



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica de Ciencias Agropecuarias



**“Evaluación bioactiva del hidrolizado proteico de la
inflorescencia de (*Astrocaryum mexicanum*)”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Adolfo Alejandro Cruz Tobías

DIRECTOR

Dr. Juan Guzmán Ceferino

CODIRECTOR

Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores

Villahermosa, Tabasco. Octubre, 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

En la ciudad de Villahermosa, el día 30 del mes septiembre del año 2025, el que suscribe Adolfo Alejandro Cruz Tobías alumno del programa de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos con número de matrícula 152C14005, adscrito a la División Académica de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la Tesis presentada para la obtención del título de Ingeniero en Alimentos intitulada "Evaluación bioactiva del hidrolizado proteico de la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum*" dirigida por el Dr. Juan Guzmán Ceferino y co-dirigida por la Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 30 de septiembre de 2025

Adolfo Alejandro Cruz Tobías





UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



División
Académica de
Ciencias
Agropecuarias



2025
AÑO DE LA
Mujer
Indígena

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS TERMINALES

Asunto: Autorización de impresión
de Trabajo Recepcional.


Fecha: 08 de abril de 2025.

LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN Y
TITULACIÓN DE LA UJAT.
PRESENTE

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado(a), le informo que, con base en el artículo 113 del Reglamento de Titulación Vigente en esta Universidad, la Dirección a mi cargo **autoriza** al **C. Adolfo Alejandro Cruz Tobías**, con matrícula **152C14005**, egresado(a) de la Licenciatura de **Ingeniería En Alimentos** de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, **la impresión de su Trabajo Recepcional** bajo la modalidad de **Tesis**, titulado: **“EVALUACIÓN BIOACTIVA DEL HIDROLIZADO PROTEICO DE LA INFLORESCENCIA DE (*Astrocaryum mexicanum*)”**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


M.V.Z. JORGE ALFREDO THOMAS TELLEZ
DIRECTOR



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN

C.c.p.- Archivo

Carretera Villahermosa – Teapá Km. 25
R/A La Huasteca 2da Sección
Villahermosa, Tabasco. México. C.P. 86298
Tel. (+52 993) 3581500 ext. 6614
Correo electrónico: terminales.dccc@ujat.mx

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Villahermosa, Tabasco a 30 de septiembre de 2025

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "Evaluación bioactiva del hidrolizado proteico de la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum*".

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



Adolfo Alejandro Cruz Tobías



Dr. Juan Guzmán Ceferino



Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores

DEDICATORIA

A la memoria de mi querido padre, Leandro Cruz Valencia, quien partió en el año 2015. Aunque ya no estés físicamente conmigo, tu recuerdo, tu ejemplo y tu amor permanecen vivos en mi corazón. Cada logro alcanzado es también tuyo, porque me enseñaste a luchar con esfuerzo y dignidad.

A mi amada madre, Francisca Tobías Méndez, y a mi hermana, María Isabel Cruz Tobías, por ser mi sostén, mi inspiración y mi fuerza. Su apoyo incondicional, paciencia y cariño me dieron la valentía para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis abuelos maternos, Rafael Tobías Pérez y Concepción Méndez Landero, así como a mi abuelo paterno, Ceferino Cruz Pérez, quienes con su vida sencilla pero llena de valores me demostraron la importancia del trabajo honesto, la humildad y el amor a la familia.

Con profundo cariño a mis tías Guadalupe Tobías Méndez y María Tila Tobías Méndez, y a mi tío Alberto Tobías Méndez, quienes siempre estuvieron presentes con palabras de aliento, consejos sabios y gestos de apoyo que guardo con gran agradecimiento.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes. Cada página de este trabajo lleva su amor, su sacrificio y la confianza que siempre depositaron en mí. Gracias a ustedes aprendí que los sueños se alcanzan con esfuerzo, constancia y, sobre todo, con el respaldo de la familia.

A ustedes, que han sido mi ejemplo y mi fortaleza, les dedico con todo mi corazón este triunfo, con la esperanza de que se sientan orgullosos, tanto como yo lo estoy de llevarlos siempre conmigo.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al doctor José Manuel Piña Gutiérrez y a su hijo, el ingeniero agrónomo Luis Felipe Piña Ruiz, por abrirme las puertas de su rancho, lugar donde crecí junto a mis abuelos y mi familia. Agradezco profundamente la oportunidad que me brindaron de convertirme en trabajador de este lugar, donde me permitieron no solo desempeñar mis labores, sino también continuar con mis estudios. Hoy, como mis jefes, les reconozco su apoyo, confianza y la motivación que siempre me han brindado.

Al maestro Juan Guzmán Ceferino, mi director de tesis, por su guía, paciencia y orientación a lo largo de este proyecto, contribuyendo de manera fundamental a la culminación de este trabajo académico.

Con especial cariño a mis primas Érika de Jesús Castillo Gutiérrez y Concepción Tobías Ramírez, por estar presentes en los momentos importantes de mi vida y ser parte de este camino.

A mis amigos José Enrique Gallegos Castillo y Guadalupe Castillo Cruz, quienes con su compañía, apoyo y amistad hicieron de esta etapa una experiencia más llevadera y significativa.

Extiendo mi gratitud a todos mis maestros de la carrera, quienes compartieron sus conocimientos y enseñanzas, y a mis compañeros de estudios, con quienes compartí esfuerzos, aprendizajes y momentos inolvidables que marcaron mi formación académica y personal.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	vii
RESUMEN.....	x
ABSTRAC.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	4
2.1. Generalidades de la <i>astrocaryum mexicanum</i>	4
2.2. Plantas como fuentes de proteínas con actividad biológica.....	4
2.3. Hidrolizados proteicos de origen vegetal y sus efectos biológicos.....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	8
5. OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
5.1 Objetivos específicos.....	9
6. METODOLOGÍA.....	10
6.1 Obtención y acondicionamiento de la muestra.....	10
6.2 Proceso de extracción de proteína.....	10
6.3 Proceso de hidrólisis de proteínas.....	11
6.4 Determinación del grado de hidrólisis.....	13
6.5 Determinación de carga bioactiva del hidrolizado.....	13
6.6 Evaluación antioxidante de los hidrolizados proteicos.....	14
6.6.1 Método DPPH.....	14
6.6.2 Método ABTS.....	14
6.6.3 Método FRAP.....	14
6.6.4 Método de inhibición de oxidación de lípido (LOI).....	15
6.7 Determinación de la actividad antidiabética de hidrolizado proteico.....	15
6.7.1 Ensayo de inhibición de la actividad de la alfa-amilasa.....	15
6.8 Análisis Estadístico.....	16
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
7.1 Grado de hidrólisis (GH).....	17
7.2 Carga bioactiva.....	18
7.3 Evaluación antioxidante de los hidrolizados proteicos.....	20

7.3.1 Método DPPH	20
7.3.3 Método FRAP	23
7.3.4 Método de inhibición de oxidación de lípido (LOI)	25
7.4 Actividad de inhibición de la alfa-amilasa	26
8. CONCLUSIONES.....	28
9. REFERENCIAS.....	29
10. ANEXOS.....	37

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso metodológico	9
Figura 2. Efecto del tiempo sobre el grado de hidrólisis con tripsina sobre la proteína de la inflorescencia de <i>Astrocaryum mexicanum</i>	18
Figura 3. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la carga bioactiva con curcumina.....	19
Figura 4. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la carga bioactiva con quercetina.....	20
Figura 5. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre el porcentaje de captura de radicales DPPH.	21
Figura 6. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la captura de radicales ABTS.	22
Figura 7. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	24
Figura 8. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica.....	25
Figura 9. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre el porcentaje de inhibición de la alfa amilasa.....	26

RESUMEN

La investigación se enfocó en evaluar el efecto bioactivo del hidrolizado proteico de *Astrocaryum mexicanum* (chapaya), obteniendo como muestra la inflorescencia de la planta cultivada en Palenque, Chiapas. Las muestras seleccionadas estaban libres de hongos, sin daño físico y con un tamaño promedio de 15-20 cm de longitud. Estas fueron trasladadas al laboratorio donde se deshidrataron mediante liofilización a -45 °C durante 48 horas, tras haber sido desgrasadas usando hexano en una relación 1:6 a 4 °C durante 24 horas. Luego, las proteínas fueron aisladas y para obtener el hidrolizado proteico se utilizó la acción enzima tripsina, optimizando parámetros como el pH, la temperatura y el tiempo de reacción.

