

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

División Académica de Ciencias de la Salud



“Estudio del almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*) y sus efectos metabólicos en ratas con dieta alta en sacarosa”

Tesis que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Biomédicas

Presenta:

Zeniff Reyes López

Directores:

Dr. Jorge Luis Ble Castillo

Dra. Viridiana Olvera Hernández

Villahermosa, Tabasco

Febrero, 2022



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias de
la Salud



Dirección

Of. No. 00127/DACS/JAEP
10 de febrero de 2022

ASUNTO: Autorización impresión de tesis

C. Zeniff Reyes López

Maestría en Ciencias Biomedicas
Presente

Comunico a Usted, que ha sido autorizada por el Comité Sinodal, integrado por los profesores investigadores, Dra. en C. Nancy patricia Gómez Crisóstomo, Dr. en C. Eduardo Martínez Abundis, Dra. Crystell Guadalupe Guzmán Priego, Dr. Jorge Luis Blé Castillo, Dra. en C. Viridiana Olvera Hernández, impresión de la tesis titulada: **"ESTUDIO DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA (*Manihot esculenta*), CAMOTE (*Ipomoea batatas*) Y SUS EFECTOS METABÓLICOS EN RATAS CON DIETA ALTA EN SACAROSA"**, para sustento de su trabajo recepcional de la Maestría en Ciencias Biomédicas, donde funge como Director de Tesis el Dr. Jorge Luis Blé Castillo y la Dra. Viridiana Olvera Hernández.

Atentamente

Dra. Mirian Carolina Martínez López
Directora



- C.c.p.- Dr. Jorge Luis Blé Castillo.- Director de tesis
- C.c.p.- Dra. Viridiana Olvera Hernández.- Director de tesis
- C.c.p.- Dra. en C. Nancy patricia Gómez Crisóstomo.- sinodal
- C.c.p.- Dr. en C. Eduardo Martínez Abundis.- Sinodal
- C.c.p.- Dra. Crystell Guadalupe Guzmán Priego.- Sinodal
- C.c.p.- Dr. Jorge Luis Blé Castillo.- Sinodal
- C.c.p.- Dra. en C. Viridiana Olvera Hernández.- Sinodal



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias de
la Salud

Jefatura del
Área de Estudios
de Posgrado



PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la ciudad de Villahermosa Tabasco, siendo las 11:00 horas del día 01 del mes de febrero de 2022 se reunieron los miembros del Comité Sinodal (Art. 71 Núm. III Reglamento General de Estudios de Posgrado vigente) de la División Académica de Ciencias de la Salud para examinar la tesis de grado titulada:

"ESTUDIO DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA (*Manihot esculenta*), CAMOTE (*Ipomoea batatas*) Y SUS EFECTOS METABÓLICOS EN RATAS CON DIETA ALTA EN SACAROSA "

Presentada por el alumno (a):

Reyes	López	Zeniff
Apellido Paterno	Materno	Nombre (s)

Con Matricula

2	0	1	E	5	7	0	0	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias Biomédicas

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS** en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

COMITÉ SINODAL

Dr. Jorge Luis Blé Castillo
Dra. Viridiana Olvera Hernández
Directores de Tesis

Dra. en C. Nancy patricia Gómez Crisóstomo

Dr. en C. Eduardo Martínez Abundis

Dra. Crystell Guadalupe Guzmán Priego

Dr. Jorge Luis Blé Castillo

Dra. en C. Viridiana Olvera Hernández

Carta de Cesión de Derechos

En la ciudad de Villahermosa Tabasco el día 01 del mes de febrero del año 2022, el que suscribe, Zeniff Reyes López, alumna del programa de la Maestría en Ciencias Biomédicas, con número de matrícula 201E57007 adscrito a la División Académica de Ciencias de la Salud, manifiesta que es autor intelectual del trabajo de tesis titulada: “ESTUDIO DEL ALMIDÓN MODIFICADO DE YUCA (*Manihot esculenta*), CAMOTE (*Ipomoea batatas*) Y SUS EFECTOS METABÓLICOS EN RATAS CON DIETA ALTA EN SACAROSA” bajo la Dirección del Dr. en C. Jorge Luis Ble Castillo y la Dra. en C. Viridiana Olvera Hernández, Conforme al Reglamento del Sistema Bibliotecario Capítulo VI Artículo 31. El alumno cede los derechos del trabajo a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficos o datos del trabajo sin permiso expreso del autor y/o director del trabajo, el que puede ser obtenido a la dirección: zeniff.reyes.l@gmail.com Si el permiso se otorga el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Zeniff Reyes López

Nombre y Firma

DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS DE LA SALUD



JEFATURA DEL ÁREA DE
ESTUDIOS DE POSGRADO

Sello



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por ser parte de mi formación académica.

Al Dr. Jorge Luis Ble Catillo y a la Dra. Viridiana Olvera Hernández por brindarme su apoyo y conocimientos durante esta jornada de estudio.

A la Dra. Nancy Patricia Gómez Crisóstomo, al Dr. Eduardo Martínez Abundis, al Dr. Juan José Acevedo Fernández por cada una de sus observaciones y aportaciones para la elaboración de este trabajo de tesis.

A la Dra. Isela Esther Juárez Rojop y a la Dra. Crystell Guadalupe Guzmán Priego por todo su apoyo durante mis años de maestría.

A mis compañeros del Laboratorio de Bioquímica de Enfermedades Metabólicas por aportarme sus conocimientos y por su apoyo a mi formación.

A mis compañeros de laboratorios vecinos por sus contribuciones a mi conocimiento.

Al C.P. Fredy Veloz Sánchez, presidente del consejo estatal de yuca del estado de Tabasco.

Al programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), por el financiamiento de mi trabajo experimental, a través del proyecto con clave UJAT-EXB-235.

A CONACyT por otorgarme la beca con el número de apoyo 769608.



DEDICATORIAS

A mis padres por brindarme todo su amor, apoyo y comprensión durante estos dos años. Los amo.

A mi hermana por brindarme su apoyo incondicional y por apoyar siempre mis locuras. Te amo.

A mis abuelos, por siempre darme ánimos para continuar.

Al resto de mi familia por siempre ser un pilar en mi vida.

A mis amigos por estar siempre para mí en las dificultades y en los buenos momentos.



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	I
ABREVIATURAS	III
GLOSARIO	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
Almidón	3
Características morfológicas y estructurales del almidón	4
Propiedades funcionales del almidón: solubilidad, poder de hinchamiento y gelatinización	6
Yuca y camote.....	7
Cultivo y producción	8
Almidón de yuca y camote	10
Almidones modificados	10
Pirodextrinización	12
Almidón y su digestibilidad: almidón resistente.....	12
Efectos fisiológicos a la salud por consumo de almidón resistente	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN	17
HIPÓTESIS	19
OBJETIVOS	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
MATERIAL Y MÉTODO	21
Compuestos químicos.....	22
Material biológico	22
Extracción del almidón nativo.....	23
Modificación química por pirodextrinización.....	24
Determinación de almidón resistente y almidón de digestión lenta	24
Evaluación morfológica y funcional	27
Microscopía electrónica de barrido	27



Difracción de rayos x y cristalinidad	28
Propiedades funcionales	29
Gelatinización	29
Solubilidad y poder de hinchamiento	29
Capacidad de absorción de agua	30
Evaluación de las pirodextrinas de yuca y camote sobre el efecto metabólico en ratas con dieta alta en sacarosa.	31
Desarrollo experimental	31
Prueba de tolerancia oral a la glucosa	32
Determinación de glucosa y lípidos séricos	33
Índice de adiposidad	34
Determinación de lípidos totales, colesterol y triglicéridos en hígado	34
Índice hepático	35
Análisis de los resultados	35
RESULTADOS	37
Modificación química por pirodextrinización del almidón de <i>M. Esculenta</i> e <i>I. Batatas</i>	37
<i>Manihot esculenta</i>	37
<i>Ipomoea batatas</i>	37
Elección del tratamiento por pirodextrinización	39
Determinación de almidón resistente	40
Evaluación morfológica	40
Microscopia electrónica de barrido	40
Difracción de rayos X	41
Propiedades funcionales	43
Gelatinización	43
Solubilidad	45
Absorción de agua	46
Poder de hinchamiento	46
Inducción del modelo dieta alta en sacarosa (DAS)	48
Efecto de los tratamientos dietéticos	50
Determinaciones séricas en ayuno	56
Índice de adiposidad	56
Parámetros hepáticos	58
DISCUSIÓN	59
CONCLUSIONES	68
ANEXOS	76



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1 Condiciones experimentales para pirodextrinización.	27
Tabla 2. Contenido de almidón resistente en almidón nativo y pirodextrinizado de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) (b. s).	38
Tabla 3. Contenido de almidón resistente en almidón nativo y pirodextrinizado de camote (<i>I. batatas</i>) (b. s)	39
Tabla 4. Efecto de la pirodextrina de <i>M. esculenta</i> e <i>I. batatas</i> en ratas con dieta alta en sacarosa	56
Tabla 5. Efecto de la pirodextrina de <i>M. esculenta</i> e <i>I. batatas</i> sobre los parámetros hepáticos.	58

FIGURAS

Figura 1 Diagrama general de desarrollo experimental del estudio.....	21
Figura 2. Diagrama metodológico del experimento en el modelo de ratas con dieta alta en sacarosa.....	31
Figura 3. Micrografía de Almidón de <i>M. esculenta</i>	40
Figura 4. Micrografía del almidón de <i>I. batatas</i>	41
Figura 5. Patrón de difracción de rayos X de almidón de <i>M. esculenta</i>	42
Figura 6. Patrón de difracción de rayos X del almidón de <i>I. batatas</i>	43
Figura 7. Termograma del almidón de <i>M. esculenta</i>	44
Figura 8. Termograma del almidón de <i>I. batatas</i>	45
Figura 9. Propiedades funcionales de almidón nativo y pirodextrinizado de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) y camote (<i>Ipomoea batata</i>).	47
Figura 10. Efectos de la ingesta alta en sacarosa sobre el peso corporal.	48
Figura 11. Consumo de alimento y líquidos durante la fase de inducción alteraciones metabólicas con DAS.	49
Figura 12. Consumo de calorías durante 20 semanas.	50
Figura 13. Efecto del consumo de DAS sobre la respuesta glucémica durante la inducción de DAS.	51
Figura 14. Efecto del consumo de pirodextrina de <i>M. esculenta</i> e <i>I. batatas</i> en el peso corporal final.	52



Figura 15. Efecto de los tratamientos sobre el consumo de alimento y líquido..... 53

Figura 16. Efecto de los tratamientos sobre la respuesta glucémica postprandial al fin de la semana 24. 54

Figura 17. Áreas bajo la curva de la glucemia a través del tiempo (semana 20 y 24)..... 55

Figura 18. Efecto de la ingesta de pirodextrinas de M. esculenta e I. batatas sobre el índice de adiposidad.. 57

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



ABREVIATURAS

DAS Dieta alta en sacarosa

PY Pirodextrina de yuca

PC Pirodextrina de camote

AN Almidón nativo

AR Almidón resistente

ADL Almidón de digestión lenta

ADR Almidón de digestión rápida

AT Almidón Total

AGCC Ácidos grasos de cadena corta

TOG Tolerancia oral a la glucosa

IA Índice de adiposidad

IH Índice hepático



GLOSARIO

Almidón resistente

Fracción de almidón que resiste la digestión en el intestino delgado y puede ser fermentado en el colon.

Amilosa

Polímero lineal o ligeramente ramificado, en donde los residuos de glucosa se unen por enlaces α -D-(1-4) y representa del 15 % al 30 % del almidón.

Amilopectina

Molécula ramificada con enlaces α -D-1-4) y α -D-(1-6) y es el componente principal del almidón (30-99%).

Poder de hinchamiento

Parámetro relacionado con la fuerza de retención de agua en los gránulos de almidón.

Solubilidad

Parámetro relacionado con la cantidad de moléculas solubles lixiviadas de los gránulos de almidón presentes en una muestra seca.

Respuesta glucémica

Efecto que las bebidas y alimentos tienen en los niveles de glucosa en sangre tras su ingesta.



RESUMEN

Introducción: El consumo de almidón resistente (AR) ha sido relacionado en los últimos años con la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con la obesidad. Uno de los mecanismos propuestos ha sido el aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) los cuales inducen la producción de incretinas que favorecen el metabolismo de la glucosa. Por lo anterior, resulta interesante incrementar el contenido de AR de almidones nativos mediante modificaciones y evaluar sus efectos benéficos en modelos biológicos. La yuca y el camote son tubérculos principalmente cultivados en el sur de México y representan una fuente alternativa de almidón nativo. **Objetivo:** Modificar el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*) y además evaluar los efectos metabólicos de su consumo en un modelo de rata con dieta alta en sacarosa. **Métodos:** Se produjeron pirodextrinas de almidón de yuca (PY) y de camote (PC) y se evaluó el efecto metabólico de su consumo en un modelo de rata con dieta alta en sacarosa. El experimento se dividió en dos periodos: 1. Inducción de alteraciones metabólicas con dieta alta en sacarosa durante 20 semanas. 2. Estudio del efecto de los diferentes tratamientos durante un periodo de 4 semanas. En este segundo periodo se incluyeron los siguientes grupos DN (control), DAS (control), DAS + HM (hi-maize®, 1 g/kg), DAS + PY1 (1 g/kg), DAS + PY2 (1,5 g/kg), DAS + PC1 (1 g/kg) y DAS + PC2 (1,5 g/kg). **Resultados:** PY y PC aumentaron su contenido de AR en un 10 %. En comparación con los almidones nativos, PY mostró una disminución de la cristalinidad y un aumento del poder de hinchamiento, así como de la capacidad de absorción de agua; PC mostró una reducción de la cristalinidad y la entalpía de gelatinización, y un aumento de la solubilidad, el poder de hinchamiento y la capacidad de absorción de agua. Sin embargo, no se observó ningún efecto de la suplementación con pirodextrinas sobre el peso corporal, la respuesta glucémica, la glucosa y los lípidos séricos, el grado de obesidad, los lípidos hepáticos totales o el tamaño del hígado en las ratas. Inesperadamente, la glucosa basal presentó un aumento en DAS + PY2 respecto a DAS ($p = 0,009$) y el índice de adiposidad se incrementó en DAS + HM y DAS + PC2 respecto a DAS ($p = 0,003$). **Conclusiones:** A pesar de que, el contenido de AR se incrementó en las pirodextrinas, la suplementación no mostró ningún efecto beneficioso en ratas con alteraciones metabólicas inducidas por DAS. Una explicación parcial a estos resultados podría ser las bajas dosis administradas y otras variables no controladas como la composición de la microbiota. Otras condiciones experimentales durante el proceso de modificación podrían aumentar el contenido de AR en los productos.

Palabras clave: pirodextrina, *Manihot esculenta*, *Ipomoea batatas*, respuesta glucémica.



ABSTRACT

Introduction: Resistant starch (RS) has been related in recent years with the prevention of chronic non-transmissible diseases related to obesity. A proposed mechanism has been the increased of short-chain fatty acids (SCFA) which induce incretins production improving glucose metabolism. Therefore, it is interesting to increase the RS content of native starches through diverse modifications and to evaluate their beneficial effects in biological models. Cassava and sweet potato are tubers mainly cultivated in southern Mexico and represent considerable sources of native starch. **Objective:** To modify starch from cassava (*Manihot esculenta*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*) and to evaluate the metabolic effects of their consumption in a rat model with a high sucrose diet. **Methods:** Pyrodextrins were produced, and the metabolic effect of their consumption was evaluated in rats under high sucrose diet. The experiment was divided into two periods: 1. Metabolic alterations induction with high sucrose diet for 20 weeks. 2. Study of the effect of the different treatments during a period of 4 weeks. In this second period the following groups were included: DN (control), DAS (control), DAS + HM (hi-maize®, 1 g/kg), DAS + PY1 (1 g/kg), DAS + PY2 (1.5 g/kg), DAS + PC1 (1 g/kg) and DAS + PC2 (1.5 g/kg). **Results:** PY and PC increased their RS content by 10 %. In comparison with native starches, PY showed decreased crystallinity and increased swelling power as well as water absorption capacity; PC showed reduced crystallinity and gelatinization enthalpy, increased solubility, swelling power and water absorption capacity. However, no effect of pyrodextrins supplementation were observed on body weight, glycemic response, serum glucose and lipids, degree of obesity, total liver lipids or liver size in the rats. Unexpectedly, basal glucose presented an increase in DAS + PY2 with respect to DAS ($p = 0.009$) and the adiposity index was increased in DAS + HM and DAS +PC2 with respect to DAS ($p = 0.003$). **Conclusions:** Although, AR content was increased in pyrodextrins, the supplementation showed no beneficial effect in rats with metabolic alterations induced by HSD. A partial explanation to these results could be the low doses administered and other uncontrolled variables such as the microbiota composition. Other experimental conditions during the modification process could enhance the RS content in the products.

Key words: Pyrodextrin, *Manihot esculenta*, *Ipomoea batatas*, glycemic response.



INTRODUCCIÓN

El almidón es considerado como la principal fuente de carbohidratos en la dieta del ser humano ya que es el polisacárido de almacenamiento de energía más abundante en las plantas y se encuentra en forma de gránulos en el cloroplasto de las hojas verdes y en el amiloplasto de las semillas, leguminosas y tubérculos (Jin, 2018). Químicamente, los gránulos de almidón están constituidos por dos componentes estructurales: amilosa y amilopectina. Se considera que las moléculas de amilosa son lineales y ramificadas, pero contienen pocas ramificaciones; mientras que la amilopectina está ampliamente ramificada y tiene cadenas relativamente cortas. Los gránulos de almidón son semi-cristalinos, ya que contienen partes cristalinas y partes amorfas (Lian et al., 2017)

Los almidones son muy versátiles y han permitido muchas innovaciones en la industria alimentaria ya que poseen una gran variedad de propiedades funcionales, tales como estabilidad al calor y al congelamiento, dispersibilidad, viscosidad, formación de gel, entre otras (Raigond et al., 2018).

A pesar de ser de gran utilidad, en la industria alimentaria, el almidón en su forma nativa tiene limitaciones para ciertos procesos, así como la inhabilidad para disolverse en agua fría, cambiando algunas de sus propiedades funcionales. Por lo cual, se modifica para su uso en determinados procesos con el propósito de retener su funcionalidad en los alimentos (Contreras-Pérez et al., 2018).

Las modificaciones del almidón se logran a través de métodos físicos, químicos y biotecnológicos; y sus derivados tienen diversos usos en productos biomédicos, en las industrias alimenticias y no alimenticias, se usan como expansores de plasma



sanguíneo, como sustitutos de grasas, estabilizadores de sabores, espesantes, gelificantes, aderezos, etc (Schmiele et al., 2019).

Uno de los métodos físicos utilizados es la pirodextrinización, en el que se realiza una degradación del almidón usando calor con o sin ácidos añadidos, en este proceso se generan enlaces atípicos β (1,2) y β (1,3), además de los enlaces característicos del almidón α (1,4) y α (1, 6) (Lovera et al., 2020). Este tipo de enlaces confiere al almidón la propiedad de ser casi o totalmente indigerible (almidón resistente), proporcionando un menor contenido calórico, comparado con la forma nativa de almidón; además de que tiene propiedades similares a las de la fibra dietética (Sajilata et al., 2006). Generalmente los alimentos que contienen almidón resistente dan una respuesta glucémica baja porque no es digerido por el intestino delgado y llega directamente al colon para ser fermentado por la microbiota (Al-Tamimi et al., 2010). El almidón resistente ha demostrado que puede afectar particularmente el metabolismo lipídico, incluyendo la reducción de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad, lipoproteínas de alta densidad y triglicéridos en plasma; así como puede conferir una disminución de la glucemia posprandial (Nugent, 2005). Al respecto, alrededor del mundo se han desarrollado padecimientos tales como la obesidad, la cual, está relacionada con diversas complicaciones como dislipidemias, resistencia a la insulina, hipertensión arterial, diabetes e incluso se ha encontrado asociación con la salud en la microbiota (Suárez-Carmona et al., 2017).

Aunque la mayoría de estos padecimientos crónicos pueden regularse con tratamientos farmacológicos, representan un costo elevado para los servicios de



salud a nivel mundial. Por lo anterior, diversos investigadores han mostrado su interés en la formulación de ingredientes alimentarios con beneficios terapéuticos para la salud humana tal es el caso del almidón resistente (Shang et al., 2017).

Aunque la principal fuente de almidón es el maíz, existen fuentes alternativas de almidón como la yuca y el camote, ambos juegan un papel muy importante en la industria alimentaria debido al contenido de almidón que presentan: 27.38 % para yuca y de 30 a 80 % en camote. Para la elaboración de nuevos productos o para emplearlo como ingrediente funcional, el almidón que se obtiene de estas dos fuentes requiere estudio nutricional, funcional y organoléptico (Lafont-Mendoza et al., 2018).

Almidón

El almidón se acumula debido a la fijación de carbono durante la fotosíntesis y se encuentra en gránulos en casi todas las plantas verdes y en varios tejidos y órganos vegetales como hojas, raíces, brotes, frutos, granos y tallos (Sjöo & Nilsson, 2017). El almidón es el componente principal de la mayoría de los alimentos de origen vegetal de numerosas materias primas industriales, es por esto por lo que constituye una parte integral de la dieta del ser humano con más del 50 % de ingesta diaria de energía en las culturas agrarias y alrededor del 25 % de las sociedades occidentales (Ma & Boye, 2018).

Los gránulos de almidón en los tejidos de almacenamiento pueden variar en forma, tamaño y composición. Pueden ser esféricos, ovalados, poligonales, lenticulares alargados o en forma de riñón. Las dimensiones de los gránulos de almidón pueden variar de 2 a 100 μm y pueden llegar a tener dimensiones a nivel submicrónico. Por



tanto, la forma y el tamaño de los gránulos dependen de la fuente (Sjö & Nilsson, 2017).

La organización de los gránulos comienza a partir de una mancha denominada hilio que da lugar a la formación de patrones alternos de regiones amorfas y semicristalinas que a su vez están compuestas por amilosa y amilopectina. Las estructuras dentro de los gránulos de almidón son anillos granulares, bloques y laminillas, que se pueden observar con diferentes técnicas, porque representan niveles estructurales (Cornejo-Ramírez et al., 2018; Sajilata et al., 2006)

Químicamente el almidón es un polisacárido o azúcar, compuesto por un número de moléculas de monosacáridos unidas entre sí por enlaces α 1-4 y α 1-6 (Nugent, 2005). La mayoría de los gránulos de almidón de origen natural constan de dos polisacáridos principales: amilosa, la fracción menor presente en los gránulos de almidón, que tradicionalmente se define como una molécula lineal de moléculas de glucosa conectadas por enlaces α 1 - 4; pero está bien establecido que algunas moléculas de amilosa poseen niveles bajos de enlaces α 1 - 6 (<1%). Y amilopectina, el principal componente macromolecular en la mayoría de los gránulos de almidón (que comprende del 70 al 80%), es una molécula ampliamente ramificada que consta de cadenas cortas de amilosa unidas en sus extremos reductores por enlaces α 1 - 6 (Jin, 2018).

