfermedad metabólica. *Nutr. Hosp.* 30(5): 1020-1031.

- Macdonald, I. A. 1999. Carbohydrate as a nutrient in adults: range of acceptable intakes. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53 (Supl. 1): s101-s106.
- Madhusudhan, B. y Tharanathan, R. N. 1995 Legume and cereal starches-why differences in digestibility?- Part II. Isolation and characterization of starches from rice (O. saliva) and ragi (finger millet, *E. coracana*). *Carbohydr. Polym.* 28:153-158.
- Maki, K. C., Palkman, C. L., Finocchiaro, E. T., Kelly, K. M., Lawless, A. L., Schild, A. L. y Rains, T. M. 2012. Resistant starch from high-amylose maize increases insulin sensitivity in overweight and obese men. *J. Nutr.* 142(4): 717-723.
- Makroglou A., Li J. y Kuang Y. 2006. Mathematical models and software tools for the glucose-insulin regulatory system and diabetes: an overview. *Applied Numerical Mathematics* 56: 559-573.
- Martínez, M. M., Román, L. y Gómez, M. 2017 Implications of hydration depletion in the in vitro starch digestibility of white bread crumb and crust. *Food Chem.* 239: 295-303.
- Miranda, V. P. P., Marrugo, L. Y. A. y Montero, C. P. M. 2013. Caracterización funcional del almidón de frijol zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y cuantificación de su almidón resistente. *Tecno. Lógicas.* 30(1): 19-20.
- Meynier, A., Goux, A., Atkinson, F., Brack, O. y Vinoy, S. 2015 Postprandial glycaemic response: how is it influenced by characteristics of cereal products?. *Br. J. Nutr.* 113 (12): 1931-1939
- Nugent, A. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutr. Bull.* 30(1): 27–54.
- Parada J. y Aguilera J.M. 2009. In vitro digestibility and glycemic response of potato starch is related to granule size and degree of gelatinization. *J. Food Sci.* 74: E34-E38
- Parada, J. y Aguilera, J.M. 2011. Starch matrices and the glycemic response. *Food Sci Technol Int.* 17 (3):187-204.
- Patindol, J. A., Guraya, H. S., Champagne, E. T. y McClung, A. M. 2010. Nutritionally important starch fractions of rice cultivars grown in southern United States. *J. Food Sci.* 75 (5): 137-144.
- Paustenbach, D. J. 2000. The practice of exposure assessment: a state-of-the-art review. *J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev.* 3(3): 179 -291.
- Perera, A., Meda, V. y Tyler, R. T. 2010. resistant starch: a review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Res. Int.* 43(8): 1959-1974.

- Pereira, R. N., Cupertino, M. L., Zarbato, L. G., Queiroz R. A. y Farias, de N. J. (2017) Association between dietary Pattern and cardiometabolic risk in Children and adolescents: a systematic review. *J. Pediatr.* 93 (3): 214-222.
- Plaza, D. J., Martínez, A. O. y Gil, H. Á. 2013 Los alimentos como fuente de mono y disacáridos: aspectos bioquímicos y metabólicos. *Nutr. Hosp.* 28 (Supl. 4): 5-16.
- Raigond, P., Ezekiel, R., y Raigond, B. 2014. Resistant starch in food: a review. *J. Sci.Food Agr.* 95(10): 1968-1978.
- Ronald, S. K., Ronald, S. y Halord, E. 1996. En: *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. 2da edición. Ed Continental, México, pp. 10-34.
- Sajilata, M. G., Singhal R. S. y Kulkarni, P. R. 2006. Resistant starch- a review. *J. Food Sci.* 5(1): 1-17.
- Sambra, V. V., Tapia, F. C. y Vega, S. C. 2015. Efecto del fraccionamiento y calidad de los hidratos de carbono de la dieta sobre parámetros de control metabólico en sujetos diabéticos tipo 2 insulino requirentes. *Nutr. Hosp.* 31 (4): 1566-1573.
- Salvin, J. Green, H. 2007 Dietary fibre and satiety. *Nutr. Bull.* 32 (1): 32-42.
- Sandhu, S. K. y Lim, S. T. 2008 Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. *Carbohydr. Polym.* 71: 245-252.
- Sasaki, T. y Koyama, K. 2012. Influence of non-starch polysaccharides on the *in vitro* digestibility and viscosity of starch suspensions. *Food. Chem.* 133 (1):1420-1426.
- Schenk, S., Davison C. J., Zderic, T. W., Byerley, L. O. y Coley, E. F. 2003 Different glycemic indexes of breakfast cereals are not due to glucose entry into blood but to glucose removal by tissue. *Am. J. Clin. Nutr.*, 78 (4): 742-748.
- Schulte, E.M., Avena, N. M. y Gearhardt, A.N. 2015. Which foods may be addictive? the roles of processing, fat content, and glycemic load. *PLoS ONE* 10(2): 1-18.
- Sharavathy, M. K., Urooj, A. y Puttaraj, S., 2001. Analytical, nutritional and clinical methods section nutrituionally important starch fractions in cereal based indian food preparations. *Food. Chem.* 75:241-247.
- Sharma, A., Sing-Yadav, B. y Ritika, 2008. Resistant starch: physiological roles and food applications. *Food Rev. Int.* 24(2): 193-234.
- Sievert, D. y Pomeranz, Y. 1989. Enzyme-resistant starch. characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chem.* 66(4): 342-347.