La metodología involucró múltiples pruebas para evaluar la capacidad antioxidante e inhibición de la α -amilasa del hidrolizado. La capacidad antioxidante fue medida a través de diferentes ensayos, incluyendo la inhibición de la peroxidación lipídica (LPO), y la captura de radicales libres ABTS y DPPH. Se determinaron los niveles de inhibición de la actividad de la α -amilasa, un indicador de la actividad antidiabética, a través de la incubación del hidrolizado con almidón soluble y α -amilasa pancreática. Se realizaron análisis estadísticos utilizando ANOVA y la prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre los diferentes tiempos de hidrólisis.

Los resultados cuanto, al grado de hidrólisis, se observó un incremento en la formación de péptidos con tiempos de hidrólisis prolongados, aunque con una tendencia a la estabilización o disminución de la actividad bioactiva más allá de los 120 min. Esto sugiere que un tiempo de 2 h de hidrólisis es óptimo para maximizar las propiedades antioxidantes y antidiabéticas del hidrolizado proteico de *A. mexicanum* y con relación a la actividad antioxidante y antidiabética del hidrolizado proteico alcanzó su máximo en los primeros 120 min de hidrólisis, disminuyendo posteriormente. Se observó un alto porcentaje de inhibición de la α -amilasa, alcanzando hasta un 80% tras 120 min de reacción enzimática.

En conclusión, la investigación demuestra que el hidrolizado proteico de *Astrocaryum mexicanum*, obtenido mediante tripsina, presenta una significativa actividad antioxidante y antidiabética, particularmente cuando se hidroliza durante 120 minutos. Estos resultados indican un potencial uso de este hidrolizado en la industria alimentaria y farmacéutica como un agente funcional con propiedades beneficiosas para la salud humana, especialmente en la prevención y manejo de enfermedades degenerativas como la diabetes.

Palabras claves: proteína, hidrolizado, enzima, compuesto bioactivo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ABSTRAC

The research focused on evaluating the bioactive effect of the protein hydrolysate of *Astrocaryum mexicanum* (chapaya), obtaining as a sample the inflorescence of the plant cultivated in Palenque, Chiapas. The selected samples were free of fungi, without physical damage and with an average size of 15-20 cm in length. These were transferred to the laboratory where they were dehydrated by freeze-drying at -45 °C for 48 hours, after having been defatted using hexane in a 1:6 ratio at 4 °C for 24 hours. Then, the proteins were isolated and to obtain the protein hydrolysate the enzyme trypsin was used, optimizing parameters such as pH, temperature and reaction time.

The methodology involved multiple tests to evaluate the antioxidant capacity and α -amylase inhibition of the hydrolysate. Antioxidant capacity was measured by different assays, including lipid peroxidation (LPO) inhibition, and ABTS and DPPH free radical scavenging. Inhibition levels of α -amylase activity, an indicator of antidiabetic activity, were determined by incubating the hydrolysate with soluble starch and pancreatic α -amylase. Statistical analyses were performed using ANOVA and Tukey's test to identify significant differences between different hydrolysis times.

The results showed that, in terms of the degree of hydrolysis, an increase in peptide formation was observed with prolonged hydrolysis times, although with a tendency towards stabilization or decrease in bioactive activity beyond 120 min. This suggests that a 2-h hydrolysis time is optimal to maximize the antioxidant and antidiabetic properties of the protein hydrolysate from *A. mexicanum* and in relation to the antioxidant and antidiabetic activity of the protein hydrolysate, it reached its maximum in the first 120 min of hydrolysis, decreasing thereafter. A high percentage of α -amylase inhibition was observed, reaching up to 80% after 120 min of enzymatic reaction.

In conclusion, the research shows that the protein hydrolysate from *Astrocaryum mexicanum*, obtained by trypsin, presents a significant antioxidant and antidiabetic activity, particularly when hydrolyzed for 120 minutes. These results indicate a

potential use of this hydrolysate in the food and pharmaceutical industry as a functional agent with beneficial properties for human health, especially in the prevention and management of degenerative diseases such as diabetes.

Keywords: protein, hydrolysate, enzyme, bioactive compound.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

INTRODUCCIÓN

Los vegetales son una fuente de nutrientes que el hombre ha utilizado como parte de su dieta; en los últimos años se ha prestado especial interés por plantas, esto debido a que algunas han sido identificadas con potencial nutracéutico por su composición fitoquímica (Yahia, Gutierrez-Orozco, & Leon, 2011; Pérez-Jiménez & Saura-Calixto, 2015), puesto que además de aportar nutrientes, proveen de compuestos con propiedades bioactivas (Siritapetawee et al. 2015; Wannasiri et al. 2017; Shajib et al., 2018).

Un compuesto bioactivo se define como cualquier sustancia química que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales) y que cumplen funciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud o bien como los componentes de los alimentos que influyen en las actividades celulares y fisiológicas obteniendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud (Augustin, Martínez, & Muñoz, 2006). En este sentido ha crecido el interés de estudiar no solo los metabolitos secundarios de las plantas, sino también los primarios entre ellos, particularmente las proteínas.

Se tienen evidencias que los péptidos obtenidos por vía enzimática poseen actividad biológica, dependiendo de su composición (Løkra et al. 2008), de su estructura (Jami et al. 2007), así como de su procedencia (Konozy et al. 2013).

Existen especies vegetales que pueden ser aprovechadas de manera racional para la búsqueda de compuestos activos, tal es el caso de las inflorescencias de las palmeras, una de ellas es *Astrocaryum mexicanum*, de la cual únicamente se conoce su uso como alimento de temporada y su distribución geográfica en el sureste de México (Arroyo-Rodríguez, Aguirre, Benítez-Malvido, & Mandujano, 2007)(Ruiz-Guerra et al. 2015) . No es una especie que se cultive de manera extensiva, sin embargo, se conoce su calidad nutrimental respecto al contenido proteico (Centurión Hidalgo et al. 2009)

En este trabajo se aborda el aprovechamiento de la proteína de la inflorescencia de *A. mexicanum*, y aplicar sobre ella dos proteasas para la obtención de hidrolizados con propiedades bioactivas.

Aunado a lo anterior, son los hidrolizados proteicos los que mayormente han sido estudiados a partir de fuentes animales como la leche (Korhonen & Pihlanto, 2006a), el huevo (Duan et al. 2016) o bien, de origen marino, como el Holothuroidea (pepino de mar) (Dong et al. 2014); (Ahn et al. 2014), por la cantidad de proteínas que estos aportan; sin embargo, aunque las cantidades de proteínas de fuente vegetal son relativamente mínimas, en algunos casos, como las solanáceas (Guzmán Ceferino et al. 2019), pero se ha comprobado que sus efectos biológicos son sustanciales (Chalamaiah, Yu, & Wu, 2018).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ANTECEDENTES

2.1. Generalidades de la *astrocaryum mexicanum*

La palma arbórea *Astrocaryum mexicanum* es una de las especies de plantas más abundantes en la región de sureste mexicano, se localiza en Veracruz, Tabasco y Chiapas y parte de Centroamérica. Es una palmera monoica distribuida en áreas de selva tropical del sureste de México, y la única especie del género en el país. Su distribución en el rango altitudinal de la región se encuentra entre 0 y 700 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.) (López-Pérez et al. 2014).

Durante la temporada reproductiva, una palma puede tener hasta cinco inflorescencias, cada una con un promedio de 4885 flores masculinas y 28 femeninas. Los sitios de plantación mostraron reducciones significativas en la densidad de la palmera *Astrocaryum mexicanum*., la planta más abundante en sitios forestales no manejados (Martínez-Ramos, 1997).