Características morfológicas y estructurales del almidón

La amilosa y la amilopectina juntas forman gránulos de almidón semi-cristalino insolubles con una estructura de anillo de crecimiento alternante. El tamaño, la forma, la cristalinidad y la organización molecular interna de los gránulos varían con



la fuente botánica. Los almidones nativos normales tienen 20- 30% de amilosa (AM) y 70-80% de amilopectina (AP) en peso.

Los anillos de crecimiento semi-cristalinos se caracterizan por alternar laminillas cristalinas y amorfas que presentan un período de repetición de 9-10 nm. Por el contrario, los anillos de crecimiento amorfos no están bien caracterizados, excepto que aquí es donde se encuentra principalmente la amilosa. Se cree que las laminillas cristalinas están formadas por dobles hélices de cadenas laterales AP empaquetadas en una red cristalina, mientras que las laminillas amorfas contienen AM y los puntos de ramificación AP. Cuando se hidrata, se considera que el AP tiene características de un polímero cristalino líquido. Se propone que las laminillas cristalinas y amorfas alternas se organicen en estructuras casi esféricas denominadas blocklets, que se pueden observar con microscopía de fuerza atómica y microscopía electrónica de barrido (Wang & Copeland, 2015).

Diversos estudios de difracción de rayos X en ángulo grande han analizado la estructura cristalina del gránulo de almidón. Existen dos principales tipos de patrones de la estructura cristalina de los gránulos del almidón, tipo A que son los almidones de cereales, los tubérculos presentan un patrón tipo B y en almidones de ciertas raíces y semillas dan un patrón tipo C, que es una mezcla del patrón A y B. Otro tipo de patrón es el V, y que es característico cuando se forma un complejo de inclusión o clatrato en el interior de la hélice de la amilosa. La estructura del gránulo de almidón se atribuye directamente a la amilopectina (Rodríguez et al., 2001).

La Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se utiliza para entender la estructura molecular de los almidones, ya que características espacialmente cercanas en la



muestra, pueden ser observadas a una alta magnificación (Sánchez & Tham, 2007). De la misma forma la MEB se utiliza para entender los cambios en la morfología y estructura de los gránulos de almidón provocados por la modificación química. Los almidones químicamente modificados pueden presentar cambios en su arreglo molecular y estructural como resultado del tratamiento al cual son sometidos (Viridiana et al., 2017)

Propiedades funcionales del almidón: solubilidad, poder de hinchamiento y gelatinización

Las características estructurales del almidón se relacionan directamente con su funcionalidad de este (Bean et al., 2019). Las propiedades más importantes para determinar el uso que se puede dar al almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas (gelatinización y retrogradación) y las funcionales (solubilidad, hinchamiento, absorción de agua y formación de geles) (Hernández-Medina et al., 2008).

Los gránulos de almidón no son solubles en agua a temperatura ambiente debido a su estructura semicristalina estable y ordenada. Cuando el almidón nativo se somete a tratamientos térmicos (por ejemplo, cocción), la estructura ordenada se desorganiza y ocurren diversos eventos como hinchamiento de los gránulos, lixiviación de amilosa y desorganización de amilopectina; estos eventos se observan pegando perfiles y estudios térmicos (por ejemplo, calorimetría diferencial de barrido) (Magallanes-Cruz et al., 2017).

Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua tienden a romperse las uniones intermoleculares, se reducen las regiones cristalinas (pérdida



de birrifrigencia) y aumentan los puentes de hidrógeno con el agua. El agua incorporada al gránulo aumenta enormemente su tamaño, pudiendo llegar no sólo a romper el gránulo, sino incluso al alimento en sí (como es el caso de las papas cuando son cocidas). Si al principio del calentamiento la presión ejercida entre los gránulos provoca un aumento de la viscosidad de la pasta, la rotura de estos, facilitada por una agitación, se refleja en una disminución de la viscosidad y la total pérdida de la birrifrigencia; a la temperatura que esto ocurre, se le conoce como gelatinización (Sandoval Aldana et al., 2005).

Yuca y camote

La yuca (*Manihot esculenta*) es una especie de origen americano, que se ha extendido en una amplia área de los trópicos americanos, desde Venezuela y Colombia hasta el Noroeste de Brasil, con predominio de los tipos de yuca dulce en el norte y en la zona de Brasil los amargos (Clement et al., 2010).

La yuca pertenece al orden Euphorbiales, a la familia Euphorbiaceae y al género *Manihot*, el cual se encuentra distribuido desde el suroeste de Estados Unidos hasta Argentina (Aguilar et al., 2017). Las raíces de yuca pueden consumirse después de hervirlas o freírlas, o pueden procesarse para obtener productos como patatas fritas, hojuelas, cubos, gránulos y tapioca (Clement et al., 2010).

Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot*. La yuca recibe diferentes nombres comunes: yuca en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas, mandioca en Argentina, Brasil y Paraguay, cassava en países angloparlantes, guacamote en México, aipi y macacheira en Brasil y mhogo en swahili en los países de África oriental (Aristizábal et al., 2007)



Según el SIAP (2014) la yuca se siembra en 7 estados de México, dentro de los cuales se encuentra el estado de Tabasco, en el que se puede encontrar el producto fresco durante todo el año.

El camote (*I. batatas*) pertenece a la familia Convolvulaceae y también es conocido con los nombres de batata, boniato, patata dulce y sweet potato (en inglés). El centro de origen del camote reconocido es Mesoamérica, específicamente la zona comprendida entre la península de Yucatán en México hasta la desembocadura del río Orinoco en Sudamérica (Linares et al., 2008), lo cual es soportado por el descubrimiento de restos arqueológicos de camote en las costas peruanas, cuya data es de aproximadamente 8.000 a 10.000 años (Ugent et al., 1982).

El camote crece mejor en áreas de altas precipitaciones de unos 1,500 a 2,500 mm/año. Las mayores precipitaciones pueden inducir un crecimiento vegetativo excesivo a expensas del crecimiento de los tubérculos. En México se reportan 150 especies del género *Ipomoea* (Huaman, 1999).

Cultivo y producción

La producción mundial de yuca se sitúa alrededor de 203 millones de toneladas de raíces frescas y un rendimiento promedio 10.9 ha. La mitad de las hectáreas x áreas dedicadas al cultivo de la yuca se encuentran en África, un 30 % en Asia y el 20 % restante en América Latina. En Cuba, se destinan para la plantación de este cultivo más de 100 mil hectáreas con rendimientos que oscilan entre 4 y 20 toneladas por hectárea, en los últimos años se trabaja por lograr la plantación de 13.42 ha por cada mil habitantes (León et al., 2013). Según Organización de las Naciones Unidas (2006), la producción nacional en el año 2005 fue de 585 000 toneladas de raíces



frescas y un rendimiento de 4,7 ha, encontrándose por debajo del rendimiento promedio mundial (10.9 ha).

Actualmente, la yuca es un cultivo muy importante en regiones tropicales del mundo (latitudes menores a los 30°), que van desde el nivel del mar hasta los 1800 metros sobre el nivel del mar. Si bien, el principal producto económico son sus raíces, las hojas de la yuca también tienen un excelente potencial y son extensivamente utilizadas en África y Asia, ya sea para la alimentación humana o animal. La yuca es el cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, y es un componente básico en la dieta de más de 1000 millones de personas (Basurto, 2015; León et al., 2013)

El camote (*Ipomoea batatas*) es un cultivo tradicional muy antiguo en México y en América, con evidencias arqueológicas en la costa peruana de entre 4000-8000 años DC. México es centro de diversidad de la sección *Batatas*, donde se ubica *Ipomoea batatas*, ubicando a Mesoamérica como la región con la más alta diversidad genética de esta especie. En México existe una gran diversidad de camotes, con numerosas variantes criollas. Es una especie de importancia alimentaria y cultural que se encuentra pobremente representada tanto en los herbarios como en los bancos de germoplasma nacionales. La diversidad de camote se identifica principalmente por el color de la epidermis y parte interna de la raíz, que pueden ser roja, púrpura, rosada, anaranjada, amarilla, pajiza o blanca, así como de la forma de la hoja, la cual puede ser acorazonada, hastada, dentada o trilobulada (Basurto, 2015).



Ambos tubérculos resultan de interés debido al contenido de almidón nativo que presentan. Sin embargo, la estructura del almidón nativo puede ocasionar que éste tenga ciertas limitaciones en la industria. Es por esto por lo que se busca estudiar distintas modificaciones al almidón, para poder incrementar su funcionalidad (Martínez-Moreno et al., 2020; Ramos-García et al., 2018).

Almidón de yuca y camote

El almidón de yuca se diferencia de otros almidones por su bajo nivel de residuos (grasas, proteína, ceniza), su menor contenido de amilosa, los altos pesos moleculares de amilosa y amilopectina y la pequeña cantidad de fósforo que tiene, es parcialmente extraíble (Breuninger et al., 2009).

El tamaño de los gránulos de almidón de camote varía desde menos de 1 μm hasta más de 100 μm . Los gránulos de almidón han sido reportados con formas redondas, ovaladas y poligonales (Ratnayake et al., 2001). El uso industrial de este tubérculo es muy bajo, lo que causa un crecimiento negativo de la producción (Akpa & Dagde, 2012). La modificación del almidón por métodos físicos y químicos puede hacer que sea más adecuado para su uso en productos tradicionales que normalmente utilizan otro tipo de almidones (Babu et al., 2015).

Almidones modificados

Las propiedades funcionales del almidón varían en función de la cantidad y conformación de las moléculas de amilosa y amilopectina, la estructura granular, así como otros constituyentes menores. Sin embargo, el almidón nativo tiene limitaciones en su uso debido a sus bajas propiedades mecánicas por lo que la industria de la modificación del almidón está en constante evolución con numerosas



posibilidades para mejorar los atributos positivos y eliminar las deficiencias de los nativos (Ramos-García et al., 2018). Los almidones modificados muestran mayor estabilidad a condiciones extremas de procesamiento, incrementan su resistencia a la retrogradación y mejoran la estabilidad durante el congelamiento (Guerra-DellaValle et al., 2008).

Durante las últimas décadas, el almidón ha sido modificado por varios métodos para lograr funcionalidades adecuadas para diversas aplicaciones industriales. Básicamente, hay cuatro tipos amplios de modificaciones; química, física, enzimática y genética. Se encuentran disponibles varios artículos de revisión sobre el tema de la modificación del almidón. Sin embargo, en la última década ha habido un gran interés entre los investigadores por desarrollar nuevos métodos de modificación del almidón con más énfasis en las modificaciones enzimáticas, físicas y genéticas. Por lo tanto, este documento fue escrito para presentar todas las nuevas modificaciones que se han producido en la última década (Fan & Picchioni, 2020).

Las modificaciones se pueden llevar a cabo usando técnicas químicas, físicas, biológicas o enzimáticas. La modificación química usada frecuentemente es la sustitución (ejemplos: oxidación, acetilación, hidroxipropilación), en donde se introducen sustituyentes voluminosos en las cadenas de almidón reduciendo la cristalización de la amilosa y la amilopectina. Otros procesos involucran la esterificación o el entrecruzamiento. Estas técnicas permiten aumentar el carácter hidrofóbico del almidón, además de aumentar la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas del material (Chen et al., 2018; Ramos-García et al., 2018).



Pirodextrinización

La modificación por pirodextrinización es un proceso en el que se modifica al almidón nativo mediante calentamiento en seco de los gránulos con o sin ácido, según las condiciones de preparación (temperatura, tiempo y concentración de ácido) la pirodextrina se divide en 3 tipos: blanca, amarilla y goma inglesa (Li et al., 2020). Las reacciones químicas que ocurren durante la dextrinización del almidón en el aire son complejas e implican hidrólisis, transglucosidación, repolimerización y oxidación. Los enlaces glicosídicos de α -1,4 y α -1,6 se hidrolizan parcialmente durante las etapas de presecado e inicial de la dextrinización (Drzymala et al., 2002). La hidrólisis del almidón da lugar a una disminución de la masa molar, un aumento de la solubilidad y una disminución de la viscosidad. La transglucosidación en el almidón implica menos enlaces α -1,4 glicosídicos con la formación de nuevos enlaces α -1,6, β -1,6, α -1,2, y β -1,2 (Hu et al., 2019). En la repolimerización hay un aumento de la viscosidad y una disminución del azúcar (Lovera et al., 2020). La formación de enlaces glucosídicos distintos de los enlaces α -1,4 y α -1,6 resultantes de la pirodextrinización ha atraído la atención con respecto a su resistencia a las enzimas digestivas y los posibles beneficios para la salud de la humanidad. Se ha demostrado que la pirodextrina tiene un bajo impacto en la glucemia y el nivel de insulina y su resistencia a la hidrólisis enzimática se atribuyó a la formación de vínculos 1→2 y 1→3 durante el proceso (Lin et al., 2018).

Almidón y su digestibilidad: almidón resistente

De acuerdo con el índice y grado de digestión *in vitro* los almidones se han clasificado en tres fracciones principales (Villarreal et al., 2018a).



- a) almidón rápidamente digerible: la porción digerida en los primeros 20 minutos de incubación.
- b) almidón de digestión lenta (ADL): la porción de almidón digerido de 20 a 120 minutos.
- c) almidón resistente (AR): la fracción de almidón que es resistente a la hidrólisis de las enzimas digestivas.

El AR es un componente alimentario funcional de bajo contenido calórico. Resiste la hidrólisis por digestión enzimática en el intestino delgado, pero se somete a una fermentación completa o parcial en el colon y genera ácidos grasos de cadena corta (Artavia et al., 2020; Higgins, 2004).

La clasificación del AR se subdivide en 5 tipos: I, II, III, IV y V. El tipo I, representa el almidón que se encuentra en forma físicamente inaccesible como los granos y semillas. El tipo II, se encuentra en forma granular y es resistente a la digestión enzimática. El tipo III, representa la fracción de almidón más resistente y es principalmente amilosa retrógrada que se forma durante el enfriamiento del almidón gelificado, éste es totalmente resistente a la digestión por amilasas pancreáticas. El tipo IV, incluye estructuras de almidones modificados obtenidos por tratamientos químicos como el éster de fosfato de almidón y el tipo V corresponde a almidones modificados unidos a lípidos (Sajilata et al., 2006).

Efectos fisiológicos a la salud por consumo de almidón resistente

El AR tiene impactos potenciales en la prevención o terapia de ciertas enfermedades metabólicas (Artavia et al., 2020). Éste proporciona muchos de los beneficios de la fibra dietética, por lo tanto, puede ayudar a controlar el peso debido



al menor contenido calórico, la sustitución del almidón de rápida digestión por el AR reduce la densidad energética de la dieta (Birt et al., 2013). Los estudios clínicos iniciales demostraron que los almidones resistentes muestran beneficios fisiológicos prometedores en los humanos y pueden prevenir enfermedades. Entre los posibles beneficios fisiológicos se encuentran la atenuación de los niveles de glucosa e insulina en la sangre, efectos positivos en la salud del intestino grueso y la prevención del cáncer de colon, una mayor absorción de minerales, su uso como prebiótico y el aumento de la oxidación de las grasas (Al-Tamimi et al., 2010). Esto debido a que, por sus características físicas, no puede ser digerido por las enzimas digestivas del intestino delgado y es fermentado por las bacterias de la microbiota. Posteriormente, se desencadena la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el butirato y el propionato los cuales pueden ser absorbidos por las células L del colon (Aristizábal et al., 2007), que sirven como fuente de energía para el colon, mejorando la integridad de la barrera epitelial intestinal y actuando como agente protector del daño al ADN. Los AGCC que no son metabolizados por los colonocitos son absorbidos e integrados hacia la circulación (Villarreal et al., 2018a), donde tienen impacto en la permeabilidad intestinal, regulan la homeostasis de la glucosa y pueden alterar los perfiles séricos, del tejido adiposo y del hígado, además afectar al almacenamiento de energía y a las señales lipídicas (He et al., 2020). Todo esto mediante la transformación de los AGCC en GLP-1 o PYY el cual se distribuye a través del torrente sanguíneo para llegar a diversos sistemas ocasionando los efectos anteriores (Hernández et al., 2019).



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha observado un incremento de las enfermedades crónicas no transmisibles asociadas a estilos de vida no saludables. En la población adulta el sobrepeso y la obesidad se asocian con una mayor mortalidad (Hernández Rodríguez et al., 2016).

A nivel mundial la obesidad ha alcanzado cifras epidémicas y cada año mueren 2.8 millones de personas a causa de esta o del sobrepeso. En México, para el 2018 el porcentaje de adultos con sobre peso y obesidad fue de 75.2 %, superando al 2012 que fue de 71.3 % (Levy et al., 2020). El consumo de productos con elevado contenido de azúcares, como galletas, pan blanco, dulces y caramelos, postres, bebidas azucaradas, carnes procesadas y papas fritas, es de los principales factores para el aumento de peso, esto predice un riesgo mayor de padecer enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, obesidad y dislipidemias (Franco, 2020).

En México, las enfermedades cardiovasculares representan la tercera causa de muerte en la población y su prevalencia se ha incrementado por el aumento de los factores de riesgo y sus comorbilidades (García & Ledezma, 2018) principalmente a partir de los 50 años, llegando al 26.7 % en el grupo de 70 a 79 años en el 2018 (Levy et al., 2020). Las investigaciones para lograr obtener resultados con respecto los efectos de la obesidad se han llevado a cabo mediante modelos animales en los que se maneja la ingesta de dietas altas en calorías. Las dietas enriquecidas en azúcares incluidas las bebidas azucaradas se han relacionado con el aumento de riesgo de hipertrigliceridemia, obesidad,



diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Estas dietas permiten simular la ingesta en el ser humano y permiten lograr depósitos de grasa en los animales que para el desarrollo crónico de las alteraciones metabólicas antes mencionadas (Burgeiro et al., 2017). Una reducción calórica de 20 % en los alimentos con elevado contenido energético en México, podría prevenir 1.4 millones de enfermedades no transmisibles y ahorrar 1.9 millones de pesos al año en costos de salud, así también, promover cambios en los productos alimentarios, como subsidiar alimentos funcionales (García-García et al., 2008). Existe la extracción de almidón, en el caso de la industria alimentaria, este, es ampliamente utilizado, sin embargo, es necesariamente modificado, para aumentar sus propiedades funcionales (Polesi et al., 2018). Por lo que, se formula la pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto del almidón modificado de yuca y de camote sobre el metabolismo de ratas con dieta alta en sacarosa?



JUSTIFICACIÓN

El consumo de fibra dietética ha sido asociado con una reducción en el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles. Enfocándonos al AR, que tiene funciones similares a las de la fibra dietética, ha sido ampliamente estudiado ya que el 60 o 70% de la energía total consumida por la mayoría de las personas en todo el mundo proviene de alimentos a base de almidón.

El hecho de encontrar el almidón en la mayoría de los productos alimenticios es porque este tiene un bajo costo de producción, además de que es un producto con alta aceptación por la mayoría de las personas que lo consumen, esto gracias a su sabor suave, a su color claro y que al mezclarse con otros ingredientes este presenta una baja capacidad de retención de agua.

Por lo anterior, se destaca el interés en el uso de la biotecnología, para incrementar el contenido de AR presente en productos alimentarios. Con el fin de que puedan ser distribuidos y adquiridos para consumo humano. Al respecto, el tratamiento de pirodextrinización en almidones nativos, es una alternativa anteriormente estudiada en almidón de banano para incrementar el contenido de AR.

El maíz es la principal fuente de almidón en el mundo, por lo cual, su costo llega a aumentar comúnmente. Al respecto, es factible buscar fuentes alternativas para extraer almidón, este es el caso de tubérculos como la yuca y el camote, que presentan considerables rendimientos de almidón. Además, la yuca y el camote son más redituables que el maíz en cuanto a los costos de producción.

Siendo estos tubérculos, de producción importante en el sureste mexicano, resulta interesante, modificar el AN mediante el proceso de pirodextrinización, para lograr



incrementar su contenido de AR, y evaluar sus propiedades funcionales. Anteriormente se han evaluado los efectos del almidón resistente en modelos animales con dietas altas en carbohidratos para simular los efectos de las dietas altas en azúcares que actualmente son las que provocan el incremento del peso corporal en humanos. Al respecto sería de gran importancia evaluar los efectos de las pirodextrinas de yuca y camote sobre el metabolismo de ratas con una dieta alta en sacarosa.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



HIPÓTESIS

El consumo de almidón pirodextrinizado de yuca (*Manihot esculenta*) y de camote (*Ipomoea batatas*) podría favorecer el control metabólico, glucémico y lipídico en ratas con dieta alta en sacarosa.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



OBJETIVOS

Objetivo General

Modificar el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y de camote (*Ipomoea batatas*) y evaluar los efectos metabólicos de su consumo en un modelo de rata con dieta alta en sacarosa.

Objetivos Específicos

1. Pirodextrinizar los almidones nativos de yuca y de camote; y determinar los principales factores que influyen en el aumento de resistencia a la digestión.
2. Determinar el contenido de almidón resistente en los almidones nativos y modificados.
3. Evaluar el efecto de la pirodextrinización sobre los almidones nativos, mediante la determinación de propiedades morfológicas y funcionales.
4. Evaluar el efecto de la ingesta de las pirodextrinas de yuca y camote, sobre el peso corporal, respuesta glucémica, niveles séricos de glucosa y lípidos, grado de obesidad, así como lípidos totales, colesterol total, colesterol-HDL, triglicéridos en hígado y tamaño del hígado.

MATERIAL Y MÉTODO

De manera general, la metodología empleada para llevar a cabo este estudio consistió en dos etapas, comenzando con la modificación del almidón nativo de yuca y camote, mediante pirodextrinización y posteriormente, se llevó a cabo la evaluación sobre el efecto metabólico por la ingesta de almidón modificado de yuca y camote en un modelo de rata con dieta alta en sacarosa.