- Singh, J., Dartois, A. y Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 21(4): 168-180.
- Sopade, A. P. y Gidley, J. M. 2009. A rapid in-vitro digestibility assay based on glucometry for investigating kinetics of starch digestion. *Starch.* 61: 245-255.
- Srichuwong, S., & Jane, J. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A review. *Food Sci. Biotechnol.*, 16: 663-674.
- Stewart, L. M. y Zimmer, P. J. 2017 A high fiber cookie made with resistant starch type 4 reduces post-prandial glucose and insulin responses in healthy adults. *Nutrients* 9: 237-245.
- Svihus, B., Uhlen, A. K., y Harstad, O. M. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 122: 303–320.
- Tester, R. F., Karkalas, J. y Qi, X. 2004. Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. *Worlds Poult. Sci. J.* 60(2): 186-195.
- Te, M. L., Mallard, S. y Mann, J. 2012. Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomized controlled trials and cohort studies. *BMJ.* 346: e7492.
- Tharanathan, R. N. 2002. Food-derived carbohydrates – structural complexity and functional Diversity. *Crit. Rev. Biotechnol.* 22(1): 65-84.
- Tharanathan, R. N. y Mahadevamma, S. 2003. Grain legumes a boon to human nutrition. *Trends Food Sci. Tech.* 14(12): 507-518.
- Topping, D. I. y Clifton, P. M. 2001. Short-chain acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiol. Rev.* 81(3): 1031-1064.
- Vinoy, S., Normand, S., Meynier, A., Sothier, M., Louche, P. A., Peyrat, J., Maitrepierre, C., Nazare, J. A., Brand, M. J. y Laville, M. 2013 Cereal processing influences postprandial glucose metabolism as well as the gi effect. *J. Am. Coll. Nutr.* 32 (2): 79-91
- Vartanian, L. R., Schwarts, M. B. Y Brownell, K. D. 2007 Effects of soft drinks consumption on nutrition and health: a systematic review and meta-analysis. *Am J. Pub. Health.* 97(4): 667-675.
- Wachters, H. R. E, Priebe, M.G., Heimweg, J. A., Englyst, K. N., Holst, J. J., Stellaard, F. y Vonk R. J. 2006. The rate of intestinal glucose absorption is correlated with plasma glucose-dependent insulinotropic polypeptide concentrations in healthy men. *J. Nutr.* 136 (6): 1511-6.

- Wang, L. A. y White, P. J. 1994. Functional properties of oat starches and relationships among functional and structural characteristics. *Cereal Chem.* 71(1): 451- 458.
- Wang, S. y Copeland, L. 2013 Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food Funct.* 4 (11): 1564-1580.
- Watson, S. A. y Ramstad, P. E. 1987. Corn: chemistry and technology (maiz: chemie und technology). AACC St. Paul MN, USA. *Starch-Starke.* 40(5): 1-15.
- Wolever, T. M. S., Jenkins D. J. A., Jenkins, A. L. y Josse, R. G. 1991. The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 846-854.
- Ye, X., Lu, F., Yao, T., Gan, R. y Sui, Z. 2016. Optimization of reaction conditions for improving nutritional properties in heat moisture treated maize starch. *International Journal of Biological Macromolecules.* 93(A): 34-40.
- Zeng, L., Hu, S., Chen, P., Wei, W. y Tan, Y. 2017. Macronutrient intake and risk of crohn's disease: systematic review and dose-response meta-analysis of epidemiological studies. *Nutrients.* 9: 500-512.
- Zhang, G. y Bruce R. H. 2003. A three-component interaction among starch, protein, and free fatty acids revealed by pasting profiles. *J. Agric. Food Chem.* 51 (9): 2797-2800.
- Zhu, L., Adedeji, A. A. y Alavi, S. 2017 Effect of germination and extrusion on physicochemical properties and nutritional qualities of extrudates and tortilla from wheat. *J. Food Sci.* 82 (8): 1867-75.