2.2. Plantas como fuentes de proteínas con actividad biológica

Los principales aminoácidos que han sido identificados en algunas especies, por ejemplo, (*Solanum melongena* L. y *Solanum phureja*) son la alanina, 5-hidroxitriptamina, arginina, glicina, leucina, serina, así como los ácidos carboxílicos: alfa-linolénico, araquidónico, ascórbico, aspártico, glutámico, oxálico, palmítico; y las aminas: fenilalanina, triptamina (Al-Rehaily et al. 2013).

Mientras que en *Solanum nigrum* L., se ha aislado una glicoproteína que tiene un peso molecular de 150 kDa posee el 69,74 % de carbohidratos, el 30,26 % de proteína, y más de 50 % de aminoácidos hidrófobos como glicina y prolina (Surh, 2002). También se ha observado que los péptidos *Solanum tuberosum* contienen residuos de tirosina (Cheng, Xiong, & Chen, 2010).

Existen estudios que señalan a las solanáceas como fuentes de péptidos, tal es el caso de la lunasina de *Solanum nigrum* (Muñoz et al. 2014); también de otras especies de Solanáceas se ha reportado la presencia de péptidos, de análogos de alanina, así como de un hexapéptido obtenido a partir de caseína (McClellan, Beggs, & Welch, 2014).

2.3. Hidrolizados proteicos de origen vegetal y sus efectos biológicos

Estudios recientes sobre hidrolizados proteicas se han reportado como compuesto natural de actividad antidiabética y antioxidante. Tal es el caso reportado por (Quintero-Soto et al., 2021) sobre hidrolizados de la fracción albumina y globulina de *Cicer arietinum* L. Los péptidos generados tienen efectos antioxidantes por el método ABTS de aproximadamente del 75 % y del 42 % por el método DPPH. Mientras que la actividad antidiabética supera el 55 %. Por lo que su potencial uso es en la elaboración de suplementos alimenticios para contrarrestar el estrés oxidativo y la diabetes.

También se han aislado péptidos de arroz, llamado orizatensina, que ha demostrado capacidad inmunológica. Este péptido (Gly-Tyr-Pro-Met-Tyr-Pro-Leu-Pro-Arg) fue aislado del digerido trípico de proteínas de arroz y se demostró su resistencia a las digestiones con pepsina y pancreatina. La orizatensina exhibió una actividad significativa de promoción de la fagocitosis cuando se evalúa a concentración superior a 1 mM (García et al. 2013).

Por su parte, (García et al. 2015) realizaron una optimización de la digestión de las proteínas de semilla de cereza y se emplearon tres enzimas diferentes: Alcalasa, Termolisina y Flavourzyme. Los extractos de péptidos obtenidos por la digestión del aislado de proteína de semilla de cereza con Alcalasa y Termolisina produjeron péptidos con altas capacidades antioxidantes y antihipertensivas.

(Hernández-Ledesma et al. 2009), en sus investigaciones reportan que el estrés oxidativo y la inflamación son dos de los factores más críticos implicados en la carcinogénesis y otros trastornos degenerativos. Por lo que demostraron como la lunasina, un conocido péptido semilla anticancerígeno, afecta a estos factores. Este péptido inhibe la oxidación del ácido linoleico y actúa como eliminador de radicales de sal diamónica (ABTS) de 2,20-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico).

Además, experimentaron al utilizar macrófagos RAW 264.7 estimulados por LPS, la lunasina reduce de manera significativa, dependiente de la dosis, la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) por parte de los macrófagos inducidos por LPS. Además, demostraron que la lunasina, también inhibe la liberación de citocinas

proinflamatorias (factor de necrosis tumoral- α [TNF- α] e interleucina-6 [IL-6]). Por lo que sus trabajos lo llevaron a concluir que, sobre la base de estas potentes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, proponen que la lunasina no solo como un agente preventivo y terapéutico del cáncer, sino también como un agente contra otros trastornos relacionados con la inflamación.

Los desechos agroindustriales también son una fuente de proteínas que, tratadas de manera enzimática o química, pueden generar péptidos bioactivos, como lo demuestran (Zarei et al., 2014), que aislaron e identificaron nuevos péptidos con actividad antioxidante a partir de proteolizado de torta de palmiste (PKC) generado con papaína. Algunas secuencias peptídicas mostraron las actividades de eliminación de radicales del 50 a un 71 %, respectivamente; mientras que otras secuencias peptídicas mostraron las actividades quelantes de metales 50 al 56 %, respectivamente. Estos investigadores concluyen que los péptidos derivados del proteolizado de PKC fueron más potentes y distintivos en comparación con los informados anteriormente de otras fuentes de proteínas vegetales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La organización mundial de la salud (OMS) ha reportado en sus documentos oficiales, índices de enfermedades por diabetes de manera alarmante, en 1998, se reportaron 108 millones de casos, y para el 2014, 422 millones de casos, particularmente en los países de menores ingresos. La diabetes es causa de ceguera, insuficiencia renal, infartos, accidentes cerebrovascular y pérdida de extremidades corporales. Para 2019, esta enfermedad fue causa directa de 1.5 millones de defunciones por hiperglucemia.

Así mismo, el cáncer es sus diferentes tipos, así como las infecciones crónicas, también son factores de riesgo de muerte; es la segunda causa de mortalidad en el mundo, por lo que el 70 % de ésta se presentan en los países más pobres; las causas van desde consumo de tabaco, elevado índice de masa corporal, exposición a radiaciones, entre otras. Particularmente se ha prestado la atención a la baja ingesta de frutas y verduras o alimentos sanos o poco procesados, así como poca y nada actividad física.

Los altos consumos de alimentos ricos en conservadores químicos son causa de enfermedades a largo plazo, que, si no se orienta la ciencia y la tecnología de los alimentos a la búsqueda de soluciones a partir de fuentes naturales, deja de ser el vínculo que propicie acceso rápido a alimentos económicos, nutritivos y seguros.

En los últimos años, la investigación sobre los péptidos bioactivos obtenidos mediante la hidrólisis enzimática de proteínas ha cobrado mayor relevancia. Este interés se debe, en gran parte, a la creciente demanda de alternativas naturales para reemplazar a los antioxidantes sintéticos comúnmente empleados en la industria alimentaria, así como a la necesidad de reemplazar las proteínas de origen animal por opciones vegetales.

4. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha demostrado que los péptidos naturales, obtenidos mediante hidrólisis enzimática, tienen la capacidad de modular el sistema inmunológico, contrarrestar las enfermedades degenerativas, tal como la diabetes, la hipertensión arterial, el cáncer, el hipercolesterolemia, así como algunas infecciones transmitidas por los alimentos.

Por otro lado, la amplia diversidad de especies vegetales que existen en México, algunas de ellas estudiadas y otras, consideradas como medicina alterna, carecen de estudios científicos que validen su uso medicinal y en consecuencia que sean aprovechadas en el procesamiento de alimentos.

Existen también aquellas especies de plantas que por sus semillas, frutos o inflorescencias son fuentes importantes de proteínas susceptibles de generar compuestos de alto valor biológico, tal es el caso de *Astrocaryum mexicanum* de la que solo se conoce su uso tradicional en el sureste mexicano, particularmente en Chiapas y Tabasco, como alimento con alto contenido de proteínas.

Los resultados que se pueden generar de esta investigación podrán ser en beneficio de la salud humana, ya que se dispondrá de conocimiento del hidrolizado proteico de *Astrocaryum mexicanum* con efectos bioactivos que sobre esta especie no se conocen.

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto bioactivo del hidrolizado de la proteína de *Astrocaryum mexicanum* obtenido por tripsina.

5.1 Objetivos específicos

- Determinar el grado de hidrólisis de la proteína obtenido por la enzima tripsina.
- Analizar la capacidad de carga bioactiva del hidrolizado mediante una técnica espectrofotométrica.
- Evaluar el efecto antioxidante del hidrolizado mediante cuatro métodos in vitro.
- Evaluar el efecto del tiempo del hidrolizado sobre la actividad de inhibición de la α -amilasa.