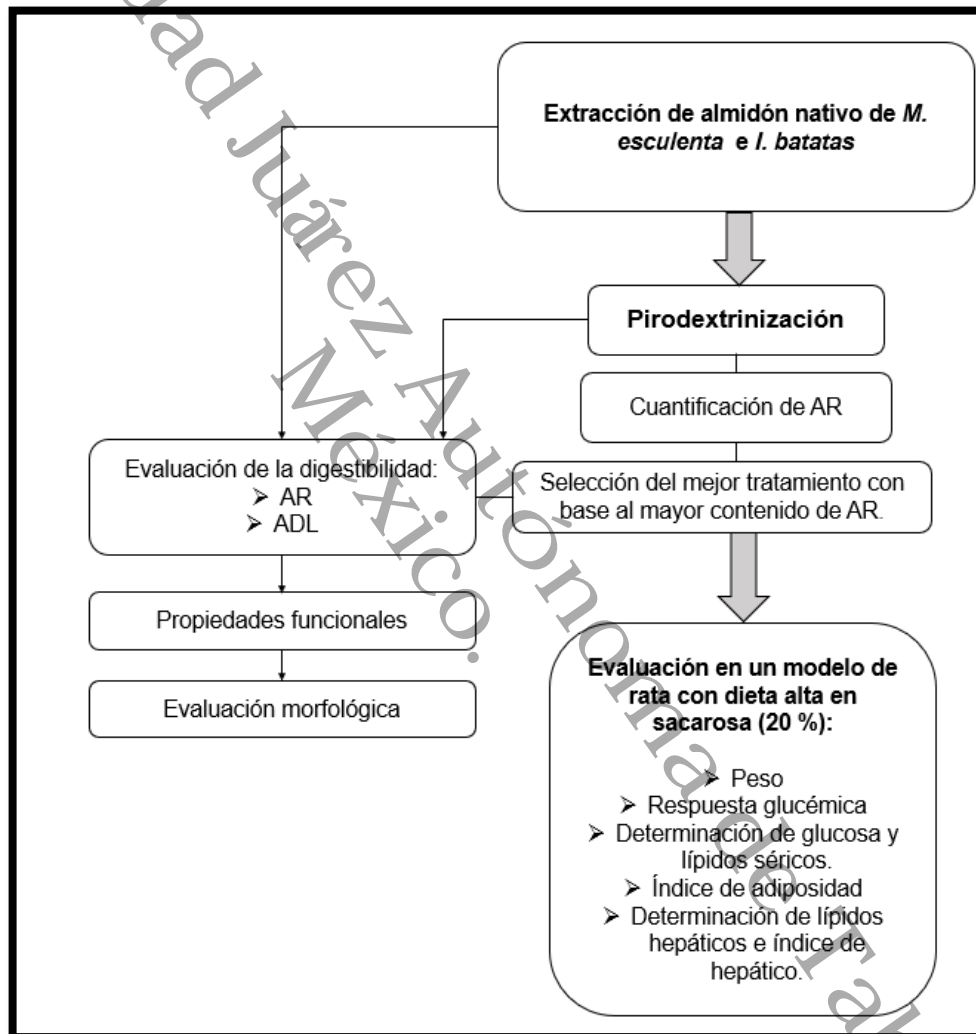


Figura 1 Diagrama general de desarrollo experimental del estudio. Diagrama del desarrollo que incluye una etapa de modificación del almidón nativo y una segunda etapa de evaluación de los productos obtenidos sobre el metabolismo de ratas con dieta alta en sacarosa. AR: almidón resistente, ADL: almidón de digestión lenta.



Compuestos químicos

Todos los productos químicos que se utilizaron para llevar a cabo la extracción y las modificaciones al almidón nativo, así como para las determinaciones a los tratamientos, fueron de la marca J. T. Baker (Phillipsburg, NJ) y de Megazyme se utilizó el K-RSTAR (Megazyme International Ireland) para la cuantificación de almidón resistente y almidón de digestión lenta. Para realizar las pruebas de TOG en las ratas con dieta alta en sacarosa, se utilizó un glucómetro y tiras reactivas para prueba de glucosa de la marca FreeStyle.

Material biológico

La yuca (*Manihot esculenta*) y el camote (*Ipomoea batatas*) empleados para el presente estudio, fueron adquiridos en una plantación del municipio de Jalapa, Tabasco (Longitud 94°7'48"W a 90°59'15"W, Latitud 17°15'3.24"N a 18°39'3.6"N). Los tubérculos fueron producto de post-cosecha de aproximadamente 1 y 4 días de haber sido cortados. Para el ensayo *in vivo*, se utilizaron 56 ratas macho variedad Wistar con pesos de entre 250 a 280 g (Larqué et al., 2011). El manejo de las ratas se condujo bajo normas de SAGARPA 2005, a la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 y la Guía Internacional para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio NRC 2002.

El protocolo del ensayo *in vivo* fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco después de haber integrado al expediente las recomendaciones emitidas y entregadas por la subcomisión de medicina y ciencias de la salud, con el folio 0804.



La producción, manejo y cuidado de los roedores se realizó en la Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal (UPCEA), ubicada en la División Académica de Ciencias de la Salud (DACS) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), bajo condiciones medio ambientales controladas de temperatura ($21 \pm 1^\circ\text{C}$), y 12 horas de luz/oscuridad, con acceso a agua purificada (AP) alimento a libre demanda (dieta convencional proporcionada por Harlan Teklad para roedores con 18 % de proteína) durante toda la fase experimental.

Extracción del almidón nativo

Para el seguimiento del objetivo 1 se realizó la extracción del almidón nativo de *los tubérculos* utilizando el método descrito por (Toraya-Avilés et al., 2017). Los rizomas fueron cosechados a los 11 meses. Se lavaron con agua a chorro y se pesaron en la balanza de precisión. Se les retiró la cáscara con un cuchillo y se cortaron en cubos de aproximadamente 3 cm. Posteriormente, fueron sumergidos durante 30 min en una solución de ácido cítrico al 0.3 %, en una relación 1:2 (p/v). Después, triturados en una licuadora industrial durante 4 min para reducir las partículas utilizando el agua del remojo. El material resultante se colocó en recipientes con una solución de ácido cítrico al 0.3 % en una relación 1:1 (v/v), el filtrado se dejó sedimentar dentro de un refrigerador a 5°C durante 24 h. Transcurrido este tiempo el líquido sobrenadante se eliminó por decantación con la finalidad de recuperar el almidón. Posteriormente, el sedimento se extendió en bandejas utilizando papel filtro poro no. 16 y fue secado en un horno de convección (Binder) a 50°C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se recolectó y trituró en un molinillo (KRUPSGX410011, Francia) hasta obtener un polvo y fue tamizado (malla No. 100).



El almidón se almacenó en recipientes de plástico sellados herméticamente para su posterior uso.

Modificación química por pirodextrinización

Para la pirodextrinización de *M. esculenta* e *I. batatas* se utilizó un diseño factorial 2^3 con cuatro réplicas centrales. Los factores y sus correspondientes niveles fueron: relación almidón/ácido (HCL 2.2 M) en una proporción de 80:1 y 160:1 p/v; temperatura (90°C y 110°C) y tiempo de reacción (1 y 3 h) (Tabla 1). El experimento se llevó a cabo de acuerdo con el método de (Toraya-Avilés et al., 2017). Se colocaron 15 g de almidón nativo (b. s) en una caja Petri de 100 x 15 mm. Se adicionó a la muestra HCl 2.2 M con base a la relación establecida para cada tratamiento. El ácido se dispersó en el almidón y se dejó reaccionar por 16 h. Posteriormente, las cajas petri se colocaron en un horno de convección (Fisher Scientific, Hampton, U.S.A.) a la temperatura y durante el tiempo correspondiente a las condiciones del tratamiento. Los almidones pirodextrinizados fueron tamizados (malla No. 100), y se llevó a cabo la determinación de AR (Megazyme International, Ireland) a cada tratamiento, utilizando este resultado como variable de respuesta para evaluar los tratamientos.

Determinación de almidón resistente y almidón de digestión lenta

Las pirodextrinas de yuca y camote seleccionadas como el mejor tratamiento, fueron evaluadas para determinar su contenido de AR y ADL. Ambas determinaciones se realizaron de acuerdo con la técnica descrita en el kit para análisis de almidón resistente que provee Megazyme (Megazyme International Ireland), el cual ha sido aceptado y avalado por los métodos oficiales de la AOAC International (2002.02) y



la AACC International (32-40.01). Las muestras fueron introducidas en una incubadora con agitación (Felisa®) y sometidas a incubación con α -amilasa pancreática y amiloglucosidasa por 4 h a 37 °C. El ADL se recuperó después de 120 minutos y fue disuelto en buffer de acetato; el AR se recuperó después de 240 minutos y disuelto en etanol al 95 % para detener la reacción enzimática. El almidón fue cuantitativamente hidrolizado a glucosa por acción enzimática de la amiloglucosidasa. La D-glucosa se cuantificó con reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (Megazyme International Ireland), lo cual representa la cantidad de AR presente en la muestra. El contenido de ADL se representa en la siguiente fórmula (g/100 g de muestra):

$$= \Delta A \times F \times EV/W \times D/0.1 \times 100 \times 1/1,000,000 \times 162/180$$

$$= \Delta A \times F \times EV/W \times 0.0189$$

El contenido de AR se representa en la siguiente fórmula (g/100 g de muestra):

$$= \Delta A \times F \times EV/4 \times FV/0.1 \times 1/1,000,000 \times 100/W \times 162/180$$

$$= \Delta A \times F \times EV/W \times FV \times 0.000225$$

Donde:

ΔA = absorbancia (reacción) leída frente al blanco de reactivo después de 20 min (ARD); después de 120 min-20 min (ADL); después de 240 min Almidón total (AT).

F = conversión de absorbancia a μg (se determina la absorbancia obtenida para 100 μg de D-glucosa en la reacción GOPOD) [F = 100 (μg de D-glucosa) dividido por la absorbancia GOPOD para estos 100 μg de D-glucosa].

EV = volumen de extracción (mL).

W = peso "tal cual" de la muestra analizada en g; es decir, ~ 0,50 g o ~ 1,0 g.



D = dilución de la muestra (2l; 1,0 mL de muestra añadidos a 20 mL de ácido acético diluido).

0,1 = volumen de la muestra analizada.

100 = conversión a g/ 100 g.

1.000.000 = conversión de ug a g.

162/180 = factor de conversión de la D-glucosa libre, tal y como se ha determinado, a la anhidro-D-glucosa tal y como aparece en el almidón.

4 = volumen de solución tomado de la mezcla de reacción para el análisis de RS.

FV/0.1 = alícuotas de 0.1 mL tomadas del volumen final (FV; ya sea 100 mL o 10.3 mL) para la determinación de glucosa usando el reactivo GOPOD.

100/W = conversión a g/ 100g.



Tabla 1 Condiciones experimentales para pirodextrinización.

Tratamiento	Factores y niveles		
	Almidón/ácido (HCl 2.2 M)	Temperatura (°C)	Tiempo de reacción (h)
1	80:1	90	1
2	80:1	110	1
3	160:1	90	1
4	160:1	110	1
5	80:1	90	3
6	80:1	110	3
7	160:1	90	3
8	160:1	110	3
9	120:1	100	2
10	120:1	100	2
11	120:1	100	2
12	120:1	100	2

Evaluación morfológica y funcional

Para evaluar el efecto de la pirodextrinización sobre los almidones nativos, se realizó la evaluación funcional y morfológica, esta última fue realizada en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Mérida, en Mérida, Yucatán, México.

Microscopía electrónica de barrido

El análisis morfológico se realizó en un microscopio electrónico JEOL modelo JSM-7610F (FESEM, U.S.A.), con resolución 1 nm, ampliación 500 X con micrografía de 10.3 mm, acelerador de voltaje 5 kV, corriente de onda de hasta 200 nA. Las muestras se separaron colocándolas sobre papel conductor de carbono y se



metalizaron con una aleación oro-platino durante 1 min con la ayuda de un revestidor giratorio (Quorum modelo Q150R ES) posteriormente se analizaron en el microscopio electrónico (JEOL modelo JSM-7601F) para determinar si hubo en las pirodextrinas, cambios en tamaño, forma y estructura granular por efecto del tratamiento (Ottenhof & Farhat, 2004).

Difracción de rayos x y cristalinidad

Los patrones de DRX para almidones nativos y pirodextrinizados, fueron obtenidos mediante un difractómetro de rayos X de ángulo ancho (Bruker D8-Advance, U.S.A.), equipado con fuente de cobre y operado a 40 kV y 30 mA en un rango angular 2 theta entre 3 y 60 ° con radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$). La medición se llevó a cabo cada 0.02 °/s, y los datos se recolectaron en un intervalo de 4 a 38 ° cada 0.1 °, con velocidad de barrido de 60 °/s. La línea base del difractograma se corrigió en el intervalo de barrido y el vector se normalizó con el programa OPUS 3.0 (Bruker, UK) (Ottenhof & Farhat, 2004). Se determinó el grado de cristalinidad de las muestras de acuerdo con (Nara & Komiya, 1983), midiendo directamente al trazar en los difractogramas una curva que conecta las líneas de base a pico. El área por encima de la curva fue tomada como la porción cristalina, y el área más baja entre la curva y una línea base que conecta los puntos de intensidad en las muestras, se tomó como parte amorfa. El área del pico de difracción superior y el área de difracción total sobre el ángulo de difracción, fueron integradas en el programa EVA versión 4.1.1. (2015). La relación del área superior al área total de difracción se tomó como el grado de cristalinidad, el cual permite evaluar si hay modificación en la estructura interna del gránulo.



Propiedades funcionales

Gelatinización

La temperatura de gelatinización se determinó mediante Calorimetría diferencial de barrido (CDB), utilizando un equipo DSC-6 (Perkin Elmer, U.S.A), a una velocidad de calentamiento de 10° C/min para el AN y 5° C para la pirodextrina elegida, con flujo de calentamiento desde 30 a 120° C. La temperatura Inicial (Ti), Temperatura Pico (Tp), Temperatura Final (Tf) y la entalpía de gelatinización (ΔH), se obtuvieron del termograma resultante (Ruales & Nair, 1994).

Solubilidad y poder de hinchamiento

La solubilidad y el poder de hinchamiento se determinaron de acuerdo con el método establecido por (Sathe & Salunkhe, 1981). En un tubo de centrifuga de 50 mL previamente tarado, se separaron 40 mL de una suspensión de almidón al 1 % (p/v) en base seca. Después se introdujo un agitador magnético al tubo y se colocó en un baño de agua (Cole Parmer, U.S.A) a temperatura constante (25, 60, 70, 80 y 90 °C), se adaptó al tubo un termómetro y se le proporcionó agitación constante para mantener la suspensión uniforme durante 30 min. Transcurrido el tiempo, se retiró el tubo del baño, y el agitador de la suspensión, se secó el tubo y se colocó en una centrifuga a 2121 xg durante 15 min. El sobrenadante obtenido se decantó y se pesaron los gránulos hinchados del sobrenadante en una balanza. Del sobrenadante se tomaron 10 ml y se colocaron en un crisol a peso constante para secarlos a 120 °C durante 4 h en una estufa (Fisher Scientific, Hampton, U.S.A). Transcurrido ese tiempo, las muestras fueron pesadas.



Se calculó la solubilidad y el poder de hinchamiento mediante las siguientes fórmulas:

% Solubilidad

$$= \text{Peso del almidón soluble (g)} \times 100$$

$$\div \text{Peso muestra (g) (b.s.)}$$

Donde: 100 es el factor para representar la solubilidad como un porcentaje del peso de la muestra.

(g)(b.s.) Poder de hinchamiento (g/g)

$$= \text{Peso del sedimento (g)}$$

$$\div \text{Peso muestra (g)(b.s.)} \times \text{Peso de la muestra disuelta (g)}$$

Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua se evaluó de acuerdo con (Anderson et al., 1970) Se prepararon 40 ml de una suspensión de almidón al 1 % (p/v) en base seca (P1) y se le introdujo un agitador magnético. Después se colocó en un baño de agua (Cole Parmer, U.S.A) a temperatura constante (25, 60, 70, 80 y 90 °C); y se le proporcionó agitación constante a la suspensión para mantenerla uniforme durante 30 min. La suspensión se colocó en una centrifuga (Orto Alresa, España) a 2121 x g durante 15 min. Por último, el gel resultante se pesará (P2). La capacidad de absorción de agua se calculó como el peso (g) del gel por gramo de muestra seca:



Capacidad de absorción de agua

$$= \text{Peso de la muestra (g)}(b.s.)$$

$$\div \text{Peso de los gránulos hinchados (g)}$$

Evaluación de las pirodextrinas de yuca y camote sobre el efecto metabólico en ratas con dieta alta en sacarosa.

Desarrollo experimental

Para llevar a cabo el objetivo 4, el experimento se dividió en dos periodos: un periodo con dieta alta en sacarosa (DAS), la cual consistió en una solución de agua purificada (AP) + sacarosa al 20 % (por veinte semanas); y un periodo de tratamiento (cuatro semanas) con almidón modificado de yuca, y camote en distintas dosis aunado a la DAS (Figura 2).

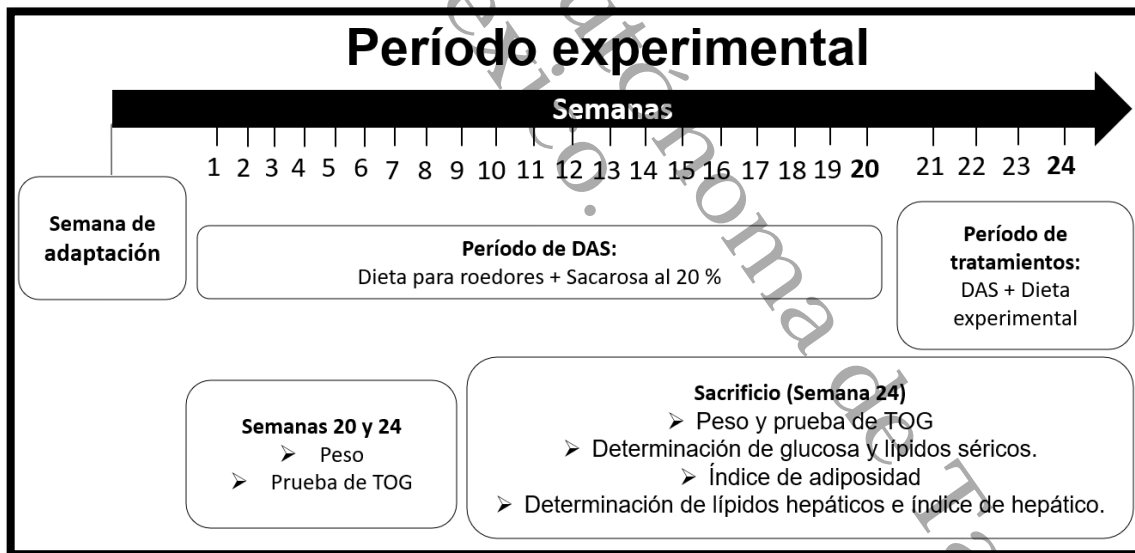


Figura 2. Diagrama metodológico del experimento. Descripción de la etapa de evaluación de las pirodextrinas obtenidas por la modificación al almidón nativo de *M. esculenta* e *I. batatas*. TOG: tolerancia oral a la glucosa, DAS: dieta alta en sacarosa.



Posterior a una semana de adaptación, ocho ratas para el grupo de dieta normal (DN) recibieron dieta convencional para roedores + AP y 48 ratas formaron el grupo de dieta alta en sacarosa (DAS), estos recibieron dieta convencional para roedores + sacarosa al 20 % durante todo el periodo experimental (Larqué et al., 2011). Al término de la primera fase (veinte semanas), las 48 ratas con DAS fueron divididas aleatoriamente en seis grupos de ocho animales cada uno para integrar los siguientes grupos experimentales: DAS (Dieta alta en sacarosa), DAS + HM (Hi-Maize®, 1g/kg), DAS + PY1 (Pirodextrina de yuca, 1 g/kg), DAS + PY2 (Pirodextrina de yuca, 1.5 g/kg), DAS + PC1 (Pirodextrina de camote, 1 g/kg) y DAS + PC2 (Pirodextrina de camote, 1.5 g/kg). Las dosis fueron administradas mediante una sonda gástrica, de acuerdo con el peso corporal de cada animal (Zhou et al., 2014). Ambos controles (DN y DAS) recibieron AP como tratamiento mediante la misma ruta de dosificación y durante el mismo periodo. La ganancia de peso corporal fue monitoreada de manera semanal en una báscula OHAUS, U.S.A., y el consumo de agua y alimento se registró diariamente. Ambos controles (DN y DAS) recibieron AP como tratamiento mediante la misma ruta de dosificación y durante el mismo periodo (cuatro semanas). Al finalizar las semanas 20 y 24, se llevó a cabo la prueba de Tolerancia Oral a la Glucosa (TOG).

Prueba de tolerancia oral a la glucosa

Para esta prueba, todos los animales fueron puestos en ayuno de 12 h, posteriormente se les administró por vía intragástrica, a través de una sonda, una dosis de 1 g/kg de glucosa. A continuación, se tomaron muestras sanguíneas de la cola del animal a los tiempos de 0, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos para determinar la



concentración de glucosa por medio de un glucómetro FreeStyle. El cálculo del área bajo la curva (ABC) de la TOG se realizó mediante el método trapezoidal descrito previamente (Jalal et al., 2007), empleando la siguiente fórmula:

$$\text{ABC}_{\text{Glucosa}} = (G_0 + G_{15}/2)15 + (G_{15} + G_{30}/2)15 + (G_{30} + G_{60}/2)30 + (G_{60} + G_{120}/2)60$$

Donde:

ABC_G = Área bajo la curva de la prueba de Tolerancia Oral a la Glucosa.

$G_0, G_{15}, G_{30}, G_{60}$ y G_{120} = Niveles de glucosa medidos.

Determinación de glucosa y lípidos séricos

Al final del tratamiento (semana 24), tras 12 horas de ayuno, los animales fueron anestesiados vía intraperitoneal con ketamina (50 mg/kg) + xilasina (10 mg/kg) i. p. Se realizó punción cardíaca para recolectar la sangre en tubos BD Vacutainer® sin anticoagulante, posteriormente los animales fueron sacrificados mediante dislocación. La sangre se centrifugó a 1500 X g durante 30 min para obtener el suero (Eppendorf®). El cual fue separado y colocado en tubos con rosca de 5 ml, para ser almacenado en un congelador a -70 °C, para su posterior estudio.

Después del sacrificio, se llevó a cabo la extracción de los principales tejidos grasos y el hígado, el cual, fue pesado y medido con hojas milimétricas. Los hígados fueron colocados en contenedores de papel aluminio, y almacenados a -70 °C en un congelador para el posterior análisis de colesterol total, triglicéridos e índice hepático.



Índice de adiposidad

Para determinar el índice de adiposidad (IA) se extrajeron de las ratas los principales depósitos de grasa (visceral, epidídimo y retroperitoneo) y fueron pesados de forma individual en una balanza OHAUS, U.S.A.; y calculado de acuerdo con (Nascimento et al., 2011), utilizando la siguiente fórmula:

$$IA = (\text{Grasa corporal total (g)}) / (\text{Peso corporal final (g)}) \times 100$$

Donde:

IA = Índice de adiposidad.

Grasa corporal total = suma de los principales tejidos grasos.