6. METODOLOGÍA

6.1 Obtención y acondicionamiento de la muestra

En esta investigación se utilizó como elemento de estudio la inflorescencia de *A. mexicanum*, la cual se obtuvo en el mercado local de Palenque, Chiapas, México. Las muestras colectadas fueron sanas, es decir, libres de hongos, sin daño físico, con un grado de madurez intermedio, un tamaño promedio de 15 a 20 cm de longitud y 5 a 10 cm de espesor.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Tecnología de Alimentos de la División de Ciencias Agropecuarias donde se les retiró la cáscara y se congelaron a -20 °C por 24 h; posteriormente, las muestras se deshidrataron en un liofilizador marca Virtis, Sentry 2.0 25ES, durante 48 h a -45 °C, usando una presión de vacío de 0.4 mBar (Guzmán-Ceferino et al., 2019).

Previo al proceso de desgrasado se aplicó una molienda en un molino de rodillos para obtener partículas de aproximadamente 0.2 cm. El desgrasado se realizó por maceración con hexano en una relación 1:6. Esta operación se realizó a 4°C por 24 h (Guadix et al. 2000), el proceso anterior se observa en la figura 1.

6.2 Proceso de extracción de proteína

El proceso de extracción de proteína se realizó en dos etapas; la primera consistió en extraer la fracción proteica en condiciones alcalinas (1:5), a un pH 9. El agua destilada se ajustó con NaOH 1.0 M y la muestra desgrasada se dispersó para la extracción durante 1 h a 25 °C en un ThermoMixer C, marca Eppendorf. Posteriormente, mediante un proceso de centrifugación (Hettich Zentrifugen, Universal 320R) a 7000 rpm a 4 °C por 20 min se recuperó la fracción proteica. A dicha fracción se le ajustó el pH a 4.5 con HCl 1.0 M para recuperar las proteínas por precipitación isoeléctrica. Al igual que el proceso anterior, se aplicó centrifugación en las condiciones antes mencionadas (Puchalska et al., 2014).

Para conocer el contenido de proteína en las dos etapas de extracción, se aplicó el método de Lowry; para ello, fue necesario realizar una curva de calibración con

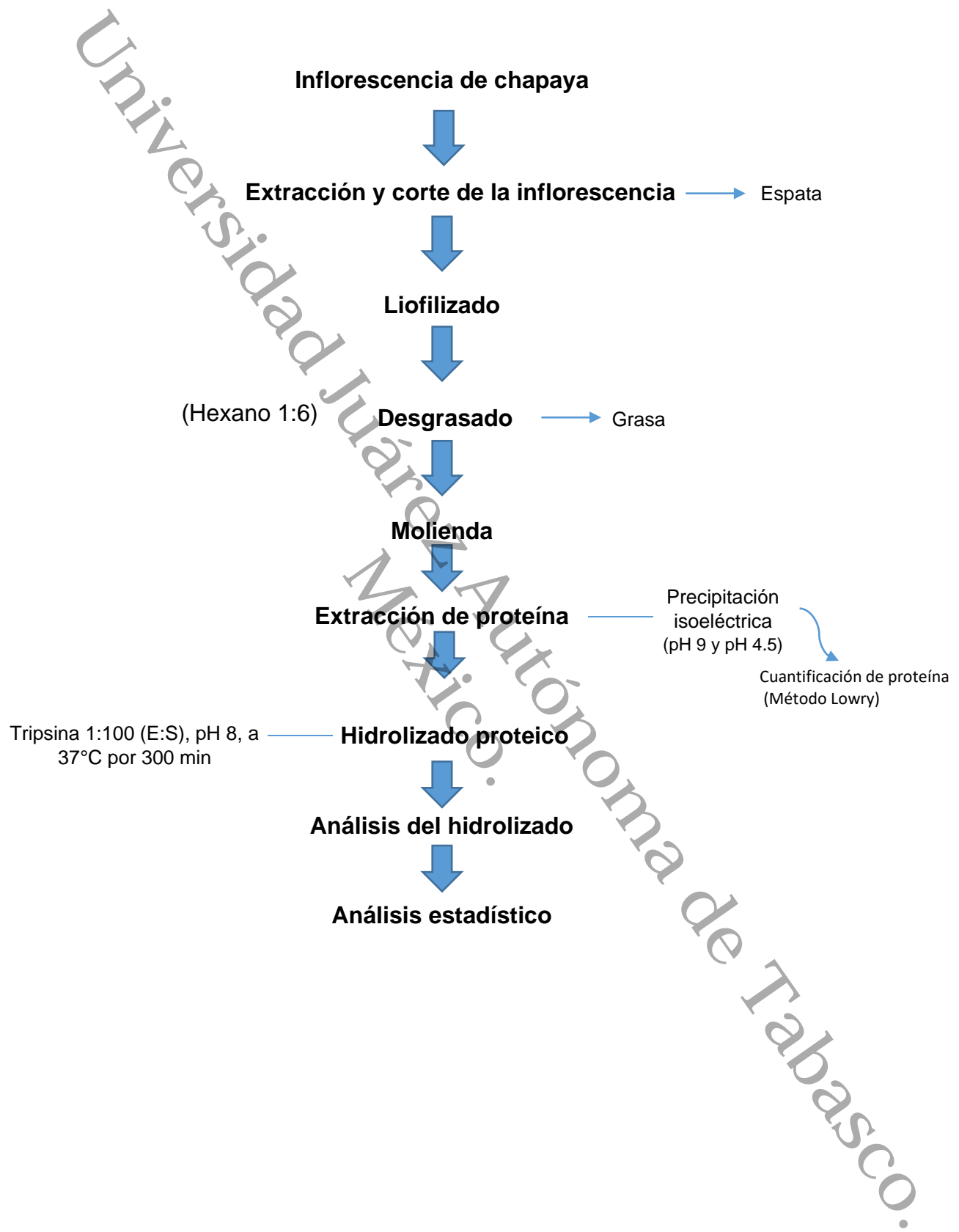
albumina sérica bovina (0 a 1000 mg/L) Sigma-Aldrich (Sasidharan & Venugopal, 2020) y se leyó la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro marca VELAB.

Después de la extracción y cuantificación del complejo proteico, fueron almacenados a -20 °C hasta posterior uso.

6.3 Proceso de hidrólisis de proteínas

El hidrolizado del aislado proteico se llevó a cabo con tripsina (Sigma-Aldrich) en una relación 1:100 E-S (Enzima-Sustrato). El sustrato se preparó a una concentración del 2 %; mientras que la enzima se resuspendió en solución buffer 0.15 mM de pH 7.5 a 8 y a 25 °C, con el fin de solubilizarla y que permaneciera activa (Moghadam et al., 2020).

Para dar inicio al proceso de hidrolizado, la enzima se adicionó cuando ésta fue activada en buffer fosfato 0.15 mM pH 8.0. La reacción enzimática se realizó durante 5 h a 37 °C (ThermoMixer C, Eppendorf), por lo que se tomaron muestras de hidrolizado a los 0, 15, 30, 60, 120, 180, 240 y 300 min y cada una de ellas se colocaron en un baño maría durante 10 min de 95 a 100 °C para inactivar la enzima (López-Barrios et al., 2014). Finalmente, el hidrolizado fue liofilizado y almacenado en congelación.



6.4 Determinación del grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis se realizó por el método de Adler-Nissen (1974) citado por (Intiquilla et al., 2019), método que se fundamenta en la reacción del TNBS con grupos amino libres.

Cada una de las muestras de hidrolizado se mezclaron con solución buffer de ensayo y con reactivo TNBS 0.01% y se incubaron por 60 min a 50 °C en ausencia de luz. Esta mezcla de reacción se detuvo con HCL 0.1 N y posteriormente se incubaron por 60 min a temperatura ambiente para que alcance la temperatura ambiente antes de realizar el análisis de grado de hidrólisis (GH). Para estimar el GH, se realizó una curva de calibración con L-leucina (Sigma-Aldrich) y se aplicó la ecuación 1.

Para estimar el grado de hidrólisis total se mezcló la solución de proteína al 2 % (sin tripsina) y se dejó reposar durante 30 min para después adicionar HCl 6 N y se incubó a 110 °C por 24 h. El hidrolizado se filtró y se ajustó el pH a 7.0 usando NaHO 1 N. La muestra hidrolizada se diluyó con 5 mL de agua desionizada y se leyó la absorbancia a 340 nm, ésta se analizó como se indicó para el hidrolizado enzimático.

$$GH (\%) = \frac{Lt - L0}{Lmax - L0} \times 100 \quad Ec. 1$$

Donde:

- GH = Grado de hidrólisis (%).
- Lt = Contenido de grupos amino libres en la muestra hidrolizada en el tiempo t (medido con TNBS, en meq/g de proteína).
- $L0$ = Contenido de grupos amino libres en la proteína sin hidrolizar (control).
- $Lmax$ = Contenido de grupos amino libres tras una hidrólisis completa (usualmente determinada mediante hidrólisis ácida total).

6.5 Determinación de carga bioactiva del hidrolizado

Para realizar este ensayo, fue necesario preparar una curva de calibración de curcumina (0.1 a 10 µg/mL) y quercetina (1 a 20 µg/mL) por separado. Se leyó las absorbancias a 420 y 365 nm en un espectrofotómetro VELAB, respectivamente. Posteriormente, se mezcló 50 µL de muestras obtenidas en diferentes tiempos de

hidrolizados con 500 µL de solución de curcumina (Sigma Aldrich) y quercetina (Sigma Aldrich) de 500 µg/mL, respectivamente. Seguidamente se dejó reposar por 12 h a 25 °C en ausencia de luz (Moghadam et al., 2020).

6.6 Evaluación antioxidante de los hidrolizados proteicos

6.6.1 Método DPPH

Para evaluar la actividad antioxidante por la técnica DPPH, cada muestra de hidrolizado proteico se mezcló con una solución de DPPH 0.1 mM, se dejó reaccionar durante 30 min protegido de la luz y la absorbancia se leyó a 517 nm en un espectrofotómetro VELAB 600 (Zhu et al. 2014;Liu et al., 2015).

6.6.2 Método ABTS

Para confirmar el efecto antioxidante de los hidrolizados enzimáticos se aplicó el método con ABTS. El radical ABTS se preparó a una concentración de 7 mM y se mezcló 900 µL de éste con 10 µL de muestra de cada tiempo de hidrolizado; después de 10 min de reacción, la absorbancia se leyó a la longitud de onda de 734 nm. En ambos casos se utilizó como control positivo glutatión (5 µg/mL) (Zheng et al., 2016).

La actividad antioxidante (ABTS Y DPPH) se expresó en porcentaje de captura (% C) usando la siguiente ecuación:

$$\% C = \frac{(Abs \text{ del radical} - Abs \text{ de la muestra})}{Abs \text{ del radical}} \times 100 \quad Ec.2$$

6.6.3 Método FRAP

El poder reductor de los hidrolizados se midió mediante el método poder antioxidante reductor férrico (FRAP). De cada muestra de hidrolizado de tiempo diferente, se tomaron 50 µL y se mezcló con 625 µL de reactivo FRAP y se incubó por 15 min a 37 °C; posteriormente, la absorbancia se leyó a 593 nm en un espectrofotómetro VELAB (Choi et al., 2011; Bontempo et al., 2013). El poder reductor se expresó en equivalente Trolox (ET) (Manga, Brostaux, Ngondi, & Sindic, 2020), por lo que se realizó una curva de calibración de Trolox (25 a 250 ppm).

6.6.4 Método de inhibición de oxidación de lípido (LOI)

Para el ensayo LOI, se usó ácido linoleico como fuente de lípido de acuerdo con el método según (Martínez-Ávila et al. 2012). Una alícuota 50 µL de cada hidrolizado proteico fue mezclada con 100 µL solución de ácido linoleico y se homogenizó durante 3 min. Posteriormente, la emulsión se incubó a 37 °C por 1 min y se adicionó por 75 µL de solución FeCl₂-EDTA 0.05 M para inducir la oxidación. Finalmente, a las muestras incubadas a los tiempos de 1 y 24 h, se les adicionó 1 mL de NaOH 0.1 M en etanol al 10 %. Así mismo, se adicionó a 250 µL de la mezcla de reacción y 2.5 mL de etanol al 10 %, seguidamente se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 232 nm en un espectrofotómetro VELAB.

El porcentaje de actividad antioxidante se estimó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = 100 - (B * 100 - A) \text{ Ec. 3}$$

A = diferencia entre la absorbancia de la muestra control después de 24 h y 1 h de incubación.

B = diferencia de absorbancia entre las fracciones después de 24 h y 1 h de incubación.

6.7 Determinación de la actividad antidiabética de hidrolizado proteico

6.7.1 Ensayo de inhibición de la actividad de la alfa-amilasa

Para determinar la inhibición de la actividad α-amilasa del hidrolizado proteico se usó la metodología reportada por (Lopez Martinez et al. 2014). La reacción enzimática consistió en adicionar 200 µL de almidón (1%) soluble en tubos de vidrio y se incubaron en un baño maría (Cole Parmer) a 100 °C de 5 a 10 min y, posteriormente en una incubadora Shellab se dejó reaccionar a 37 °C de 5 a 10 min. Después se agregaron 200 µL de Dimetil Sulfóxido (DMSO), a 200 µL de muestra de los distintos tiempos de hidrolizado de manera individual y 200 µL de α-amilasa pancreática porcina (2 U/mL), 100 µL de amortiguador (Tris-HCl 0.5 M, cloruro de sodio 0.01 M, pH 6.9), 500 µL de 3,5-dinitrosalicilato (DNS) al 0.1%.

Aunado a lo anterior, las mezclas se dejaron reaccionar de 10 a 15 min a 100 °C. Finalmente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 15 min. Las absorbancias se determinaron en un espectrofotómetro UV-VIS VELAB a una longitud de onda de

540 nm. Como control positivo de inhibición se utilizó un oligosacárido antiglicémico comercial (Acarbosa).

La actividad antidiabética se expresó en porcentaje como se indica en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Inhibición de } \alpha \text{ amilasa} = \frac{(AC +) - (AC -) - (AS - AB)}{(AC +) - (AC -)} \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde: AC= absorbancia del control; AS= absorbancia del blanco; AB= Absorbancia de la muestra

6.8 Análisis Estadístico

Los datos de cada variable de respuesta que se obtuvieron por triplicado en los ensayos experimentales, se le aplicaron un análisis de la varianza para un diseño completamente al azar (ANOVA) de un solo factor y las diferencias estadísticas entre las medias se identificaron mediante la técnica de Tukey, con nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico GraphPad versión 8.3 y fueron expresados como la media aritmética \pm desviación estándar.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Grado de hidrólisis (GH)

En la figura 2, se puede observar el efecto de la actividad de actividad de la tripsina sobre el grado de hidrólisis (GH) de la proteína de la inflorescencia de *A. mexicanum*. Existe una influencia significativa entre los 15 a 60 min, posteriormente, el GH disminuye, se ha demostrado que las proteasas digestivas como la tripsina tiene sus efectos hidrolíticos dentro de las dos primeras horas de actuar sobre el sustrato.

El comportamiento que se observa a los 15 min puede deberse que inicialmente el contenido de proteína es mayor, como consecuencia el GH es directamente proporcional, también puede atribuirse a la velocidad de reacción, es decir, a medida que pasa el tiempo la velocidad de reacción puede disminuir debido a la a desnaturalización de la enzima o bien a la degradación de sustrato (Zhao et al., 2022). Este comportamiento de disminución del GH después de los 60 min, además de lo antes mencionado se debe al agotamiento de sustrato, así mismo, al tratarse de proteína no purificada, la presencia de impurezas o de otros compuestos pueden interferir en la detección. En este caso, los valores de GH fluctuaron de 22 a un 26%.