Determinación de lípidos totales, colesterol y triglicéridos en hígado

En el hígado se llevaron a cabo la cuantificación de lípidos totales de acuerdo con (Folch et al., 1957), el CT y los TG hepáticos se realizaron mediante métodos enzimáticos-colorimétricos, utilizando las siguientes técnicas. Se pesaron 500 mg de hígado de un mismo lóbulo en una báscula Triple Beam marca OHAUS, U.S.A.; y fueron homogenizados en 5 mL de buffer de fosfato a pH 7.2. Se le añadieron 10 mL de la mezcla extractora (cloroformo-metanol 3:1), y se agitó fuertemente (2 min) para liberar los gases. El contenido fue centrifugado a 3,000 rpm en una centrifuga (Orto Alresa, España) durante 5 min. La capa superior formada se eliminó con una bomba de vacío, el parénquima intermedio fue eliminado y la fase inferior lipídica fue extraída y colocada en tubos de vidrio de 20 mL previamente tarados. El contenido se evaporó en una estufa (Binder 23 ED, Tuttlingen, Alemania) a 60 °C por 24 h, y posterior a enfriarse, se pesó. La cuantificación de lípidos totales se obtuvo por diferencia de peso. Los lípidos obtenidos de la extracción de hígado



fueron reconstituidos utilizando 1 mL de cloroformo y agitación en vortex (Unico®, LVM-1000, U.S.A.). Se tomaron 5 µL y fueron evaporados a 60 °C en una estufa (Binder 23 ED, Tuttlingen, Alemania) durante 24 h. El sedimento fue suspendido en 100 µL de buffer de fosfato pH 7.2 y mezclado con vortex. Se tomó 1 mL del reactivo enzimático (específico para CT o para TG) e incubó a 37 °C durante 10 min en un baño (Cole Parmer, U.S.A.). Las muestras fueron leídas a una longitud de onda de 505 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 Thermo Scientific, U. S. A.) contra un blanco de reactivos preparado con agua. Se realizaron los cálculos tomando en cuenta el volumen usado en el extracto, su volumen total y la concentración del patrón empleado en cada caso. Las concentraciones se expresaron como mg de CT o de TG por g de hígado.

Índice hepático

El índice del hígado de acuerdo con (Ji et al., 2011), fue estimado conforme a la proporción del peso del hígado con el peso corporal total, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice hepático} = \frac{\text{Peso del hígado (g)}}{\text{Peso corporal final (g)}} \times 100$$

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos de los tratamientos de pirodextrinización fueron procesados mediante análisis de varianza a un nivel de significancia de $p < 0.05$, según los métodos reportados por (Montgomery, 2005). También se realizó el análisis de regresión a través del programa estadístico Statgraphics plus 5.1.



Los datos obtenidos de las propiedades funcionales evaluadas fueron procesados mediante estadística descriptiva para obtener medidas de tendencia central y de dispersión.

Para evaluar el efecto producido por la ingesta de DAS consumida durante 20 semanas se utilizó una prueba t de Student para compararlas con el control que consumió agua purificada. Al evaluar el efecto producido en las ratas por la ingesta de los tratamientos en el ensayo *in vivo*, las variables de respuesta fueron: peso corporal, glucosa, triglicéridos, colesterol y HDL-colesterol en suero; índice de adiposidad, presión arterial, parámetros hepáticos (Colesterol, HDL-colesterol, triglicéridos e índice de adiposidad).

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico GraphPad Prism 8.0.1. Los resultados se expresarán como la media aritmética \pm error estándar. Se realizaron análisis de varianza de una factor y de dos factores de medidas repetidas con un nivel de significancia de $p < 0.05$; para determinar las diferencias entre las medidas de los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey.



RESULTADOS

Modificación química por pirodextrinización del almidón de *M.*

Esculenta e I. Batatas

Manihot esculenta

Se observa en la tabla 2 que las pirodextrinas de *M. esculenta* presentaron valores de AR en un rango de 16.02 a 24.42 %. De acuerdo con el análisis de varianza de los datos obtenidos, los factores relación almidón/ácido (HCl) 80:1, temperatura de 110 °C y tiempo de reacción de 1 hora fueron significativos ($p < 0.05$) para obtener la mayor concentración de AR. El modelo matemático que explicó el comportamiento del porcentaje de AR en función al almidón: almidón-ácido (A), temperatura (B) y tiempo de reacción (C); así como a las interacciones de concentración de almidón-ácido/tiempo (AC) y temperatura/tiempo de reacción (BC), el cual está representado en la siguiente ecuación:

$$AR(\%) = 21.1675 - 1.3675 \times \text{concentración} - 0.665 \times \text{temperatura} - 2.66 \times \text{tiempo} + 0.0975 \times \text{temperatura} - 0.5975 \times \text{concentración} \times \text{tiempo} - 0.28 \times \text{temperatura} \times \text{tiempo}$$

Los valores más altos se registraron en los tratamientos 1 y 2 ($p < 0.05$), donde se utilizó la mayor proporción de ácido.

Ipomoea batatas

El contenido de almidón resistente de *I. batatas* mostró un rango de 20.90 % a 47.15 % posterior a la pirodextrinización (Tabla 3). De acuerdo con el análisis de varianza de los datos obtenidos, los factores que tuvieron significancia ($p < 0.05$) para la mayor producción de AR fueron el tiempo y la concentración.



Tabla 2. Contenido de almidón resistente en almidón nativo y pirodextrinizado de yuca (Manihot esculenta) (b. s).

Tratamiento	Almidón/ácido (HCl)	Temperatura (°C)	Tiempo de reacción (h)	AR (%)	ADL (%)
1	80 a 1	90	1	24.12 ^a	34.30 ^{ab}
2	80 a 1	110	1	24.42 ^a	33.60 ^{ab}
3	160 a 1	90	1	23.64 ^a	35.10 ^b
4	160 a 1	110	1	21.81 ^b	31.84 ^{ab}
5	80 a 1	90	3	21.82 ^b	38.25 ^{bc}
6	80 a 1	110	3	18.46 ^c	26.35 ^a
7	160 a 1	90	3	16.43 ^d	32.51 ^{ab}
8	160 a 1	110	3	16.02 ^d	44.56 ^c
9	120 a 1	100	2	21.02 ^{be}	36.28 ^b
10	120 a 1	100	2	21.52 ^{be}	37.41 ^b
11	120 a 1	100	2	21.50 ^{be}	37.70 ^b
12	120 a 1	100	2	22.03 ^{be}	34.40 ^b
Nativo				14.52	51.12

^{a-e} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Así también, las interacciones concentración/temperatura y concentración/tiempo mostraron significancia. Siendo la concentración el efecto principal para la mayor producción de AR. El modelo matemático propuesto para explicar el comportamiento del porcentaje de AR está relacionado en función a la concentración de almidón-ácido (A), y tiempo de reacción (C), y las interacciones de concentración almidón-ácido y temperatura (AB), lo cual está representado en la siguiente ecuación:

$$AR(\%) = 40.175 - 2 - 38125 \text{ concentración (A)} + 1.27875 \text{ temperatura (B)} \\ - 4.01875 \text{ tiempo (C)} + 3.16875 (AB) - 2.21275 (BC) - 0.10375$$



Los valores más elevados de AR se registraron en los tratamientos 5, 3 y 10 ($p < 0.05$), donde se utilizó la menor proporción de ácido.

Tabla 3. Contenido de almidón resistente en almidón nativo y pirodextrinizado de camote (*I. batatas*) (b. s)

Tratamiento	Almidón/ácido (HCl)	Temperatura (°C)	Tiempo de reacción (h)	AR (%)	ADL (%)
1	80 a 1	90	1	39.83 ^{bc}	20.33 ^{bc}
2	80 a 1	110	1	43.88 ^c	25.77 ^{cd}
3	160 a 1	90	1	46.98 ^c	17.83 ^b
4	160 a 1	110	1	42.26 ^c	5.43 ^a
5	80 a 1	90	3	47.15 ^d	21.49 ^{bcd}
6	80 a 1	110	3	20.9 ^a	21.26 ^{bcd}
7	160 a 1	90	3	32.44 ^b	26.71 ^e
8	160 a 1	110	3	40.31 ^{bc}	25.17 ^{cd}
9	120 a 1	100	2	42.3 ^c	17.06 ^b
10	120 a 1	100	2	44.74 ^c	19.68 ^b
11	120 a 1	100	2	41.08 ^c	19.27 ^b
12	120 a 1	100	2	40.23 ^c	17.32 ^b
Nativo				37.78	16.7

^{a-e} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Elección del tratamiento por pirodextrinización

La selección del tratamiento óptimo de pirodextrinización para ambos tubérculos, fue de acuerdo con el análisis de varianza de los resultados obtenidos de acuerdo con la variable de respuesta AR. Para *M. esculenta* se seleccionó el tratamiento 2, empleando la mayor relación almidón/ácido (HCL 80:1), la mayor temperatura (110 °C) y el menor tiempo de reacción (1 h). En el caso de *I. batatas* fue el tratamiento 5, donde la mejor respuesta se presentó con la mayor relación almidón/ácido (HCL) (80:1), la menor temperatura (90 °C) y el mayor tiempo de reacción (3 h).

Determinación de almidón resistente

Se observó que el AR en el AN de *M. esculenta* fue de 14.52 % y el ADL fue de 51.12 %, posterior al proceso de pirodextrinización el AR incrementó 10 % (24.42 %) y el ADL fue de 26.35 %, lo cual demuestra que, al aumentar la resistencia, el almidón digestible disminuyó, y de forma favorable se conservó ADL.

Con respecto *I. batatas* en forma nativa, se registró 37.78 % de AR y 16.7 % en ADL; al emplear el tratamiento de pirodextrinización el AR incrementó 10 % (47.15 %), y el ADL observado fue de 26.71 %

Evaluación morfológica

Microscopia electrónica de barrido

En la figura 3ª se observan las micrografías de los gránulos de AN de *M. esculenta*, estos reflejaron formas esféricas, ovaladas y truncas con un tamaño de diámetro de 4.69 μm a 17.2 μm . Los gránulos de las pirodextrinas presentaron forma esférica, oval y algunas formas poligonales con un tamaño de diámetro de 16.1 μm a 20.8 μm (figura 3b).

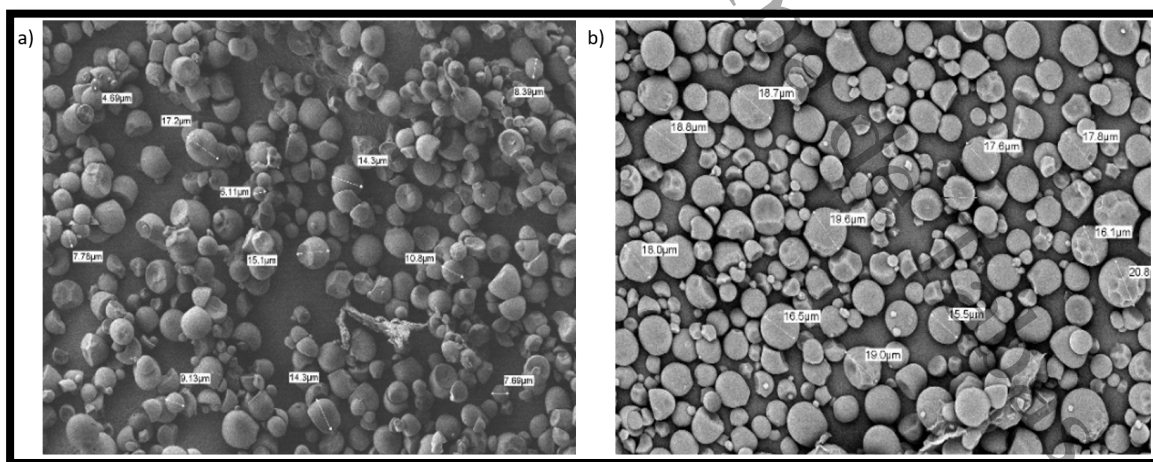


Figura 3. Micrografía de Almidón de *M. esculenta*. Micrografía electrónica de barrido del almidón nativo y pirodextrinizado de *M. esculenta*. a) Almidón nativo; b) Pirodextrina.

En la figura 4, se presentan las micrografías de *I. batatas*, los gránulos del AN se observaron de forma esférica, oval, acampanada con un tamaño de 5.34 μm a 24.1 μm ; los gránulos de la pirodextrina conservaron las mismas formas, más algunas poligonales con valores de diámetro de 5.20 μm a 24.2 μm (figura 4b).

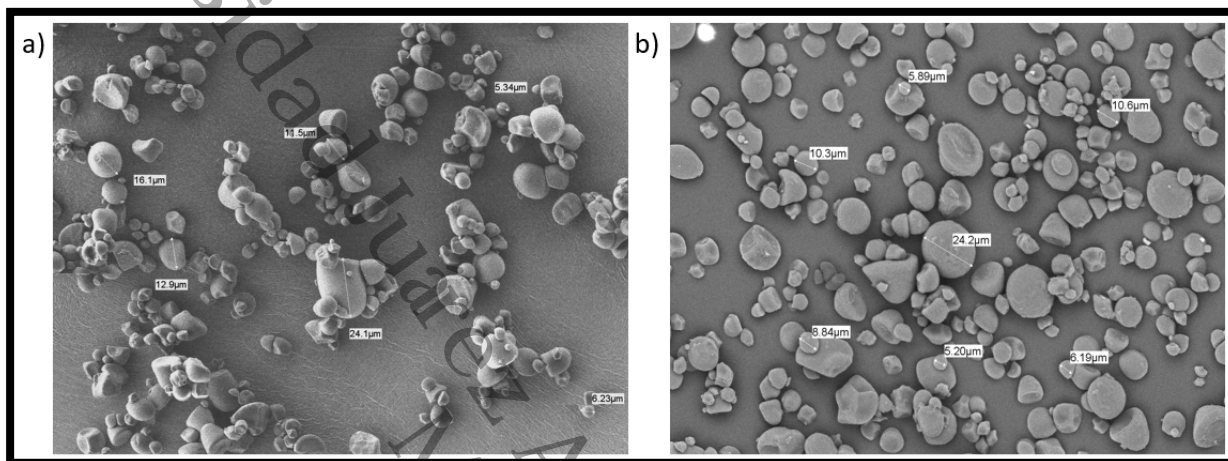


Figura 4. Micrografía del almidón de *I. batatas*. Micrografía electrónica de barrido del almidón nativo y pirodextrinizado de *I. batatas*. a) almidón nativo, b) pirodextrina.

Es posible observar que los gránulos de ambos tubérculos fueron ampliamente resistentes al tratamiento ácido de la pirodextrinización, por lo que no hubo pérdida granular. Lo cual, se traduce en la proporción de AR obtenida para ambas fuentes.

Difracción de rayos X

En la figura 5, se puede apreciar la difracción de rayos X de *M. esculenta* en su forma nativa y en la pirodextrina, fue de tipo C (mezcla del patrón tipo A y B), presentando picos de difracción en los ángulos 10 °, 15 °, 17 °, 18 ° y 23 °. El porcentaje de cristalinidad del AN fue de 41.5 %, disminuyendo a 35.4 % en la pirodextrina.



De igual forma, tanto el AN como la pirodextrina de *I. batatas*, presentaron un patrón de tipo C (figura 6), con picos de difracción en los ángulos 10° , 11.5° , 15° , 17° , 18° , 20° , 23° y 26.5° . La cristalinidad observada en el AN fue de 45.3 % y en la pirodextrina de 36.3 %.

Aunque fue observado un descenso en la cristalinidad de ambas fuentes posterior a la modificación, lo cual podría suponer un cambio morfológico por efecto de la pirodextrinización; el patrón de difracción de rayos X indicó que la estructura interna del gránulo nativo no fue desintegrada ni modificada tras ser pirodextrinizado.

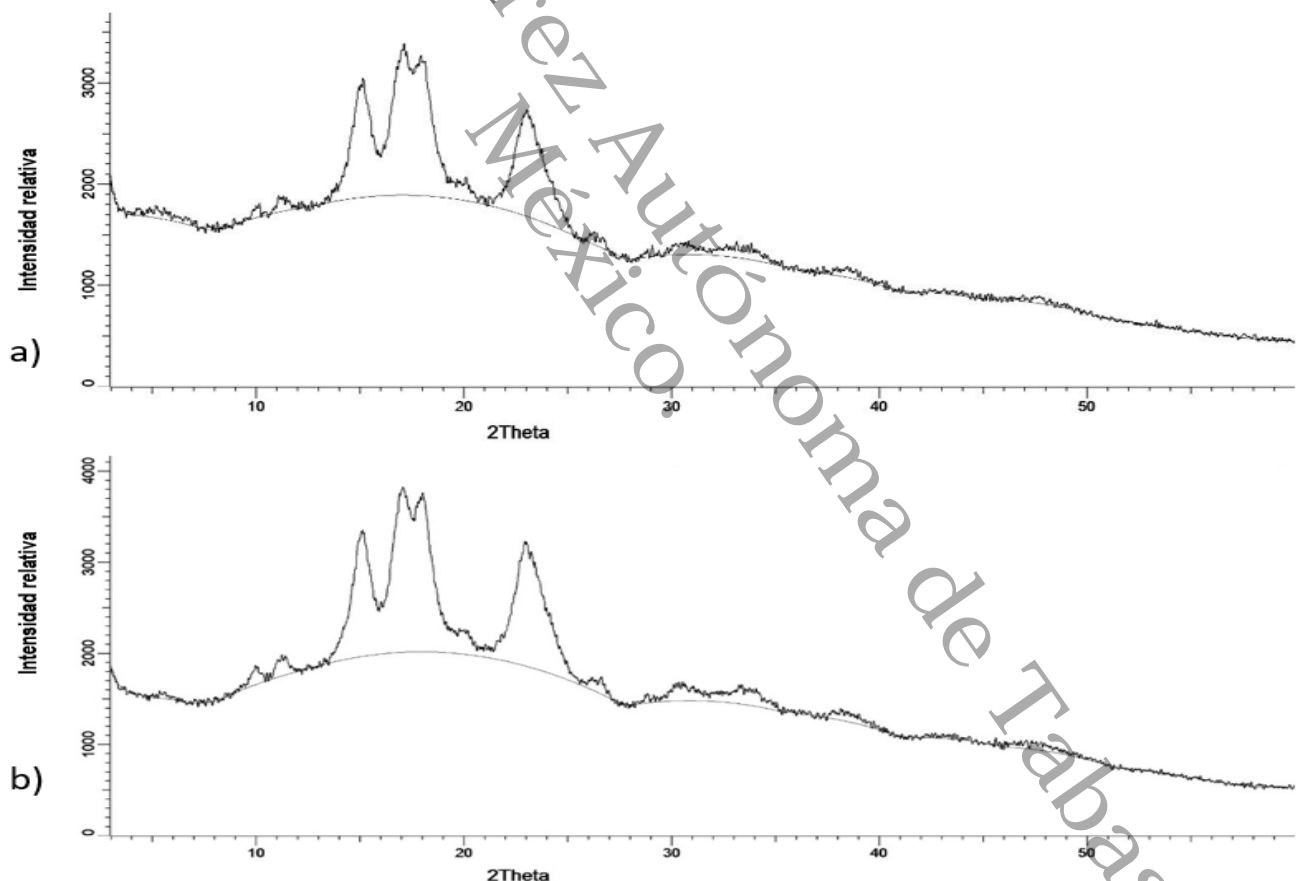


Figura 5. Patrón de difracción de rayos X de almidón de *M. esculenta*. Grado de cristalinidad del almidón nativo y la pirodextrina de *M. esculenta* representado con un patrón de difracción de rayos x. a) Almidón Nativo y b) Pirodextrina.

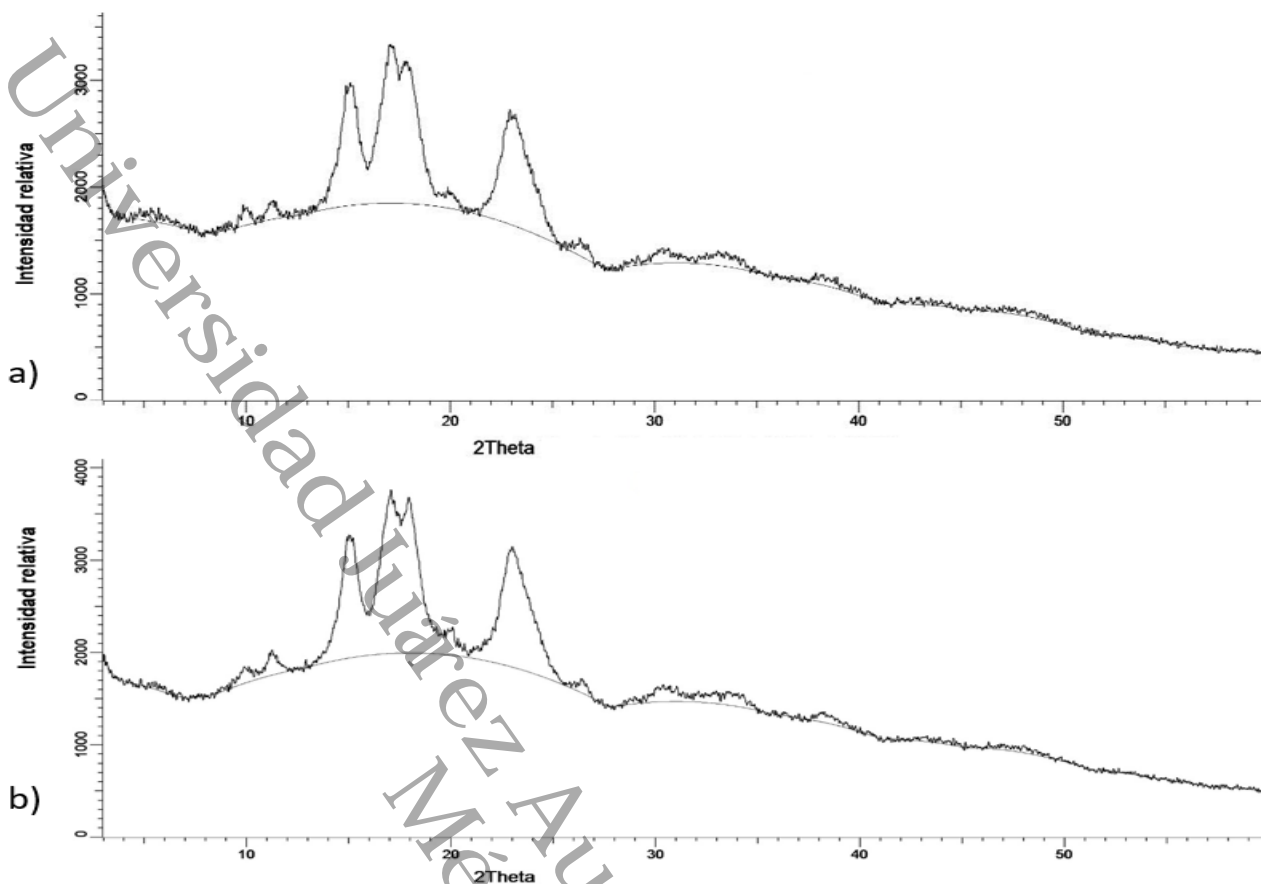


Figura 6. Patrón de difracción de rayos X del almidón de *I. batatas*. Grado de cristalinidad del almidón nativo y la pirodextrina de *I. batatas* representado por un patrón de difracción de rayos x. a) Almidón nativo y b) Pirodextrina.