Estas fluctuaciones en el GH con el tiempo pueden deberse a varios factores, uno de ellos a la inhibición por productos que inhiben la actividad enzimática y con ello el GH, pero a medida que estos se degradan la actividad enzimática puede recuperarse (Scopes, 2002) y en consecuencia el aumento del GH, aunado a lo anterior, la enzima puede requerir un periodo de activación y esto puede explicar un aumento inicial en el GH, seguido de una disminución y de un nuevo aumento (Lalmanach, 2008).

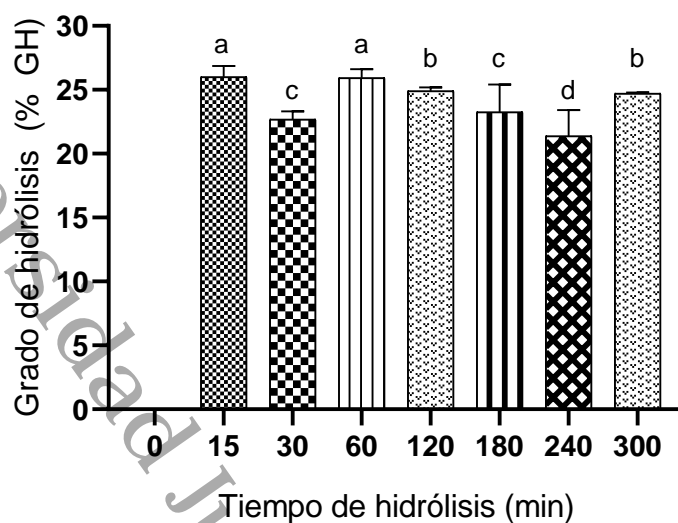


Figura 2. Efecto del tiempo sobre el grado de hidrólisis con tripsina sobre la proteína de la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum*. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrólisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Los resultados encontrados en esta investigación en cuanto al GH, son superiores a los reportados por Rahimi et al., 2022, para proteína de papa fue de $17,85 \pm 0,72\%$. Aumentó rápidamente hasta el $14,9\%$ en 60 min, seguido de una tasa de aumento más lenta hasta las 120 min.

7.2 Carga bioactiva

En la figura 3, se observa el efecto del tiempo del hidrolizado con la tripsina sobre la capacidad de la carga bioactiva. El tiempo influye de manera significativa ($p \leq 0.05$) sobre la capacidad de carga bioactiva del hidrolizado, es decir, a medida que transcurre el tiempo, se observa variabilidad, existe un incremento a partir de los 30 min, y esta disminuye entre los 60 y 180 min. Sin embargo, existe un incremento significativo a los 240 min. Por lo que la mayor carga bioactiva del hidrolizado de proteína de la inflorescencia de *A. mexicanum* ejercida con la interacción de la curcumina se observa a los tiempos 30 y 240 min respectivamente.

La variación de la carga bioactiva con el tiempo y con el GH puede atribuirse a la formación de nuevos péptidos que no estaban presentes inicialmente, a cambios en

la estructura, así como a la interacción entre sí y que van a repercutir o afectar la bioactividad (Korhonen & Pihlanto, 2006).

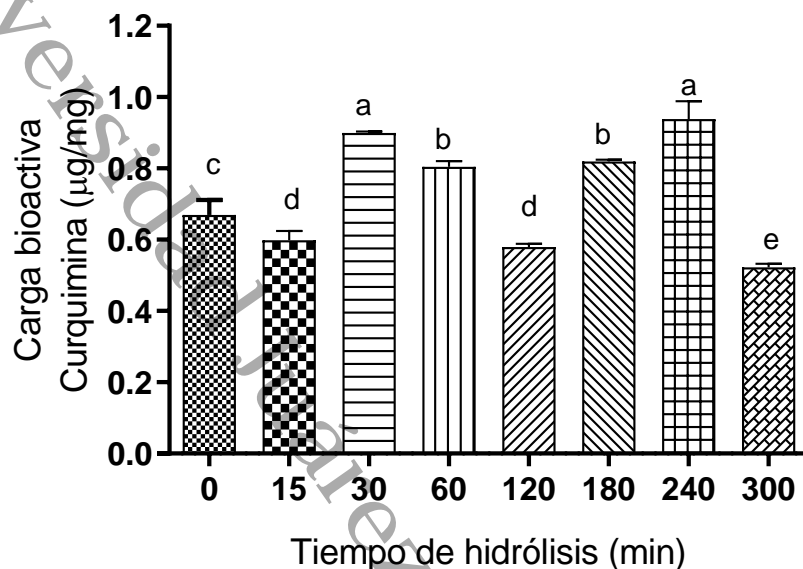


Figura 3. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la carga bioactiva con curcumina. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrolisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Como se aprecia en la figura 4, la carga bioactiva aumenta con el tiempo de hidrolisis con la tripsina, comparando el tiempo 0 (control) con respecto a lo demás tiempo. Lo cual demuestra que la acción de la tripsina sobre la proteína de la inflorescencia de *A. mexicanum* tiene efecto en su estado nativo.

Se ha reportado que la acción de la tripsina sobre el hidrolisis de proteína de nuez ejerce acción sobre la carga bioactiva, existe un incremento para interactuar con la curcumina y la quercetina. Existe un aumento de carga desde el 0 a 120 min, con valores de 0.7 a 4 y de 2.8 a 10.6 $\mu\text{g}/\text{mg}$, respectivamente.

En relación a la carga bioactiva del hidrolizado sobre la quercetina, se presenta en la figura 4, se encontró efecto significativo ($p \leq 0.05$) a medida que el tiempo transcurre hasta alcanzar los 60 min, posteriormente, existe un decremento de esta carga hasta ser inferior de 0.5 $\mu\text{g}/\text{mg}$ a los 300 min. El hidrolizado tiene sus mayores efectos únicamente a los 60 y 240 min, respectivamente.

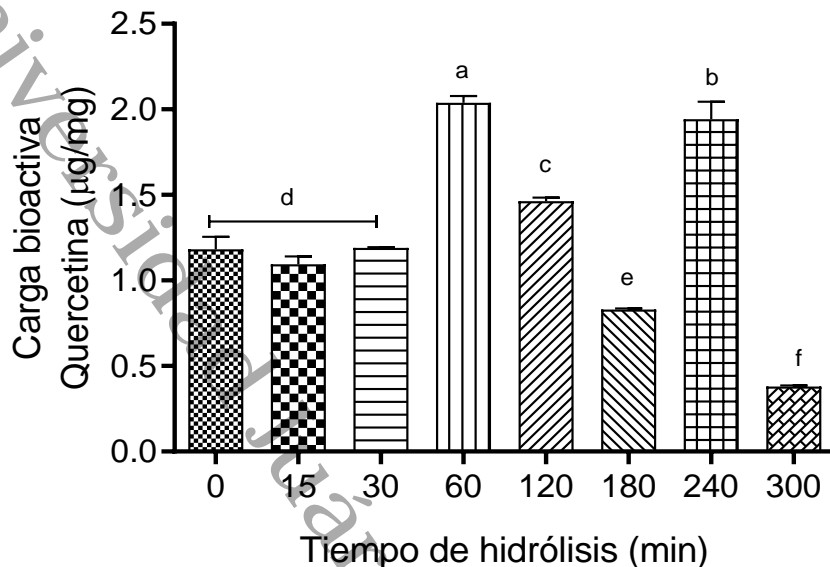


Figura 1. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la carga bioactiva con quercetina. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrolisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Este comportamiento de incremento y decremento de carga bioactiva, está relacionado con la secuencia de aminoácidos obtenido por el grado de hidrolisis enzimática, influye la proporción de aminoácidos, su carga neta, su masa molecular, su hidrofobicidad (Vioque et al., 2006).

Los reportes científicos han demostrado que, los péptidos o los hidrolizados proteicos tiene la capacidad de interactuar con otras moléculas como lo son los del grupo polifenólicos (Su et al., 2018).

7.3 Evaluación antioxidante de los hidrolizados proteicos

7.3.1 Método DPPH

En la figura 5, se presenta el efecto del tiempo del hidrolizado con tripsina sobre la captura de radicales DPPH. Existe un efecto significativo con el tiempo de hidrolisis, en este caso la captura de radicales disminuye progresivamente. Los valores de capturas en todos los tiempos fueron menores del 50 %.

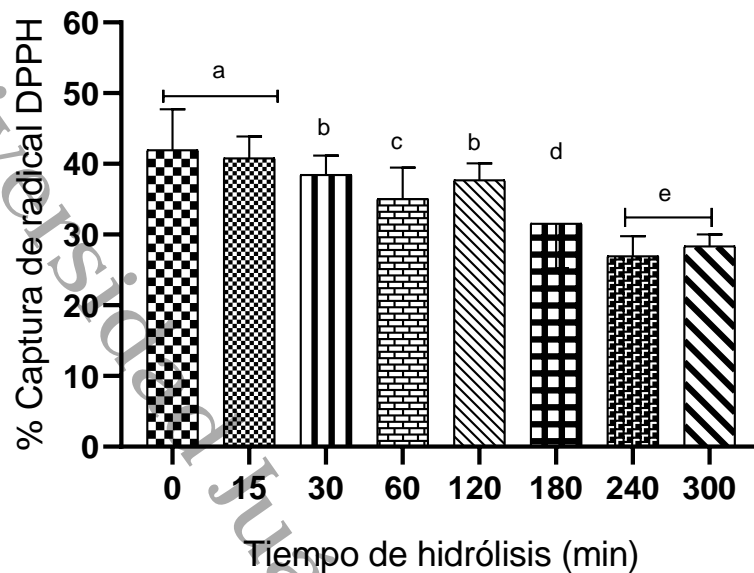


Figura 2. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre el porcentaje de captura de radicales DPPH. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrolisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Los antioxidantes se han reconocido que, químicamente son sustancias que tienen la capacidad evitar o prevenir la oxidación de biomoléculas, particularmente como los lípidos o las proteínas, ya que estas son muy reactivas de oxígeno. Los cambios en la estabilidad química de las macromoléculas, particularmente la oxidación son unos de los factores que originan el deterioro en los alimentos, por lo que es fundamental para que exista una larga vida de anaquel, la presencia de sustancias antioxidantes como los péptidos que se han relacionado no solo a nutrir, sino también en mejorar la calidad de la salud (Benzie & Choi, 2014).

Por otro lado, (do Evangelho et al., 2016), han reportado que la actividad antioxidante del hidrolizado proteico de frijol negro con pepsina y alcalasa, tienen un efecto de captura de radicales DPPH de 33.7 a 45 % respectivamente. Datos que son similares a lo encontrado en esta investigación, posiblemente se debe a la fuente de proteína, a las enzimas utilizadas para obtener el hidrolizado y a las condiciones de hidrolizado.

7.3.2 Método ABTS

En la figura 6, se presentan los efectos del tiempo del hidrolizado sobre la captura del radical ABTS. El hidrolizado con tripsina tiene efecto significativo con respecto a los tiempos, por lo que existe un incremento significativo entre el tiempo 0 y los 120 min. Los valores de captura de radical fluctuaron entre el 45 y el 83%. En donde el tiempo de hidrólisis de 120 min, es donde se alcanza el mayor valor de captura.

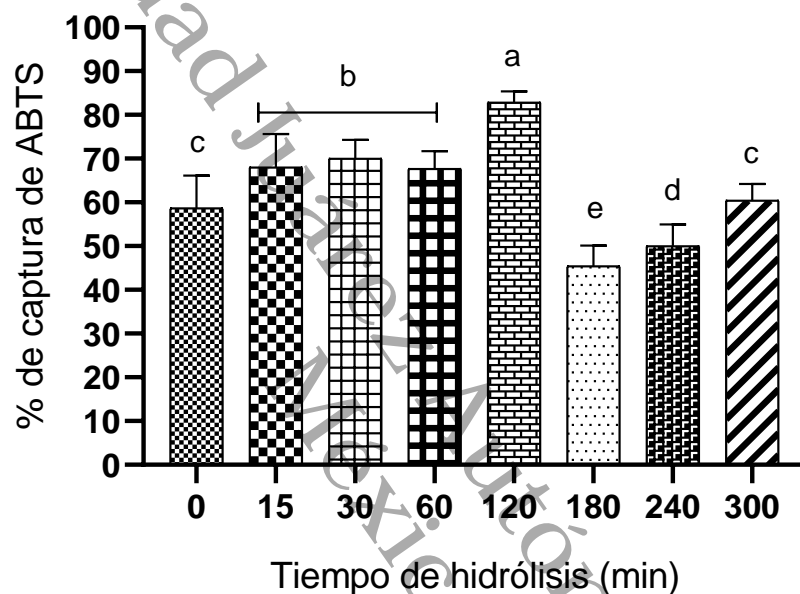


Figura 3. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre la captura de radicales ABTS. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrólisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Los reportes científicos han demostrado que la actividad antioxidante de los péptidos está relacionada con las propiedades estructurales, su masa molecular, la composición y la proporción aminoácidos en que estos se encuentran, así como su hidrofobicidad (López-Pedrouso et al., 2022). Los factores que pueden afectar la actividad antioxidante de hidrolizados obtenidos a partir de proteínas alimentarias incluyen la especificidad de la enzima, el grado de hidrólisis y las propiedades estructurales de los péptidos resultantes como tamaño molecular, hidrofobicidad y composición de aminoácidos (Real Hernández & González de Mejía, 2019); (Paredes et al., 2018).

También existen reportes que indican que la actividad de captura de radicales o antioxidantes esa en función de la masa molecular de los péptidos generados durante la hidrólisis, en este sentido (Ngho & Gan, 2018), reportan que el hidrolizado proteico de frijol pinto tiene efectos antioxidantes de 1,9 a 42 % dependiendo de la masa molecular de las fracciones obtenidas. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en el hidrolizado proteico de *A. mexicanum*, por el método ABTS. (Paredes et al., 2018).

Por su parte, (Mendoza-Jiménez et al., 2018), encontraron que en sus estudios sobre la actividad antioxidante de los hidrolizados proteicos del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) v Negro Primavera-28 y Flor de Durazno, valores de actividad antioxidante de 10 a 55 % de captura de radical ABTS, y que al igual que en esta investigación tiene un comportamiento dependiente del tiempo de hidrólisis. Y comparados con lo encontrado en esta investigación, son menores, pues el hidrolizado de la proteína de la inflorescencia de *A. mexicanum* con tripsina, presentó valores de 45 a 82 %.

7.3.3 Método FRAP

En la figura 7, se presentan los efectos del tiempo del hidrolizado sobre la captura del radical FRAP. El hidrolizado con tripsina tiene un efecto significativo al tiempo 15 min con respecto a los tiempos consecutivos, por lo que existe un decremento sustancial significativo. Siendo a un tiempo de 15 min, donde el poder reductor férrico es de 120 μM ET. Posteriormente, a partir de 120 min a 300 min, existe un decremento significativo entre los valores del tiempo de hidrólisis, sin que este sea menor 50 μM .