Propiedades funcionales

Gelatinización

En la figura 7 se observa que el AN de *M. esculenta* registró una ΔH de 1.3289 J/g y temperatura de gelatinización de 64.56 °C (pico). En la pirodextrina, la ΔH disminuyó levemente a 0.9689 J/g y la temperatura de gelatinización fue 65.07 °C (pico).

En la figura 8 se puede observar que el AN de *I. batatas* presentó ΔH de 9.6960 J/g y una temperatura de 74.60 °C (pico); en la pirodextrina se observó ΔH de 2.6970



J/g y una temperatura de gelatinización de 76.16 °C (pico). La gelatinización del almidón permite evaluar la calidad y perfección del cristal en la estructura interna del gránulo, la pérdida de la ΔH demostraría la pérdida de la estructura granular, sin embargo, aunque esta disminuyó en ambas fuentes, aún se mantuvo presente, lo que corrobora que la pirodextrinización debilitó el gránulo, mas no destruyó en su totalidad la estructura granular, lo que concuerda con el hecho de que la resistencia a la digestión no haya sido mayor.

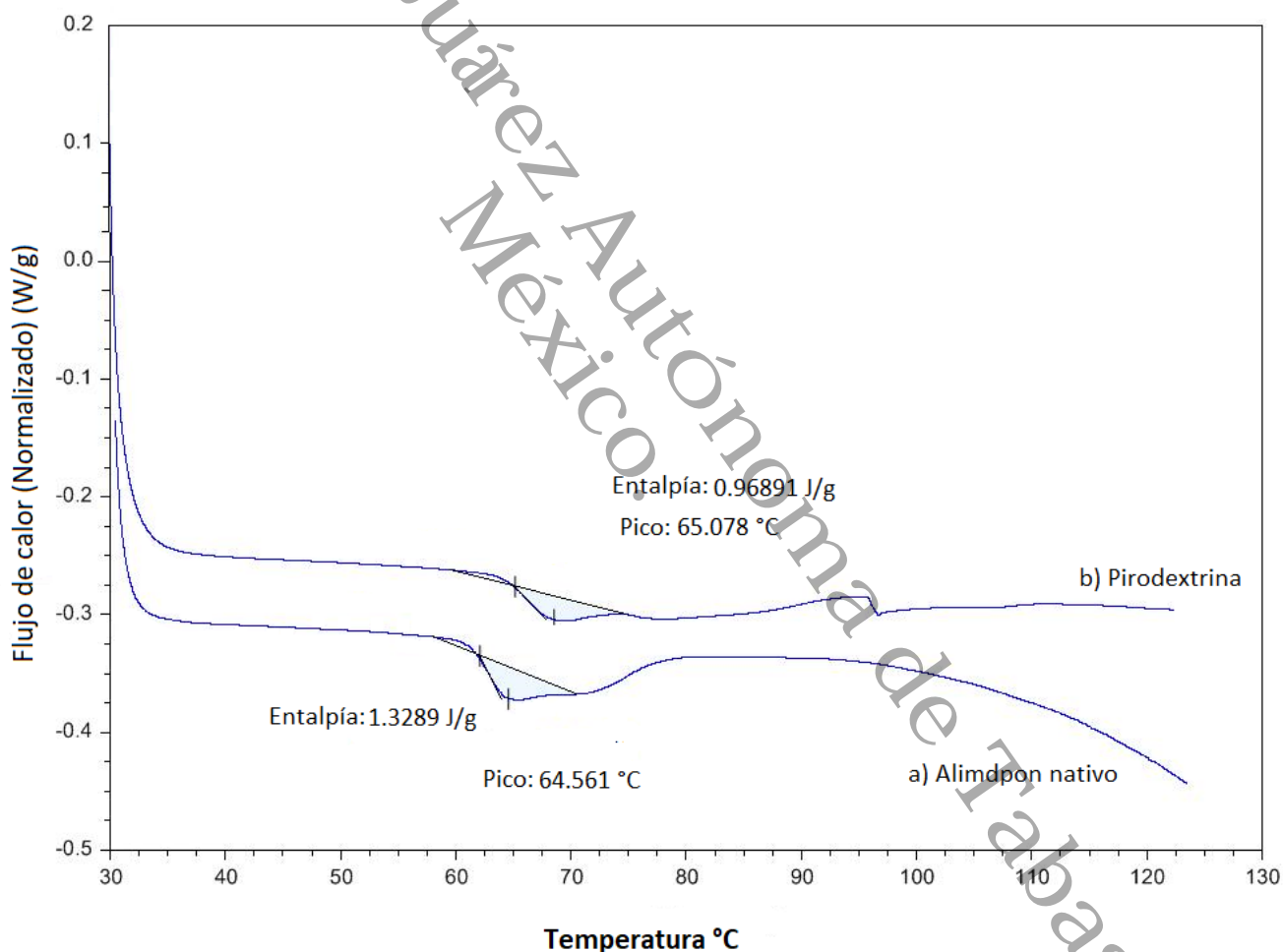


Figura 7. Termograma del almidón de *M. esculenta*. En el presente Termograma se presenta la entalpía y temperatura de gelatinización del almidón nativo y la pirodextrina de *M. esculenta*. a) Almidón Nativo y b) Pirodextrina.

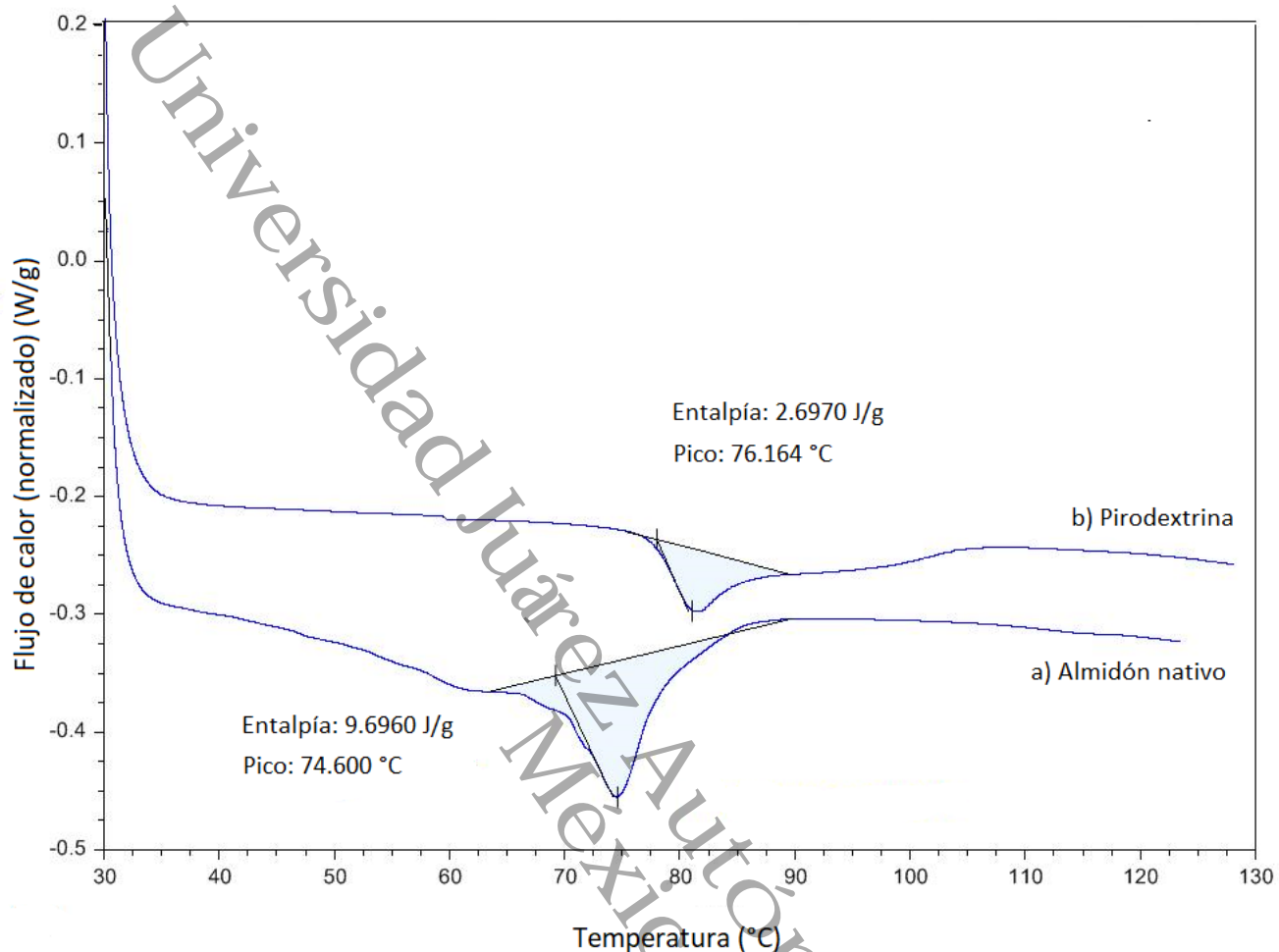


Figura 8. Termograma del almidón de *I. batatas*. En el presente Termograma se presenta la entalpía y temperatura de gelatinización del almidón nativo y la pirodextrina de *I. batatas*. a) Almidón Nativo y b) Pirodextrina.

Solubilidad

Se observa en la Figura 9^a que el AN de *M. esculenta* presentó un valor máximo de 11.97 % de solubilidad, no obstante, la pirodextrina se observó con un valor de 12.76 %, ambos valores se presentaron a una temperatura de 70 °C. Por el contrario, el AN de *I. batatas* presentó solubilidad de 6.07 % a una temperatura de 70 °C, y un incremento en la solubilidad de su pirodextrina alcanzó a su temperatura máxima (70 °C) 15.12 % de solubilidad (figura 9^a). El que las pirodextrinas arrojen mayor



contenido de solubilidad, permite corroborar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de evaluación morfológica, debido a que se demuestra la afectación en el gránulo tras el tratamiento químico, sin embargo, al no haber un aumento del 100 % en la solubilidad, se comprueba que la estructura granular persiste. Resulta interesante evaluar si la solubilidad alcanzada en ambos tratamientos, influyen en el efecto fisiológico por la ingesta de estos ingredientes

Absorción de agua

En la figura 9b se observa que la máxima capacidad de absorción de agua del AN de *M. esculenta* ocurrió a los 85 °C con 13.18 g, y a la misma temperatura para su pirodextrina (20 g). Para el AN de *I. batatas*, esta propiedad funcional incrementa su máxima valor también a los 85 °C con 11.98 g, y en su pirodextrina con 17.52 g.

Poder de hinchamiento

Se observa (figura 9c) que el valor máximo de poder de hinchamiento del AN de *M. esculenta* ocurrió a los 70 °C con 14.98 g; sin embargo, el de la pirodextrina de ocurrió a los 85 °C con 22.08 g. Para el AN de *I. batatas*, se observó un valor máximo de 12.76 g a los 85 °C y para la pirodextrina fue de 19.89 g a la misma temperatura. Tanto el poder de hinchamiento como la capacidad de absorción de agua están íntimamente ligados. El incremento del poder hinchamiento concuerda con la resistencia de los gránulos a la hidrólisis ácida total en la pirodextrinización, ya que fue posible la producción de geles, los cuales son más deformables que los geles obtenidos de gránulos con menor poder de hinchamiento.

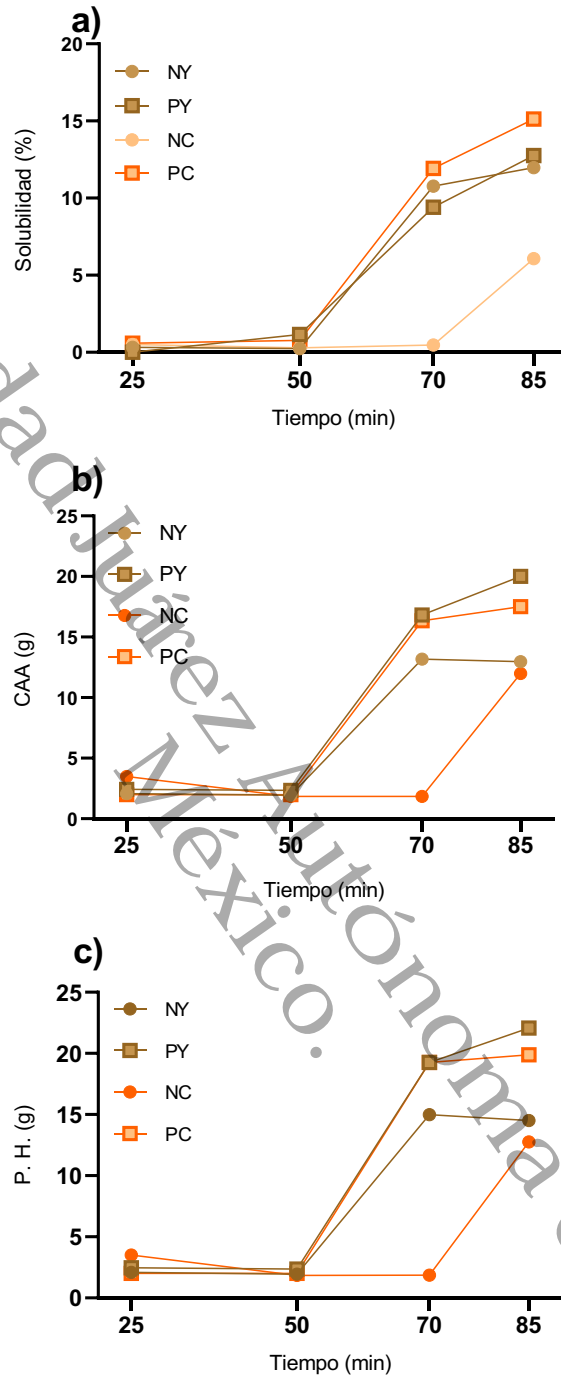


Figura 9. Propiedades funcionales de almidón nativo y pirodextrinizado de yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea batata*). En esta figura se representa la solubilidad, capacidad de absorción de agua y el poder de hinchamiento del almidón nativo y la pirodextrina de *M. esculenta* e *I. batatas*. NY: almidón nativo de yuca, PY: Pirodextrina de yuca, NC: almidón nativo de camote, PC: Pirodextrina de camote, CAA: Capacidad de absorción de agua, P. H: Poder de hinchamiento.

Inducción del modelo dieta alta en sacarosa (DAS).

En la figura 10 se observa que el peso corporal y la ganancia de peso no presentan diferencias significativas entre el grupo DN y DAS, por lo que el grupo de DAS no fue afectado durante la inducción de DAS.

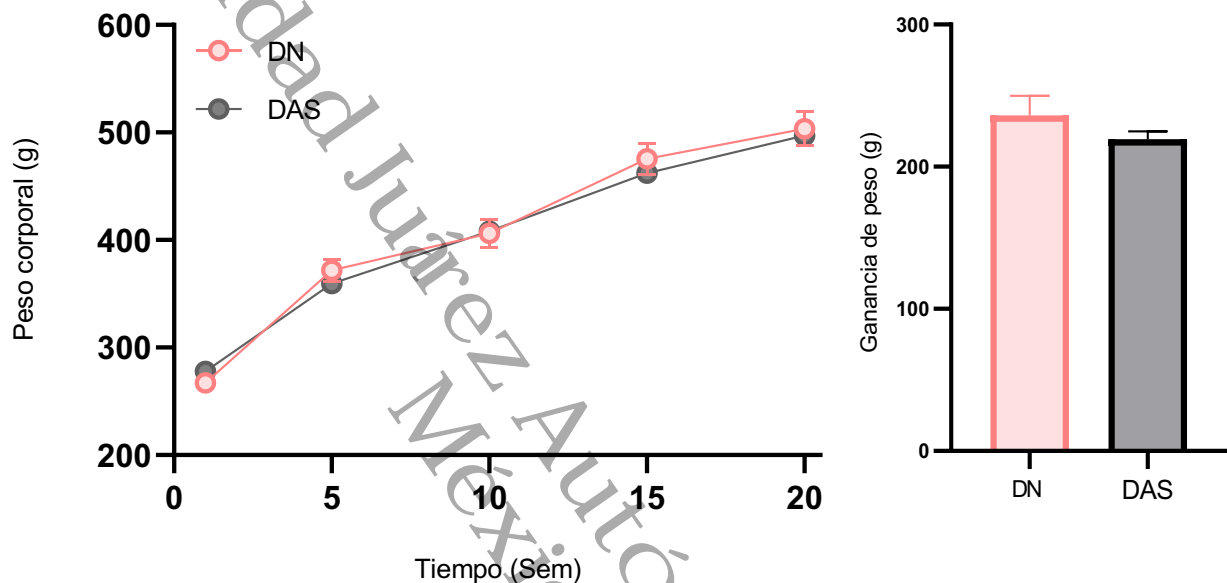


Figura 10. Efectos de la ingesta alta en sacarosa sobre el peso corporal. Representación del peso corporal cada 5 semanas durante el periodo de inducción de las alteraciones metabólicas mediante la dieta alta en sacarosa. DN: dieta normal (n=8) y DAS: dieta alta en sacarosa (n=48). Media \pm EEM (DN, n=8 DAS, n=48). *Indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Con respecto al consumo de alimento y líquido, se observa en la figura 10 que en cada semana a partir de la semana 5 se presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre DN y DAS. Se aprecia que el grupo DN presentó un incremento en el consumo de alimento con respecto a DAS (figura 11a). Por el contrario, se observa que DN presentó una disminución en el consumo de agua con respecto a DAS (figura 11c). El consumo de calorías de DAS (733 Kcal) fue mayor que el consumo de DN (566)



en das durante las primeras diez semanas ($p < 0.05$). Sin embargo, a partir de la semana 15, hasta la semana 20 ambos grupos (DN y DAS) presentaron un consumo de calorías similar (752 y 757.8 Kcal) (figura 12).

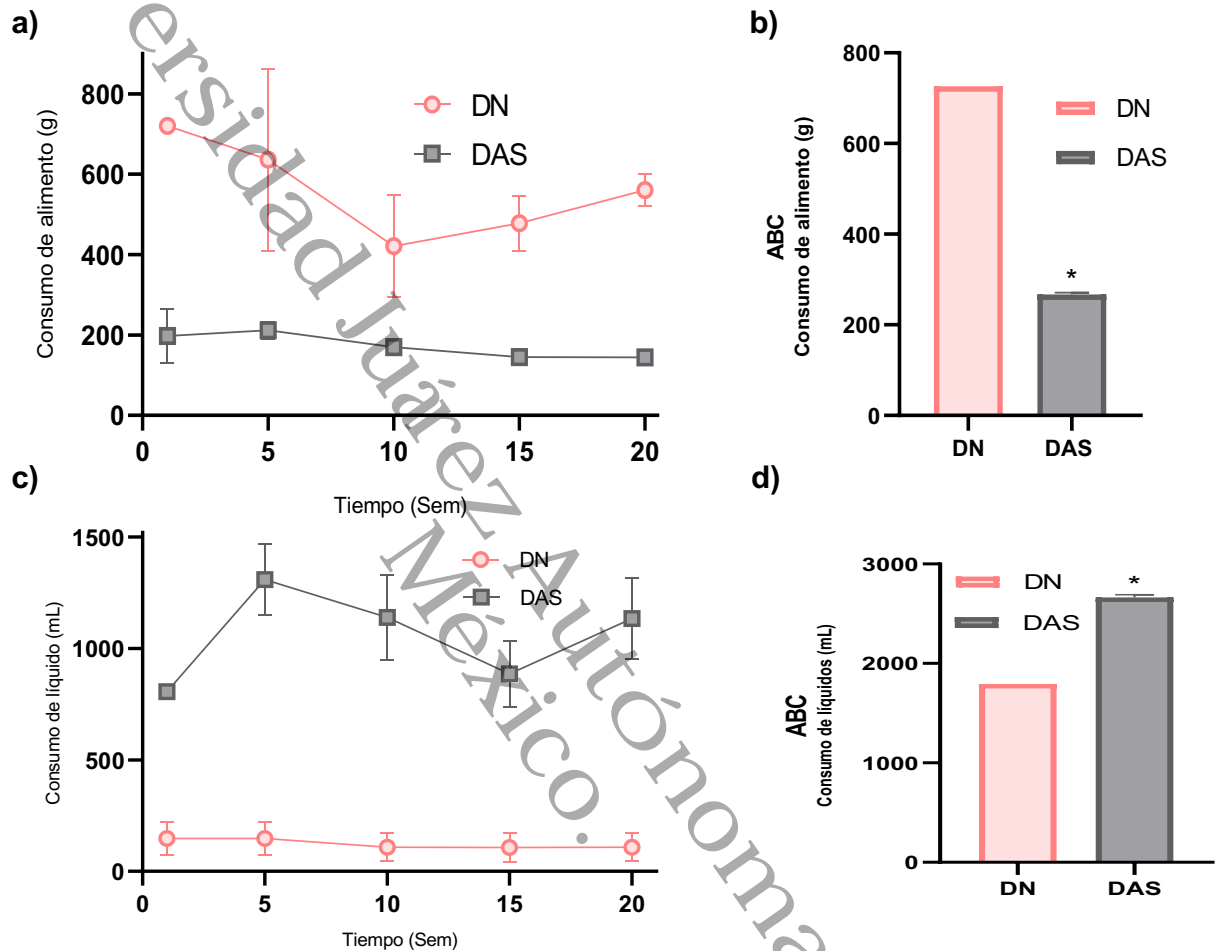


Figura 11. Consumo de alimento y líquidos durante la fase de inducción alteraciones metabólicas con DAS. Representación del consumo de agua y alimento cada 5 semanas durante el período de inducción de las alteraciones metabólicas mediante la dieta alta en sacarosa. DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa. Media \pm EEM (DN, n=8 DAS, n=48). Indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

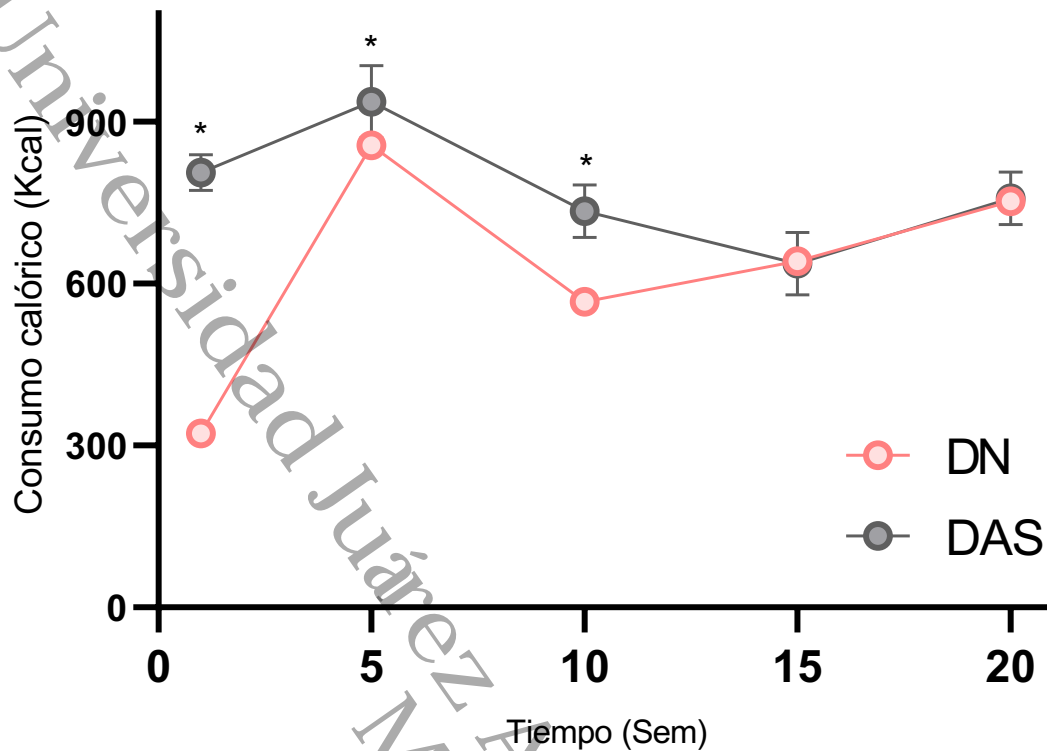


Figura 12. Consumo de calorías durante 20 semanas. Representación del consumo energético cada 5 semanas durante el período de inducción de las alteraciones metabólicas mediante la dieta alta en sacarosa. DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa. Media \pm EEM (DN, n=8 DAS, n=48). *Indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

En la figura 13 se observan los efectos de la administración de DAS sobre la respuesta glucémica durante la prueba de tolerancia oral a la glucosa (TOG), en la que se aprecia un aumento significativo en la curva temporal del grupo DAS con respecto al grupo DN en todos los tiempos (ABC DAS vs. ABC DN; $p < 0.0001$).

Efecto de los tratamientos dietéticos

En la figura 14, no se observaron efectos de los diferentes tratamientos sobre el peso corporal con respecto al control. (DAS). Sin embargo, se observaron diferencias entre el grupo DAS + PY1 vs. DAS + PY2 (483.5 ± 11.94 vs. $508.1 \pm$



16.52 g) en la semana 22 y entre DAS + HM vs. DAS + PY2 (495 ± 21.5 vs. 516.6 ± 17.97 g) en la semana 24.

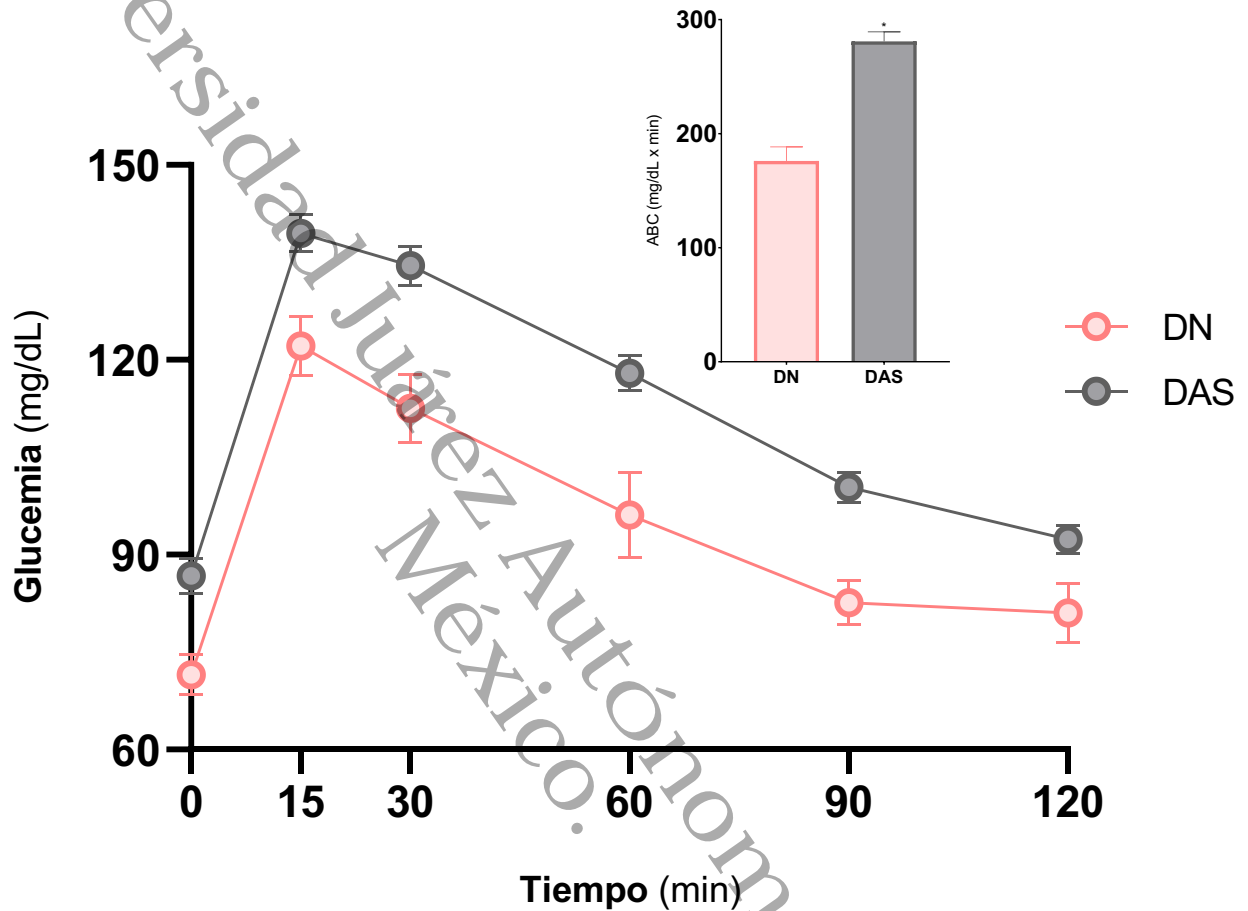


Figura 13. Efecto del consumo de DAS sobre la respuesta glucémica durante la inducción de DAS. Representación de la glucemia tras 20 semanas de inducción de alteraciones metabólicas mediante la dieta alta en sacarosa. Media \pm EEM (DN, n=8; DAS, n=48). Prueba de t de Student DAS vs DN $p < 0.0001$ DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa .

En la figura 15 se observa el efecto de los tratamientos sobre el consumo de alimento y líquidos durante las semanas 20 a 24. No se observaron diferencias significativas entre las curvas temporales de los diferentes tratamientos y el grupo

control (DAS). A su vez, el grupo DN mantuvo el mismo comportamiento de mayor consumo de alimentos y menor de líquidos con respecto al grupo DAS.

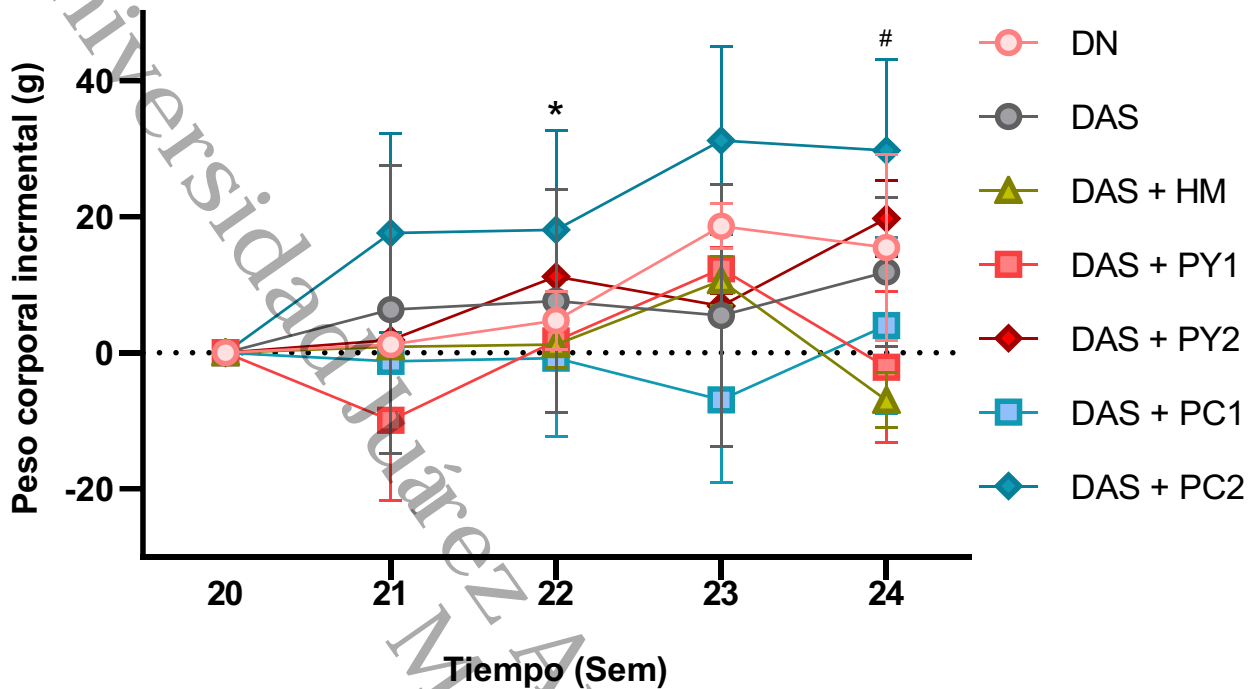


Figura 14. Efecto del consumo de pirodextrina de *M. esculenta* e *I. batatas* en el peso corporal final. Representación del peso corporal cada semana durante el período de intervención con las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas*. Media \pm EEM (n=8). * # Indican diferencia significativa ($p < 0.05$). DAS = Dieta alta en sacarosa, DN = Dieta normal, DAS + HM = Dieta alta en sacarosa + Hi-Maize, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg).

En la figura 16 se aprecia el comportamiento de la respuesta glucémica postprandial el cual demuestra que no se presentaron efectos de los diferentes tratamientos con respecto al control DAS. Sin embargo, la glucosa basal muestra que el grupo DAS + PY2 se encuentra incrementado con respecto a DAS (85 ± 2.29 vs 70.75 ± 2.93 mg/dL) ($p = 0.009$), DAS + PC1 (85 ± 2.29 vs 65.86 ± 2.91 mg/dL) ($p = 0.004$) y DAS + PC2 85 ± 2.29 vs 69 ± 2.84 mg/dL) ($p = 0.03$) (tabla 5).

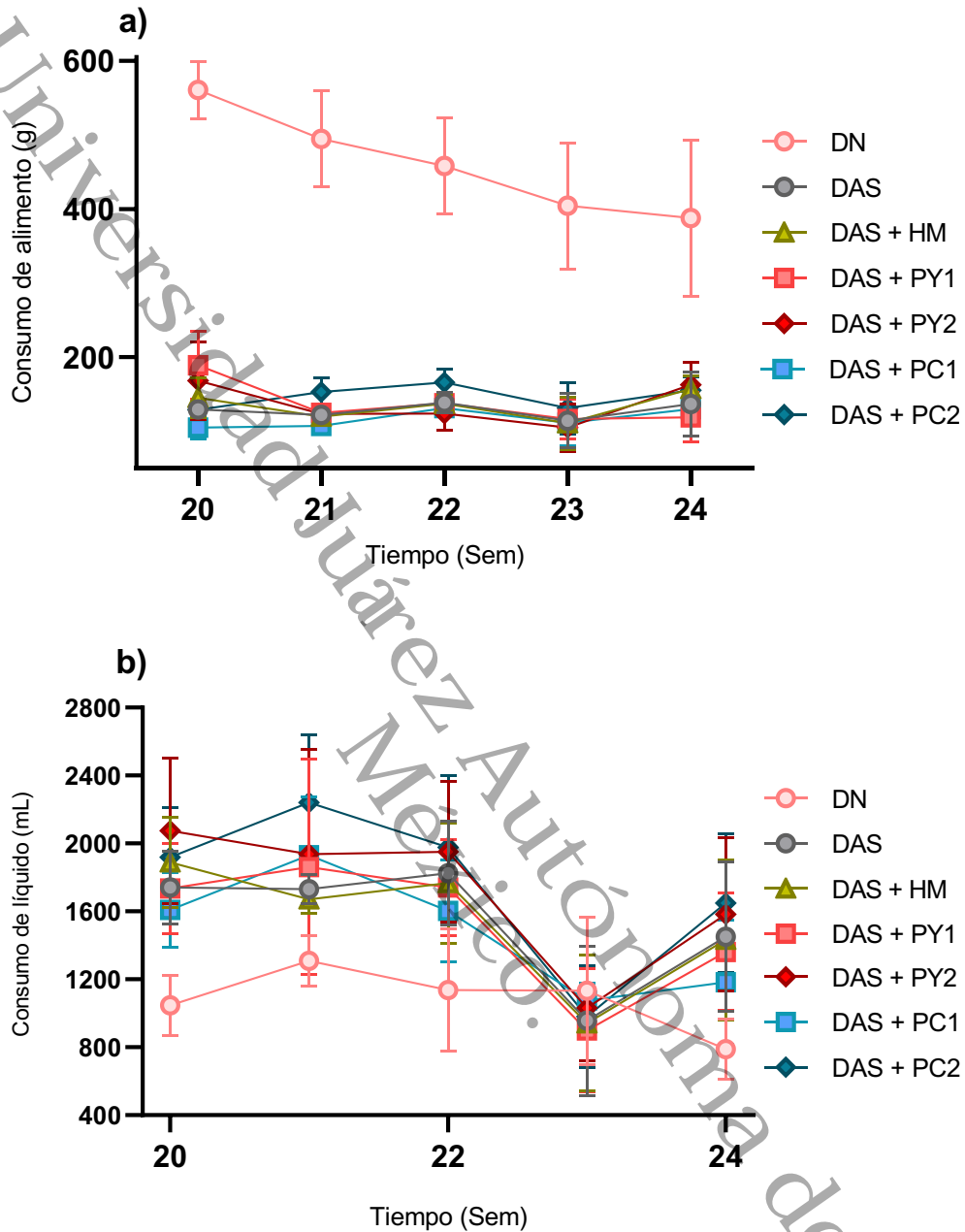


Figura 15. Efecto de los tratamientos sobre el consumo de alimento y líquido. Representación del consumo de alimento y líquido cada semana durante el período de intervención con las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas*. Media \pm EEM (n=8). * # Indican diferencia significativa ($p < 0.05$). DAS = Dieta alta en sacarosa, DN = Dieta normal, DAS + HM = Dieta alta en sacarosa + Hi-Maize, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg).

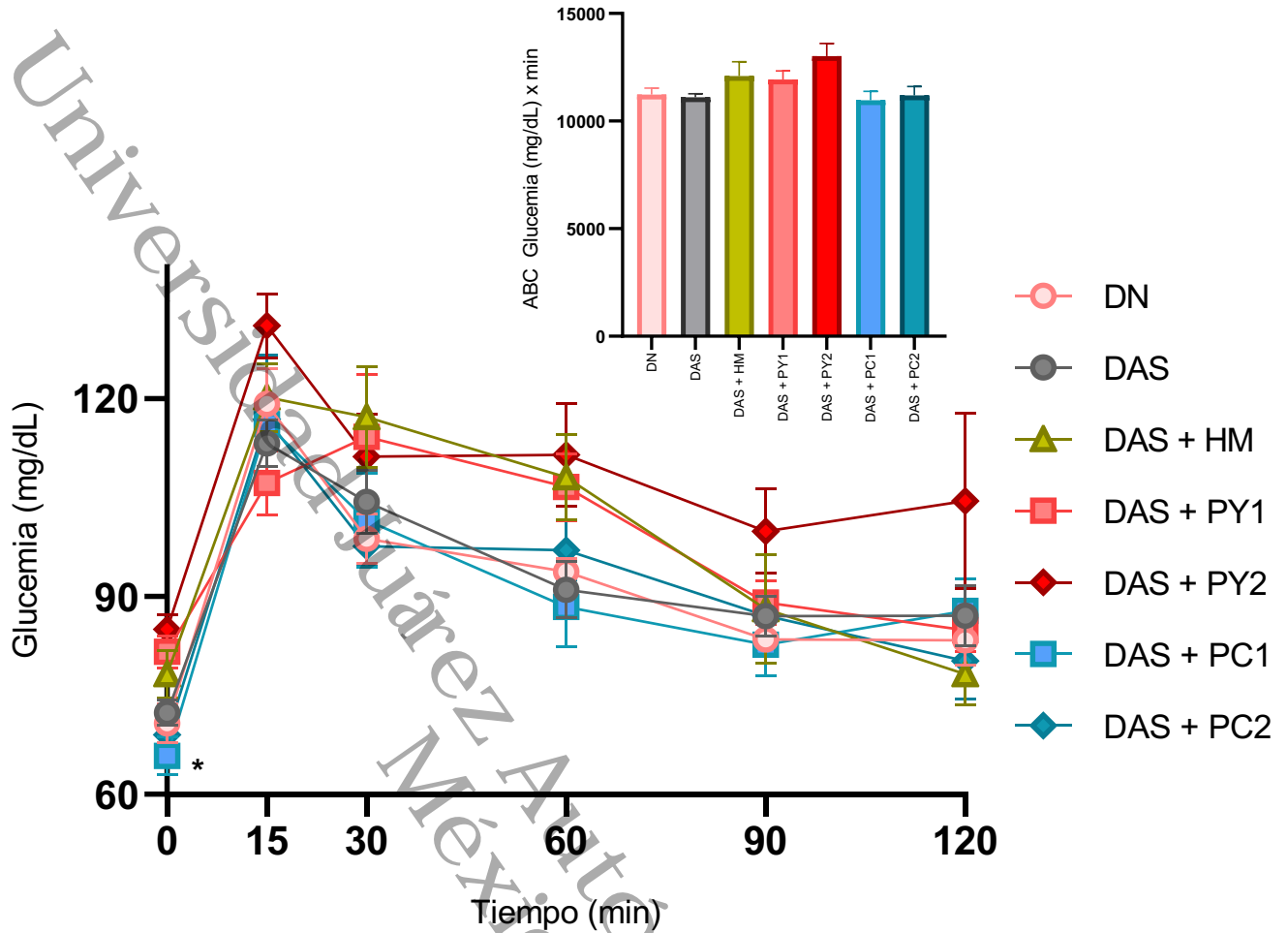


Figura 16. Efecto de los tratamientos sobre la respuesta glucémica postprandial al fin de la semana 24. Representación de la glucemia al finalizar el período de intervención con las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas*. Los datos se presentan como media \pm EEM. Los cursos temporales de glucemia y el ABC se compararon mediante ANOVA de un factor *post hoc* de Dunnett., DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg). ABC = Área bajo la curva, n = 8.

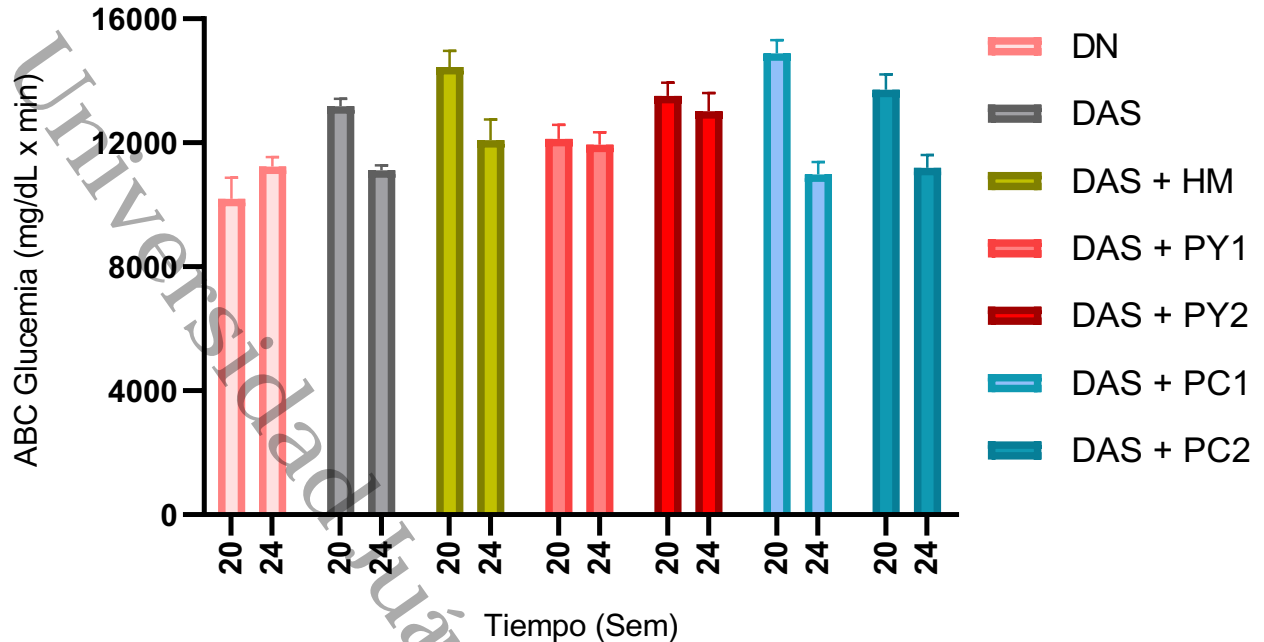


Figura 17. Áreas bajo la curva de la glucemia a través del tiempo (semana 20 y 24). Representación del área bajo la curva de cada grupo de la semana 20 a la semana 24. Los datos se presentan como media \pm EEM. Las ABC se compararon mediante ANOVA de dos factores *post hoc* de Tukey. DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg). ABC = Área bajo la curva, n = 8.

Con el propósito de comparar los efectos de los tratamientos sobre la respuesta glucémica en la semana 24 y descartar la influencia de respuesta temporal pretratamiento en cada animal (semana 20), se realizó un ANOVA de medidas repetidas de dos factores, considerando el tiempo como variable intra-sujetos y los tratamientos como variable inter-sujetos. Los resultados muestran que después de este ajuste (figura 17), tampoco se observaron diferencias significativas en los tratamientos con respecto al grupo control (DAS), esto a pesar de que se aprecia una disminución de los niveles finales de las ABC en DAS + PC1 y DAS + PC2 con respecto a sus ABC pretratamiento.



Determinaciones séricas en ayuno

En la tabla 4, se observan los efectos de los tratamientos sobre las concentraciones en ayuno de glucosa, colesterol total, HDL-colesterol y triglicéridos. No se observaron diferencias entre grupos con relación a los niveles de glucosa, colesterol, HDL-colesterol y triglicéridos. Por otra parte, el tratamiento con DAS indujo un incremento en los niveles de triglicéridos que se puede apreciar en la diferencia significativa de todos los grupos que recibieron DAS con respecto al grupo DN.

Tabla 4. Efecto de la pirodextrina de *M. esculenta* e *I. batatas* en ratas con dieta alta en sacarosa

Parámetros	Glucosa (mg/dL)	CT (mg/dL)	C-HDL (mg/dL)	TG (mg/dL)
DN	72.38 ± 1.91 ^a	87.21 ± 10.86	76.34 ± 4.22	78.20 ± 9.77 ^{ab}
DAS	70.75 ± 2.93	75.16 ± 8.71	57.21 ± 6.21	154.8 ± 23.07 ^b
DAS +HM	78.25 ± 3.63	79.54 ± 4.42	57.35 ± 4.01	117.5 ± 21.35
DAS + PY1	81.63 ± 2.40	58.21 ± 6.34	59.22 ± 5.16	121.7 ± 13.32
DAS + PY2	85.00 ± 2.29 ^{ab}	77.92 ± 8.42	58.91 ± 5.15	107.1 ± 24.16
DAS + PC1	65.86 ± 2.91	85.30 ± 6.42	87.69 ± 15.99	136.6 ± 21.16
DAS + PC2	69.00 ± 2.84	78.26 ± 5.55	61.44 ± 11.31	155.5 ± 10.74

Media ± EEM (n=8). ^{a, b} Letras diferentes entre la misma columna indican diferencia significativa (p<0.05). DAS = Dieta alta en sacarosa, DN = Dieta normal, DAS + HM = Dieta alta en sacarosa + Hi-Maize, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg). CT = Colesterol total, C-HDL = Colesterol HDL, TG = Triglicéridos.

Índice de adiposidad

Los resultados del efecto del consumo de las pirodextrinas sobre el índice de adiposidad se muestran en la figura 18. Como se puede observar, las ratas de los

grupos DAS + HM y DAS + PC2, fueron diferentes del grupo con DAS (8.56 ± 0.59 y 8.98 ± 0.49 vs. 6.56 ± 0.45 %; $p < 0.05$). Con respecto al resto de los tratamientos no se observó diferencia con respecto al grupo DAS, sin embargo, se puede percibir que los grupos DAS + PY1 y DAS + PC1 (7.86 ± 0.26 y 7.71 ± 0.29 %) fueron similares al grupo con DN (6.56 ± 0.45 %).

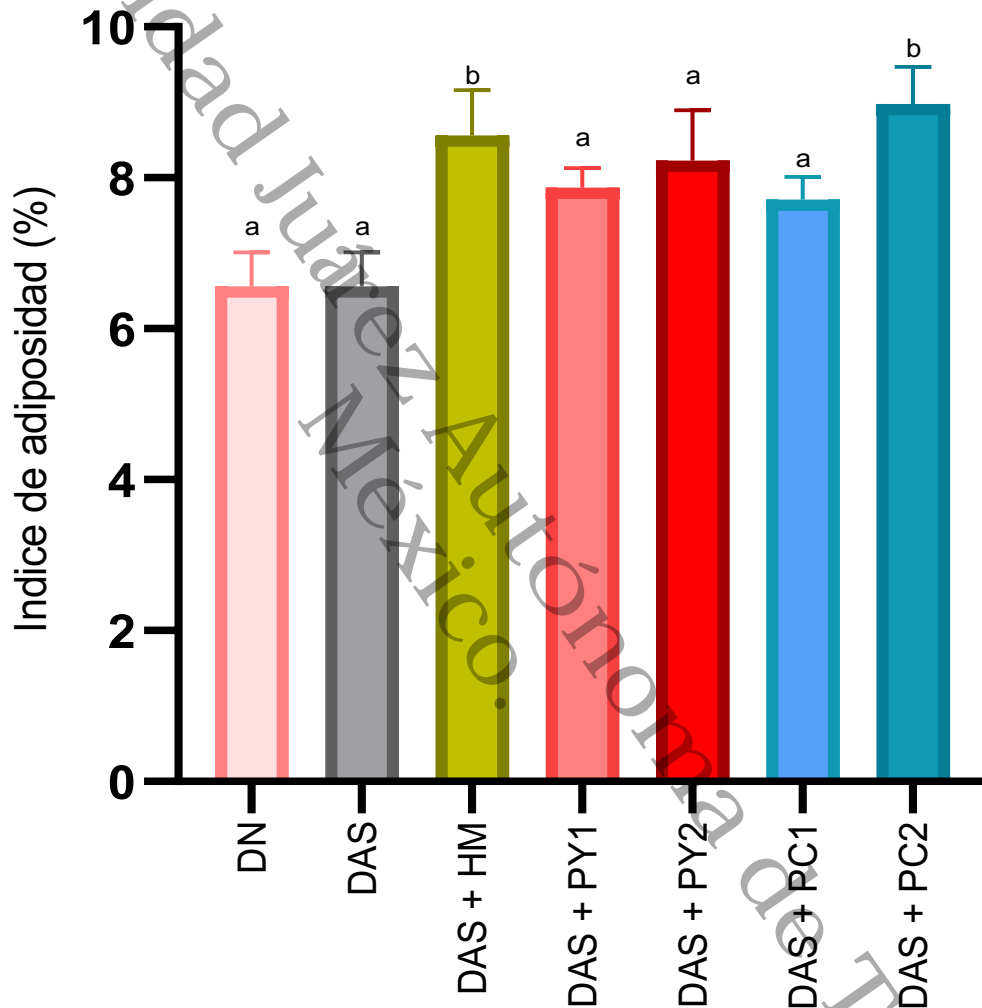


Figura 18. Efecto de la ingesta de pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas* sobre el índice de adiposidad. Representación del índice de adiposidad de cada grupo al finalizar las 4 semanas de intervención con las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas*. Los datos se presentan como media \pm EEM ($n = 8$). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg).



Parámetros hepáticos

El efecto de los tratamientos en los niveles de lípidos totales, colesterol total y triglicéridos en hígado; así como el índice hepático, se muestran en la tabla 5. Se puede observar que con respecto a los lípidos totales no se encontraron diferencias significativas. El colesterol y los triglicéridos en hígado no presentaron cambios significativos. De la misma forma, los valores de índice hepático no mostraron diferencias significativas.

Tabla 5. Efecto de la pirodextrina de *M. esculenta* e *I. batatas* sobre los parámetros hepáticos.

Parámetros	Lípidos totales (mg/g)	Colesterol (mg/dL)	Triglicéridos (mg/dL)	IH (%)
DN	16.85 ± 0.77	0.93 ± 0.05	1.10 ± 0.08	2.59 ± 0.11
DAS	20.73 ± 1.90	1.08 ± 0.03	1.36 ± 0.09	2.98 ± 0.18
DAS + HM	20.28 ± 1.54	1.02 ± 0.06	1.17 ± 0.10	2.60 ± 0.25
DAS + PY1	18.63 ± 1.733	0.96 ± 0.03	1.19 ± 0.09	2.79 ± 0.08
DAS + PY2	18.73 ± 1.59	0.92 ± 0.04	1.15 ± 0.09	2.80 ± 0.11
DAS + PC1	18.64 ± 1.56	0.91 ± 0.15	0.93 ± 0.15	2.68 ± 0.09
DAS + PC2	19.16 ± 1.44	1.04 ± 0.09	1.39 ± 0.19	3.53 ± 0.24

Media ± EEM (n=8). ^{a, b} Letras diferentes entre filas indican diferencia significativa (p<0.05)., DN = Dieta normal, DAS = Dieta alta en sacarosa, DAS + HM = Dieta alta en sacarosa + Hi-Maize, DAS + PY1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1 g/kg), DAS + PY2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de yuca (1.5 g/kg), DAS + PC1 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1 g/kg), DAS + PC2 = Dieta alta en sacarosa + Pirodextrina de camote (1.5 g/kg). IH = Índice hepático.



DISCUSIÓN

El actual trabajo presenta el estudio de las propiedades morfológicas y funcionales además del contenido de AR y ADL de las pirodextrinas de *Manihot esculenta* y de *Ipomoea batatas* con respecto a los almidones nativos respectivos. Además se evaluaron sus efectos sobre el peso corporal, respuesta glucémica, parámetros bioquímicos en ayuno, grado de obesidad y sobre lípidos en hígado de ratas con dieta alta en sacarosa. A pesar de que los efectos del consumo de AR ya son conocidos, en este trabajo se muestran algunas contradicciones con respecto a los efectos fisiológicos en el organismo publicados por otros investigadores.

El rendimiento obtenido en el proceso de extracción de almidón de *Manihot esculenta* fue de 11.34 %. Por otra parte, Toraya-Avilés y colaboradores reportaron un rendimiento de almidón de *M. esculenta* de 17.50 %. Así mismo, Handel-Schmitz y colaboradores reportaron un rendimiento para el almidón de *M. esculenta* de 17.28 a 35.37 %, igualmente un rango más elevado de lo que se encontró en el presente estudio (Justamante Händel Schmitz, Gonçalves Peroni-Okita, et al., 2017; Toraya-Avilés et al., 2017).

El rendimiento para *I. batatas* fue de 8.03 %, similar a lo reportado por Atwijukire et al., (2019) de 8.4 % a 33.2 %. Por otra parte, Jiang et al., (2019) reportó un rendimiento de 12.32 % de almidón de *I. batatas*, el cual fue mayor al que se presentó en este estudio. Tanto las pirodextrinas de *M. esculenta* como de *I. batatas* produjeron un incremento del 10 % de AR. La selección del tratamiento óptimo de pirodextrinización para ambos tubérculos, fue de acuerdo con el análisis de varianza de los resultados obtenidos de acuerdo con la variable de respuesta AR. Para *M.*



esculenta se seleccionó como óptimo el tratamiento 2, empleando la mayor relación almidón/ácido (HCL 80:1), la mayor temperatura (110 °C) y el menor tiempo de reacción (1 h) (Jiang et al., 2019). En el caso de *I. batatas* se seleccionó el tratamiento 5, donde la mejor respuesta se presentó con la mayor relación almidón/ácido (HCL) (80:1), la menor temperatura (90 °C) y el mayor tiempo de reacción (3 h). Al respecto, Toraya-Avilés *et al.*, (2017) utilizaron el mismo diseño factorial 2^3 con las mismas condiciones para la pirodextrinización del almidón nativo de yuca, en el que se obtuvo un valor más elevado de AR (42.51 %) mediante las mismas condiciones (80:1, 110 °C y 1 h) empleadas en el presente estudio. Por otra parte, un trabajo realizado por Lovera *et al.*, (2020) con almidón de ñame en el que realizaron un diseño rotativo central 2^2 en el cual, se obtuvo una pirodextrina con 44.1 ± 1.7 % de almidón digerible o disponible; mediante las siguientes condiciones: concentración de almidón/ácido (2.65 g ácido/kg), tiempo de reacción (90 min) y temperatura (140 °C). Siendo mayor la concentración empleada al presente estudio, y el tiempo de reacción menor. Por otra parte, Olvera-Hernández *et al.*, (2018) realizaron el mismo diseño factorial 2^3 con los mismos factores y niveles, sin embargo, con una fuente distinta, utilizando almidón de banano, el tratamiento que mayor producción de almidón resistente obtuvo, fue el que presentó la menor relación/ácido (160:1), la menor temperatura (90 °C) y el menor tiempo de reacción (1 hora) (Olvera-Hernández et al., 2018).

Otros investigadores han reportado valores de AR en AN de yuca de 4.88 % y 12.65 % de ADL (Khurshida et al., 2021). Toraya Avilés *et al.* (2017) reportaron 45.98 % de almidón indigerible en yuca pirodextrinizada mediante condiciones similares al



presente estudio, sin embargo, la metodología empleada para cuantificar el valor involucrado en la velocidad de absorción de almidón fue diferente, lo cual, podría ser la causa de la diferencia de valores en AR presente. Jiang *et al.* (2018) llevaron a cabo la extracción de almidón de *I. batatas* de 3 especies diferentes (Guangdong, Hainan y Yunnan) por el método de extracción con álcali reportaron que la especie Yunnan presentó el mayor porcentaje de AR 72.89 ± 1.50 %, y Guangdong la especie con mayor porcentaje de ADL (19.43 ± 2.77 %). En este estudio se obtuvieron porcentajes menores de AR tanto en el AN como en la pirodextrina de camote. En cuanto al contenido de ADL, el valor obtenido en el presente estudio se encuentra dentro del rango obtenido por Jiang *et al.*, por el contrario, los valores de ADL en la pirodextrina fueron más elevados en el presente estudio.

Justamente Händel Schmitz, Gonçalves Peroni-Okita, *et al.* (2017) estudiaron 10 variedades de almidones nativos de yuca, presentando diferentes formas (esférica, oval, poligonal y con forma de cúpula) y tamaños de gránulos de 11.812 a 17.092 μm . De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, la pirodextrinización no causó modificación aparente en la forma del gránulo, lo que podría sugerir una resistencia al tratamiento de pirodextrinización. Sin embargo, en el AN pudieron observarse gránulos menores, que en la pirodextrina ya no fueron perceptibles, lo que podría explicar la destrucción parcial de los gránulos por el tratamiento ácido. Wang *et al.*, (2020) reportaron ocho variedades AN de *I. batatas*, con formas redondas, poligonales, ovaladas, semi-ovaladas, y hemisféricas, con diámetro de 16.10 μm a 23.94 μm , valores que coinciden con lo encontrado en el presente



estudio (Wang et al., 2020). De la misma forma, no se observaron cambios aparentes en las micrografías posteriores al tratamiento de pirodextrinización.

Los patrones de DRX se dividen en tipo A, B y C, siendo este último, una mezcla del tipo A y tipo B, subclasificándose en C_A , C_C y C_B , de acuerdo con la proporción de cristalinidad (Kim, 2020). Aunado a esto, Lian y cols. señalan que los picos que presenta el patrón de difracción tipo A están presentes en los ángulos 15, 17, 20 y 23; los del patrón de difracción tipo B presentan picos en los ángulos 5, 17, 20, 22 y 24; y los del tipo C son una combinación de ambos; los cuales coinciden con los patrones de difracción tanto para los almidones nativos como para las pirodextrinas en este estudio, lo que demuestra que no hubo pérdida interna de la estructura cristalina y amorfa, presentándose un gránulo sin afectación, esto permite explicar la no destrucción granular y el disminuido aumento de resistencia a la digestión.

La entalpía de gelatinización (ΔH) es un indicativo de la calidad y perfección del cristal (Tester et al., 2004), es posible observar que la pirodextrina ocasionó daño leve en los gránulos de los almidones nativos. Observar pocos cambios en una temperatura de gelatinización posterior a un tratamiento, refleja que las dobles hélices no sufrieron cambios importantes en la región cristalina del almidón (Xijun, 2017). Lo que concuerda con lo observado en el presente estudio, que puede reflejarse también en la micrografía, donde los gránulos de los tubérculos evaluados prácticamente no presentaron daño. Ha sido observado que la temperatura de gelatinización son menores en alimentos que tienen una mayor proporción de AR (Villarroel et al., 2018b), lo cual coincide con los resultados observados en el presente trabajo de *M. esculenta* e *I. batatas*.



En un estudio realizado por, Toraya- Avilés *et al.*, (2017), se reportó una solubilidad de 93 % a una temperatura de 60 °C de pirodextrina de yuca. Así también, Lovera *et al.*, (2020) reportaron solubilidad de más del 95 % en la mayoría de los tratamientos de pirodextrinización a los que fue sometido el almidón nativo de ñame. Por consiguiente, Campechano *et al* hace mención en que el proceso de pirodextrinización incrementa considerablemente la solubilidad como consecuencia de un incremento en las fracciones lineales de bajo peso molecular. En el presente estudio, la pirodextrinización ocasionó un aumento de la solubilidad únicamente en la pirodextrina de camote.

Los valores del poder de hinchamiento presentados en este trabajo fueron menores a los encontrados por Gou *et al.*, (2019), los cuales reportaron 26.61 g a 90 °C. Sin embargo, después de que se aplicaron tratamientos de calor en seco repetido y continuo, el poder de hinchamiento disminuyó. De acuerdo con los resultados del presente estudio se puede observar que el poder de hinchamiento incrementó posterior al tratamiento de pirodextrinización en ambos tubérculos debido a que las zonas amorfas incrementaron dentro de la estructura del gránulo, ya que éste pudo actuar más sobre las zonas cristalinas en ambos casos.

Toraya Áviles *et al.* (2017) reportaron que la pirodextrina de *M. esculenta* disminuyó (0.16 – 0.34 g agua/g gel) su capacidad de absorción de agua a medida que la temperatura aumentó (60 ° – 90 ° C). Otro estudio realizado por Olvera-Hernández *et al.*, (2018) menciona que la capacidad de absorción de agua de la pirodextrina de *M. cavendish* se presentó a temperaturas más elevadas de 70 °C. Tal como se observó en los resultados de este trabajo, la reacción de pirodextrinización pudo



ocasionar una posible ruptura intermolecular en los enlaces de hidrógeno en las zonas amorfas, lo cual permitió la absorción irreversible y progresiva del agua.

De acuerdo a nuestro conocimiento, no existen estudios sobre los efectos de las pirodextrinas de *Manihot esculenta* e *Ipomoea batatas* sobre las alteraciones metabólicas inducidas por la dieta en modelos animales o en humanos.

En el presente estudio se demostró que durante la fase de inducción de alteraciones metabólicas mediante DAS no se observaron cambios en el peso corporal entre los animales consumiendo DAS y DN. De igual manera, Cruz-Hernández *et al.*, (2020) no observaron cambios en el peso corporal después de 8 meses de consumo de DAS (Cruz Hernández *et al.*, 2020). Lo anterior podría explicarse por el consumo energético similar entre ambos grupos a partir de la semana 15, lo cual podría sugerir un balance en el consumo energético de los animales debido a la característica propia de los roedores de poder regular su consumo energético. Es importante destacar que los animales del grupo DN consumieron mayor cantidad de proteínas y lípidos en comparación con los animales del grupo DAS. Este comportamiento coincide con lo reportado por Olmedo-Buenrostro *et al.*, 2019, quienes observaron que un grupo de ratas Wistar con ingesta de sacarosa al 12 % disminuyó el consumo de alimentos de manera considerable al compararlo con un grupo control sano. Esto se relacionó con una disminución de peso en el grupo de dieta alta en sacarosa después de seis meses de tratamiento. Toida *et al.*, 1996, observaron que no se presentaron diferencias durante 4 y 12 semanas entre un grupo control alimentado con almidón y un grupo con dieta alta en sacarosa tanto en el peso corporal como en el consumo de calorías. Burgeiro *et al.*, 2017 reportaron



que durante nueve semanas la evolución del peso corporal fue idéntica en el grupo de dieta alta en sacarosa (HSu-treated) y el grupo control. Así mismo, este comportamiento fue atribuido al consumo calórico total, principalmente proveniente de los carbohidratos, lo cual provocó un menor consumo de proteínas y lípidos en comparación con el grupo control. Esta situación se pudo apreciar en el presente experimento.

En este trabajo se pudo observar que el consumo de DAS durante 20 semanas indujo una respuesta glucémica alterada.

En relación con el efecto del consumo de pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas* no se observaron efectos sobre el peso corporal ni sobre la respuesta glucémica. Otros estudios han encontrado resultados similares, García-Vázquez *et al.*, 2019 reportaron que no se encontraron diferencias significativas sobre el comportamiento de la respuesta glucémica en humanos tras la ingesta de 20 g de almidón nativo de banano administrado en 1 día de intervención seguido de almidón digerible de maíz y Hi-Maize, ambos con un período intermedio de lavado (García-Vázquez *et al.*, 2019). Otro estudio realizado por (Peterson *et al.*, 2018) en humanos informó que sujetos con prediabetes, quienes consumieron un tratamiento con 45 g de Hi-Maize durante 12 semanas, no mostraron disminución de peso corporal ni disminución en la respuesta glucémica, aunque se apreció una disminución de los niveles de TNF. Con relación a los lípidos séricos tampoco se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, Olvera-Hernández *et al.*, (2018) reportaron que al administrar pirodextrina de *M. Cavendish* los niveles de colesterol (73.67 ± 0.33) y colesterol HDL (46.73 ± 0.87) no presentaron diferencias significativas, sin embargo,



en los niveles de triglicéridos si se observó disminución (126 ± 1.80) en comparación con el grupo CP, el cual tenía una ingesta de dieta alta en sacarosa ($p < 0.05$). Otro estudio que demuestra lo contrario a lo ocurrido en este trabajo, (Lopez et al., 2001) señala que el almidón resistente tipo 2 en una dosis de 200 g/kg decrece la concentración de triacilglicéridos séricos en ratas, lo que se acompaña de contenidos inferiores de colesterol en sangre de ratas. Higgins y colaboradores (2004) reportaron un aumento en la oxidación de los lípidos en sujetos sanos con una dosis de 5 y 10 g de AR de maíz. Kishimoto *et al.*, 2007 reportaron que la ingesta de 5 o 10 g de maltodextrinas resistentes redujo los niveles de triglicéridos postprandiales en individuos sanos (Higgins et al., 2004).

De manera inesperada, el índice de adiposidad presentó diferencias significativas en los grupos DAS + HM y DAS + PY2 con respecto al grupo DAS, contrario a lo esperado en el presente trabajo no se encontraron diferencias entre el índice de adiposidad del grupo DAS y DN. Aunque no se tiene una explicación razonable para estos resultados, se considera que algunas limitaciones metodológicas pudieron haber intervenido en estos hallazgos. La mayoría de estudios sobre este aspecto concuerdan en que la dieta alta en sacarosa induce una acumulación de depósitos de grasa en los diferentes compartimentos.

Con respecto a los lípidos totales en hígado, colesterol y triglicéridos no se encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos. Estudios anteriores han demostrado que la mejora en la composición de los lípidos asociada con la administración de AR en ratones obesos podría estar relacionada con el aumento de la producción de poblaciones bacterianas en el intestino y el aumento de los



niveles de AGCC a través de la fermentación de la microbiota intestinal, lo cual podría conducir al efecto inhibitor de la biosíntesis de colesterol.

Con relación al tamaño del hígado, Xu et al., (2020) reportaron que no se hallaron diferencias en el índice hepático entre el grupo control negativo (3.36 ± 0.34 %) y los tratados con almidón resistente de lenteja (3.42 ± 0.41 % y 3.56 ± 0.29 %); esto comparado con un grupo de dieta alta en grasa (3.88 ± 0.55 %).

Lo cual concuerda con los resultados encontrados en este trabajo, indicando que no se presentaron cambios en el peso de los hígados.

Una probable explicación a la carencia de efectos observados en el presente trabajo podría atribuirse a las bajas dosis administradas. Las dosis utilizadas de pirodextrinas fueron de 1 g/kg de peso corporal para PY1 y PC1 y de 1.5 g/kg de peso corporal para PY2 y PC2, sin embargo, el contenido de AR en estas dosis en realidad correspondió a 0.2 g/kg (PY1), 0.3 g/kg (PY2), 0.4 g/kg (PC1) y 0.7 g/kg (PC2) las cuales se encuentran por debajo de las dosis que han presentado efectos positivos sobre el peso, la respuesta glucémica, glucemia y lípidos séricos; índice de adiposidad y lípidos hepáticos. Sin embargo, esto motiva a tener en cuenta perspectivas para futuras investigaciones como utilizar distintas modificaciones al almidón que permitan un mayor incremento de AR sobre el AN, purificar en su totalidad el AR de forma que no contenga porciones de almidón disponible para estandarizar la dosis respuesta de 2 g/kg. Además, se necesitan próximos estudios para evaluar si el comportamiento de las bacterias de la microbiota intestinal influyó para obtener estos resultados.



CONCLUSIONES

La mayor producción de AR para *M. esculenta* se obtuvo mediante la proporción más elevada de ácido, la temperatura más elevada y el menor tiempo de reacción.

La mayor producción de AR y ADL para *I. batatas* se obtuvo mediante la proporción más elevada de ácido, la menor temperatura y el mayor tiempo de reacción.

Las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas* aumentaron un 10 % su contenido de AR.

La pirodextrina de *M. esculenta* presentó pérdida de cristalinidad, incremento en el poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua. La pirodextrina de *I. batatas* presentó pérdida de cristalinidad y entalpía de gelatinización. La solubilidad, poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua incrementaron.

Las pirodextrinas de *M. esculenta* e *I. batatas* en dosis bajas no tienen efectos sobre la regulación del peso, respuesta glucémica, parámetros bioquímicos en ayuno, grado de obesidad y en parámetros hepáticos. Lo anterior indica que los resultados obtenidos no apoyan la hipótesis planteada desde un principio. Puede ocurrir que los efectos del AR se vean afectados por las propiedades morfológicas de los gránulos de almidón tanto de yuca y camote. Posiblemente los efectos benéficos del AR se deban a la capacidad para reducir los niveles de glucosa en sangre mediante la reducción de la cantidad de carbohidratos disponibles.



REFERENCIAS

- Aguilar, E., Segreda, A., Saborio, D., Morales, J., Chacón, M., Rodríguez, L., & Gómez, Y. (2017). Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Costa Rica.*
- Akpa, J. G., & Dagde, K. K. (2012). Modification of cassava starch for industrial uses. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(6), 913-919.
- Al-Tamimi, E. K., Seib, P. A., Snyder, B. S., & Haub, M. D. (2010). Consumption of Cross-Linked Resistant Starch (RS4(XL)) on Glucose and Insulin Responses in Humans. *J Nutr Metab*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/651063>
- Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch-Stärke*, 22(4), 130-135.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Lorío, D. M. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* (Vol. 163). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- Artavia, G., Cortés-Herrera, C., & Granados-Chinchilla, F. (2020). Total and resistant starch from foodstuff for animal and human consumption in Costa Rica. *Current Research in Food Science*, 3, 275-283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.11.001>
- Atwijukire, E., Hawumba, J. F., Baguma, Y., Wembabazi, E., Esuma, W., Kawuki, R. S., & Nuwamanya, E. (2019). Starch quality traits of improved provitamin A cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Heliyon*, 5(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01215>
- Babu, A. S., Parimalavalli, R., Jagannadham, K., & Rao, J. S. (2015). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5745-5753.
- Basurto, F. (2015). Conocimiento actual del cultivo de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) en México. *Agro Productividad*, 8(1).
- Bean, S. R., Zhu, L., Smith, B. M., Wilson, J. D., Ioerger, B. P., & Tilley, M. (2019). Chapter 6 - Starch and Protein Chemistry and Functional Properties*. In J. R. N. Taylor & K. G. Duodu (Eds.), *Sorghum and Millets (Second Edition)* (pp. 131-170). AACC International Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00006-X>
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips, G. J., & Rowling, M. (2013). Resistant starch: promise for improving human health. *Advances in nutrition*, 4(6), 587-601.
- Breuninger, W. F., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009). Tapioca/cassava starch: production and use. In *Starch* (pp. 541-568). Elsevier.
- Burgeiro, A., Cerqueira, M. G., Varela-Rodríguez, B. M., Nunes, S., Neto, P., Pereira, F. C., Reis, F., & Carvalho, E. (2017). Glucose and Lipid Dysmetabolism in a Rat Model of Prediabetes Induced by a High-Sucrose Diet. *Nutrients*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/nu9060638>
- Chen, Y.-F., Kaur, L., & Singh, J. (2018). Chapter 7 - Chemical Modification of Starch. In M. Sjöö & L. Nilsson (Eds.), *Starch in Food (Second Edition)* (pp. 283-321).



- Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00007-X>
- Clement, C. R., Cristo-Araújo, D., Coppens D'Eeckenbrugge, G., Alves Pereira, A., & Picanço-Rodrigues, D. (2010). Origin and domestication of native Amazonian crops. *Diversity*, 2(1), 72-106.
- Contreras-Pérez, R. K., De la Torre-Gutiérrez, L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal, ESJ*, 14, 30-82.
- Cornejo-Ramírez, Y. I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003-1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
- Cruz Hernández, J. H., Rosado Lomán, W. N., Gómez-Crisóstomo, N. P., De la Cruz-Hernández, E. N., Guzmán García, L. M., Gómez Gómez, M., Hernández del Ángel, N. A., Aguilar Gamas, C. F., Cruz Hernández, V. S., & Martínez-Abundis, E. (2020). High sugar but not high fat diet consumption induces hepatic metabolic disruption and up-regulation of mitochondrial fission-associated protein Drp1 in a model of moderate obesity. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 1-8.
- Drzymala, J., Tomasik, P., Sychowska, B., & Sikora, M. (2002). Dextrins as selective flotation depressants for sulfide minerals. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 36, 273-278.
- Fan, Y., & Picchioni, F. (2020). Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116350>
- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*, 226(1), 497-509.
- Franco, T. C. (2020). POLÍTICAS DE COMUNICACIÓN PARA LA PROMOCIÓN DE LA SALUD: EL EJEMPLO DEL COMBATE AL SOBREPESO Y OBESIDAD EN MÉXICO. *Revista Latinoamericana de Ciencias de la Comunicación*, 19(35).
- García, L. I. M., & Ledezma, J. C. R. (2018). La obesidad, un verdadero problema de salud pública persistente en México. *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR*, 3(8), 643-654.
- García-García, E., la Llata-Romero, D., Kaufer-Horwitz, M., Tusié-Luna, M. T., Calzada-León, R., Vázquez-Velázquez, V., Barquera-Cervera, S., Caballero-Romo, A. d. J., Orozco, L., & Velásquez-Fernández, D. (2008). La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública: Una reflexión. *Archivos de cardiología de México*, 78(3), 318-337.
- García-Vázquez, C., Ble-Castillo, J. L., Arias-Córdova, Y., Córdova-Uscanga, R., Tovilla-Zárate, C. A., Juárez-Rojop, I. E., Olvera-Hernández, V., Alvarez-Villagomez, C. S., Nolasco-Coleman, A. M., & Díaz-Zagoya, J. C. (2019). Effects of Resistant Starch Ingestion on Postprandial Lipemia and Subjective Appetite in Overweight or Obese Subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 3827. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/20/3827>
- Gou, M., Wu, H., Saleh, A. S. M., Jing, L., Liu, Y., Zhao, K., Su, C., Zhang, B., Jiang, H., & Li, W. (2019). Effects of repeated and continuous dry heat treatments on properties



- of sweet potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 869-877. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.225>
- Guerra-DellaValle, D., Bello-Pérez, L., González-Soto, R., Solorza-Feria, J., & Arámbula-Villa, G. (2008). Effect of reaction time on the acetylation of plantain starch. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(3), 283-291.
- He, J., Zhang, P., Shen, L., Niu, L., Tan, Y., Chen, L., Zhao, Y., Bai, L., Hao, X., Li, X., Zhang, S., & Zhu, L. (2020). Short-Chain Fatty Acids and Their Association with Signalling Pathways in Inflammation, Glucose and Lipid Metabolism. *International journal of molecular sciences*, 21(17), 6356. <https://doi.org/10.3390/ijms21176356>
- Hernández, M. A. G., Canfora, E. E., Jocken, J. W. E., & Blaak, E. E. (2019). The Short-Chain Fatty Acid Acetate in Body Weight Control and Insulin Sensitivity. *Nutrients*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/nu11081943>
- Hernández Rodríguez, J., Licea Puig, M. E., & Marín Juliá, S. M. (2016). Algunos aspectos de interés sobre la cirugía bariátrica en la infancia y la adolescencia. *Revista Cubana de Endocrinología*, 27(2), 0-0.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726.
- Higgins, J. A. (2004). Resistant starch: metabolic effects and potential health benefits. *Journal of AOAC International*, 87(3), 761-768.
- Higgins, J. A., Higbee, D. R., Donahoe, W. T., Brown, I. L., Bell, M. L., & Bessesen, D. H. (2004). Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutrition & Metabolism*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-1-8>
- Hu, A., Li, Y., & Zheng, J. (2019). Dual-frequency ultrasonic effect on the structure and properties of starch with different size. *LWT*, 106, 254-262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.040>
- Huaman, Z. (1999). Sweetpotato Germplasm Management (*Ipomoea batatas*). *Training manual*, 218.
- Jalal, R., Bagheri, S. M., Moghimi, A., & Rasuli, M. B. (2007). Hypoglycemic effect of aqueous shallot and garlic extracts in rats with fructose-induced insulin resistance. *J Clin Biochem Nutr*, 41(3), 218-223. <https://doi.org/10.3164/jcbtn.2007031>
- Ji, G., Zhao, X., Leng, L., Liu, P., & Jiang, Z. (2011). Comparison of dietary control and atorvastatin on high fat diet induced hepatic steatosis and hyperlipidemia in rats. *Lipids Health Dis*, 10, 23. <https://doi.org/10.1186/1476-511x-10-23>
- Jiang, Q., Liang, S., Zeng, Y., Lin, W., Ding, F., Li, Z., Cao, M., Li, Y., Ma, M., & Wu, Z. (2019). Morphology, structure and in vitro digestibility of starches isolated from *Ipomoea batatas* (L.) Lam. by alkali and ethanol methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 1147-1155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.172>
- Jin, Z. (2018). *Functional starch and applications in food*. Springer.
- Justamante Händel Schmitz, G., Gonçalves Peroni-Okita, F. H., Oliveira do Nascimento, J. R., Bombarda Campanha, R., Losada Valle, T., Landi Franco, C. M., & Cordenunsi-Lysenko, B. R. (2017). Selected physicochemical properties of starches isolated from ten cassava varieties reveal novel industrial uses



- [<https://doi.org/10.1002/star.201600272>]. *Starch - Stärke*, 69(7-8), 1600272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201600272>
- Justamante Händel Schmitz, G., Gonçalves Peroni-Okita, F. H., Oliveira do Nascimento, J. R., Bombarda Campanha, R., Losada Valle, T., Landi Franco, C. M., & Cordenunsi-Lysenko, B. R. (2017). Selected physicochemical properties of starches isolated from ten cassava varieties reveal novel industrial uses. *Starch-Stärke*, 69(7-8), 1600272.
- Khurshida, S., Das, M. J., Deka, S. C., & Sit, N. (2021). Effect of dual modification sequence on physicochemical, pasting, rheological and digestibility properties of cassava starch modified by acetic acid and ultrasound. *International Journal of Biological Macromolecules*, 188, 649-656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.062>
- Kim, J. S. (2020). Study of Flavonoid/Hydroxypropyl- β -Cyclodextrin Inclusion Complexes by UV-Vis, FT-IR, DSC, and X-Ray Diffraction Analysis. *Prev Nutr Food Sci*, 25(4), 449-456. <https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.4.449>
- Lafont-Mendoza, J. J., Severiche-Sierra, C. A., & Jaimes-Morales, J. (2018). Evaluation of the Starch Quantification Methods of *Musa paradisiaca*, *Manihot esculenta*, and *Dioscorea trifida* Using Factorial Experiments. *International Journal of Food Science*, 2018, 5901930. <https://doi.org/10.1155/2018/5901930>
- Larqué, C., Velasco, M., Navarro-Tableros, V., Duhne, M., Aguirre, J., Gutiérrez-Reyes, G., Moreno, J., Robles-Díaz, G., Hong, E., & Hiriart, M. (2011). Early endocrine and molecular changes in metabolic syndrome models. *IUBMB life*, 63(10), 831-839.
- León, B., Lopez, M., Martínez, M., Posas, F., Rodríguez, I., & Vasquez, M. (2013). *Manual de manejo del cultivo de camote*.
- Levy, T. S., Rivera-Dommarco, J., & Bertozzi, S. (2020). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: análisis de sus principales resultados. *Salud Pública de México*, 62(6), 614-617.
- Li, C., Wu, A., Yu, W., Hu, Y., Li, E., Zhang, C., & Liu, Q. (2020). Parameterizing starch chain-length distributions for structure-property relations. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116390>
- Lian, X., Cheng, K., Wang, D., Zhu, W., & Wang, X. (2017). Analysis of crystals of retrograded starch with sharp X-ray diffraction peaks made by recrystallization of amylose and amylopectin. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S3224-S3236. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1362433>
- Lin, C.-L., Lin, J.-H., Zeng, H.-M., Wu, Y.-H., & Chang, Y.-H. (2018). Indigestible pyrodextrins prepared from corn starch in the presence of glacial acetic acid. *Carbohydrate Polymers*, 188, 68-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.087>
- Linares, E., Bye, R., Rosa-Ramírez, D., & Pereda-Miranda, R. (2008). El camote. *Biodiversitas*, 81(1), 11-15.
- Lopez, H. W., Levrat-Verny, M. A., Coudray, C., Besson, C., Krespine, V., Messenger, A., Demigné, C., & Rémésy, C. (2001). Class 2 resistant starches lower plasma and liver lipids and improve mineral retention in rats. *J Nutr*, 131(4), 1283-1289. <https://doi.org/10.1093/jn/131.4.1283>
- Lovera, M., Castro, G. M. C., Pires, N. D. R., Bastos, M., Holanda-Araújo, M. L., Laurentin, A., Moreira, R. A., & Oliveira, H. D. (2020). Pyrodextrinization of yam (*Dioscorea*



- sp.) starch isolated from tubers grown in Brazil and physicochemical characterization of yellow pyrodextrins. *Carbohydr Polym*, 242, 116382. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116382>
- Ma, Z., & Boye, J. I. (2018). Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 58(7), 1059-1083. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1230537>
- Magallanes-Cruz, P. A., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A. (2017). Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. *J Food Sci*, 82(9), 2016-2023. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13809>
- Martínez-Moreno, D., Reyes-Matamoros, J., Nikolaenko, I. V., & Hernández, A. R. A. (2020). Asignación de recursos genéticos al camote morado de distinto origen en Atlixco, Puebla. *RD-ICUAP*, 6(1), 163-174.
- Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.
- Nara, S., & Komiya, T. (1983). Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch-Stärke*, 35(12), 407-410.
- Nascimento, T. B., Baptista Rde, F., Pereira, P. C., Campos, D. H., Leopoldo, A. S., Leopoldo, A. P., Oliveira Júnior, S. A., Padovani, C. R., Cicogna, A. C., & Cordellini, S. (2011). Vascular alterations in high-fat diet-obese rats: role of endothelial L-arginine/NO pathway. *Arq Bras Cardiol*, 97(1), 40-45. <https://doi.org/10.1590/s0066-782x2011005000063>
- Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30(1), 27-54.
- Olvera-Hernández, V., Ble-Castillo, J.-L., Betancur-Ancona, D., Acevedo-Fernández, J.-J., Castellanos-Ruelas, A., & Chel-Guerrero, L. (2018). Effects of modified banana (*Musa cavendish*) starch on glycemic control and blood pressure in rats with high sucrose diet. *Nutrición Hospitalaria*, 35(3), 588-595.
- Ottenhof, M.-A., & Farhat, I. (2004). The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 269-274.
- Peterson, C. M., Beyl, R. A., Marlatt, K. L., Martin, C. K., Aryana, K. J., Marco, M. L., Martin, R. J., Keenan, M. J., & Ravussin, E. (2018). Effect of 12 wk of resistant starch supplementation on cardiometabolic risk factors in adults with prediabetes: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 108(3), 492-501. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy121>
- Polesi, L. F., Sarmiento, S. B. S., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2018). Starch Digestibility and Functional Properties of Rice Starch Subjected to Gamma Radiation. *Rice Science*, 25(1), 42-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.08.003>
- Raigond, P., Dutt, S., & Singh, B. (2018). Resistant Starch in Food. In J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 1-33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_30-1
- Ramos-García, M. d. L., Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S. (2018). Modified starch: properties and uses as edible coatings for the preservation of fresh fruits and vegetables. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1), 30-44.
- Ratnayake, W., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., & Jane, J. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 74(2), 189-202.



- Rodríguez, R., San Martín, M., & de la Cruz, G. G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y vacío*(13), 61-65.
- Ruales, J., & Nair, B. (1994). Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45(3), 223-246.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(1), 1-17.
- Sánchez, V. F. V., & Tham, T. R. (2007). Técnicas microscópicas y granos de almidón antiguos. *Archaeobios*(1), 31.
- Sandoval Aldana, A., Rodríguez Sandoval, E., & Fernandez Quintero, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 72(146), 45-53.
- Sathe, S., & Salunkhe, D. K. (1981). Isolation, partial characterization and modification of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starch. *Journal of Food science*, 46(2), 617-621.
- Schmiele, M., Sampaio, U. M., Gomes, P. T. G., & Clerici, M. T. P. S. (2019). Chapter 6 - Physical Modifications of Starch. In M. T. P. Silva Clerici & M. Schmiele (Eds.), *Starches for Food Application* (pp. 223-269). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00006-X>
- Shang, W., Si, X., Zhou, Z., Wang, J., Strappe, P., & Blanchard, C. (2017). Studies on the unique properties of resistant starch and chito-oligosaccharide complexes for reducing high-fat diet-induced obesity and dyslipidemia in rats. *Journal of Functional Foods*, 38, 20-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.032>
- Sjö, M., & Nilsson, L. (2017). *Starch in food: Structure, function and applications*. Woodhead Publishing.
- Suárez-Carmona, W., Sánchez-Oliver, A. J., & González-Jurado, J. A. (2017). Fisiopatología de la obesidad: Perspectiva actual. *Revista chilena de nutrición*, 44, 226-233. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182017000300226&nrm=iso
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Toraya-Avilés, R., Segura-Campos, M., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2017). Effects of pyroconversion and enzymatic hydrolysis on indigestible starch content and physicochemical properties of cassava (*Manihot esculenta*) starch. *Starch-Stärke*, 69(5-6), 1600267.
- Ugent, D., Pozorski, S., & Pozorski, T. (1982). Archaeological potato tuber remains from the Casma Valley of Peru. *Economic Botany*, 36(2), 182-192.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018a). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45, 271-278. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000400271&nrm=iso
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018b). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos %J *Revista chilena de nutrición*. 45, 271-278.



http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000400271&nrm=iso

- Viridiana, O.-H., Betancur, D., Guerrero, L., Luis, B.-C., & Castellanos-Ruelas, A. (2017). Morphological and Physicochemical Changes in Great Dwarf Banana (*Musa cavendish* AAA) Starch Modified by Pyrodextrinization and Enzymatic Hydrolysis. *Starch - Stärke*, 70, 1700122. <https://doi.org/10.1002/star.201700122>
- Wang, H., Yang, Q., Ferdinand, U., Gong, X., Qu, Y., Gao, W., Ivanistau, A., Feng, B., & Liu, M. (2020). Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes. *International journal of biological macromolecules*, 160, 660-668.
- Wang, S., & Copeland, L. (2015). Effect of Acid Hydrolysis on Starch Structure and Functionality: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(8), 1081-1097. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551>
- Xijun, L. (2017). Analysis of crystals of retrograded starch with sharp X-ray diffraction peaks made by recrystallization of amylose and amylopectin. *International Journal of Food Properties*, v. 20(no. sup3), pp. S3224-S3236-2017 v.3220 no.sup3223. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1362433>
- Zhou, Y., Meng, S., Chen, D., Zhu, X., & Yuan, H. (2014). Structure characterization and hypoglycemic effects of dual modified resistant starch from indica rice starch. *Carbohydr Polym*, 103, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.020>



ANEXOS

1. Participación en el V congreso internacional de investigación en ciencias de la salud.

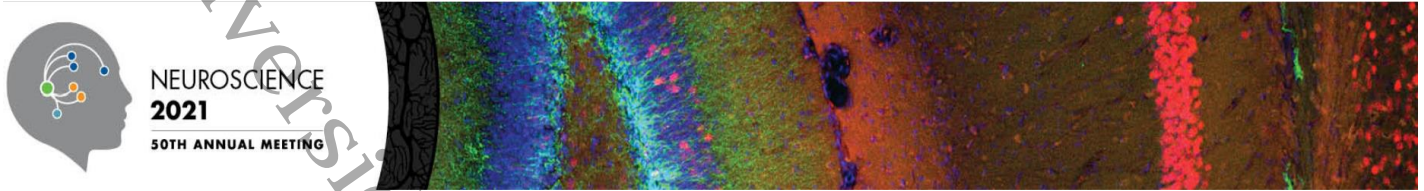


2. Participación en el VI congreso internacional de investigación en ciencias de la salud.





3. Participación en el congreso internacional de neurociencias 2021 número 50 en lamodalidad virtual.



Neuroscience 2021 - Abstract Acceptance Notification Recibidos x

program@sfn.org a través de amazonses.com para mí

mar, 24 ago 2021, 18:54

inglés > español Traducir mensaje Desactivar para: inglés x

Dear Zeniff Reyes-López,

Congratulations! Your abstract, **"Modified starch from cassava (*Manihot esculenta*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*) and its metabolic effects in rats on high sucrose diet"** has been accepted for presentation at Neuroscience 2021 (Virtual: November 8-11, In-Person: November 13-16, Chicago, IL). Access the [OASIS Presenter Portal](#) to view more information regarding your presentation. Messages from SfN regarding your presentation will be posted in the portal as needed. You will need your SfN.org username and password to access the portal.

[Access the OASIS Presenter Portal Here](#)

Once in the portal, select the "Tasks" tab to view your notification.

You will only be able to access information for abstracts where you are listed as the presenting author in the portal. You may see abstracts where you are listed as a co-author, however, you will not be able to see presentation details for these abstracts. Contact the presenting author for these abstracts if you need more information.

If you are unable to access the portal, use this link to view your presentation information: <https://www.abstractsonline.com/notify/notifyintro.asp?MKey={78B1BCCC-0FC0-41FA-8B3D-F9894F35780A}&NKey={A03A770E-EBF0-47A3-BED9-E55791AC6671}>
(If this link does not work, please copy and paste it into your browser.)

Best regards,

Meeting Programs and Attendee Services Staff
Society for Neuroscience
program@sfn.org

The screenshot shows a virtual presentation slide with the title "MODIFIED STARCH FROM CASSAVA AND SWEET POTATO AND ITS METABOLIC EFFECT IN RATS ON HIGH SUCROSE DIET" by Zeniff Reyes. A video feed of the presenter is visible in the bottom right corner. To the right, a mobile app interface for "Virtual Neuroscience 2021 Mobile App" is shown, featuring a search bar, "Ask Question" button, and a "100 / 100 Pts" indicator. The app also displays "No questions found." The footer includes copyright information for Cadmium and the eventScribe logo.