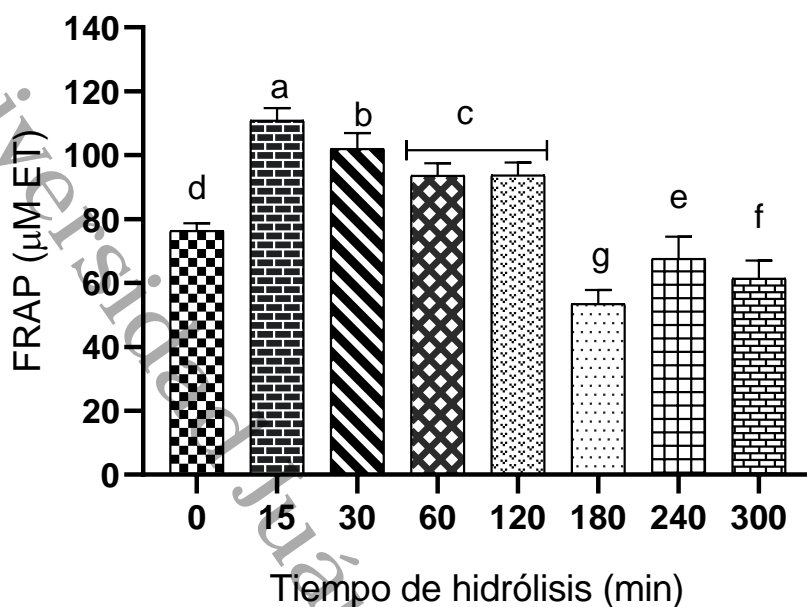


Figura 4. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre poder antioxidante reductor férrico (FRAP). Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrólisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

Estudios realizados por Olsen et al., 2019, los hidrolizados de proteínas de pescado han mostrado valores de FRAP que varían entre 100 μ M y 500 μ M Trolox equivalentes dependiendo del tipo de pescado y las condiciones de hidrólisis. Datos que son superiores en algunos casos a lo encontrado en esta investigación.

Por su parte Hernández-Ledesma et al., (2005) indican que péptidos derivados de proteínas lácteas, como la caseína hidrolizada, han reportado valores de FRAP en el rango de 150 μ M a 350 μ M Trolox equivalentes, lo cual son valores superiores a lo encontrado en esta investigación.

Mientras que reportes realizados por Megías et al., (2008) señalan que los hidrolizados de proteínas vegetales, como los obtenidos de soja o garbanzo, han mostrado valores que oscilan entre 80 μ M y 300 μ M Trolox equivalentes y en este caso valores muy parecidos a lo encontrado, cabe señalar que la fuente de proteína utilizada es vegetal como en este caso.

7.3.4 Método de inhibición de oxidación de lípido (LOI)

Con respecto al porcentaje de inhibición de peroxidación de lípidos que se observa en la figura 8, se presentó efectos significativos ($p \leq 0.05$) entre los tiempos del hidrolizado. Los porcentajes de inhibición entre los tiempos son ligeramente por arriba del 70 %, particularmente se constató que a 0 y 15, 60, 120 y 180 min. No obstante que, a los 30, 240 y 300 min tienen efectos significativos menores ($p \leq 0.05$) de 60 a 68%.

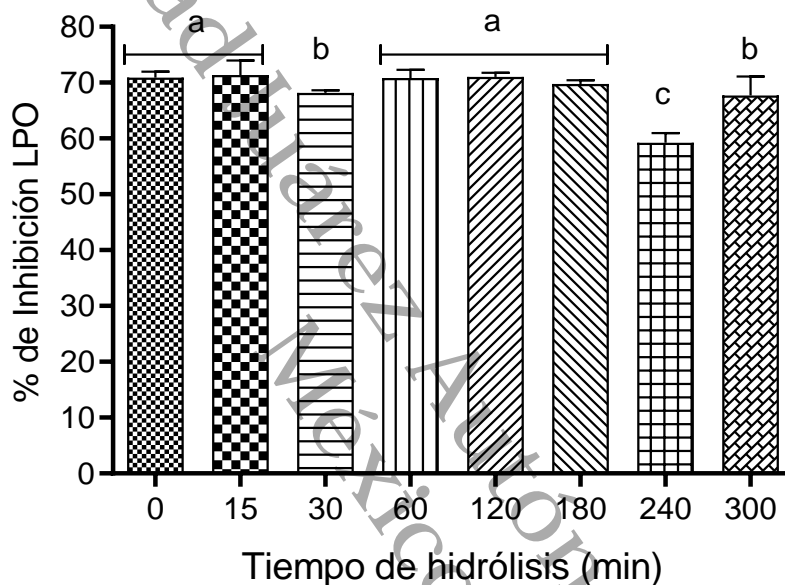


Figura 5. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrolisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo.

La actividad antioxidante se ha atribuido a ciertas secuencias de aminoácidos como tirosina, metionina, histidina, lisina y triptófano (Abeynayake et al., 2022). Se cree que la actividad antioxidante de los péptidos que contienen histidina está relacionada con la capacidad de este aminoácido a donar hidrógeno y con la capacidad quelante de iones metálicos del grupo imidazol o también por los aminoácidos azufrados presentes en las cadenas laterales (Guo et al., 2014).

7.4 Actividad de inhibición de la alfa-amilasa

El hidrolizado proteico de *A. mexicanum* con tripsina en todos los tiempos se observa en la figura 9. Los péptidos generados presentaron efectos significativos ($p \leq 0.05$) mayores del 80 % en cuanto a la actividad antidiabética. Donde destaca el hidrolizado obtenidos a 0, 60, 120 y 240 min, con valores de 88 a 91 % respectivamente. Cabe mencionar que la proteína nativa también presenta inhibición de la alfa amilasa.

Los péptidos muestran un efecto hipoglucémico o antidiabético debido a la inhibición de la dipeptidil peptidasa IV (DPP-IV), que es una serinproteasa (EC 3.4.14.5) que se expresa en la superficie de las células endoteliales y epiteliales y que modula la actividad de varias hormonas peptídicas, como las incretinas: el péptido similar al glucagón-1 (GLP-1) y el polipéptido insulínico dependiente de la glucosa (GIP), que inducen la síntesis de insulina (Baggio & Drucker, 2007).

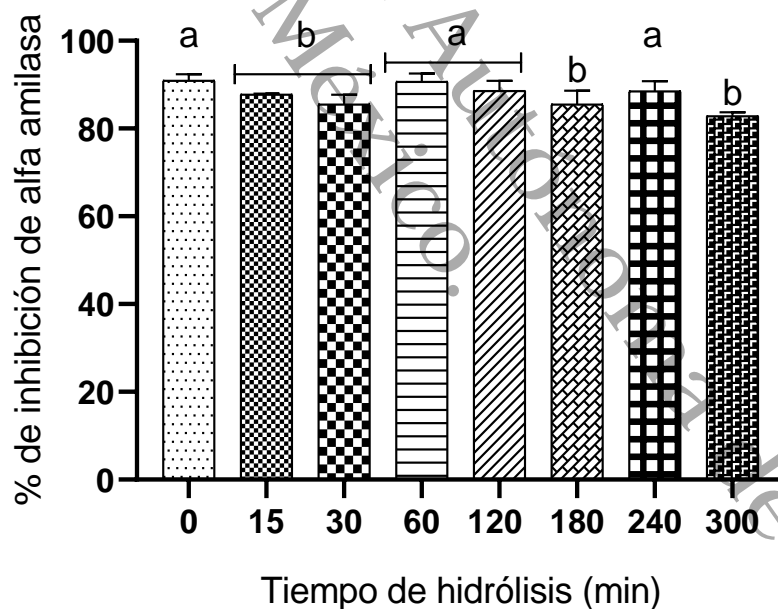


Figura 6. Efecto del tiempo de hidrolizado con tripsina sobre el porcentaje de inhibición de la alfa amilasa. Literales en minúsculas representan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tiempos de hidrolisis y los valores son la media \pm DS de cuatro repeticiones por tiempo

En estudios realizados por (Zhu et al., 2014b), de hidrólisis enzimática de proteínas de soya utilizando tripsina, se ha observado que el grado de inhibición de alfa-amilasa puede alcanzar hasta un 75% después de 120 min de hidrólisis, similar a lo observado en esta investigación.

Bougatef et al., 2010 reportan que, en la hidrólisis de proteínas de pescado (como la sardina) utilizando alcalasa y tripsina, se observó un aumento en la inhibición de alfa-amilasa hasta un 80% a los 120 min.

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a lo reportado por Megías et al., 2009, donde la hidrólisis de proteínas de legumbres (como garbanzo) ha mostrado que la inhibición de alfa-amilasa puede alcanzar un 70-80% en los primeros 90-120 min, con una tendencia a la estabilización o disminución posterior. La tripsina en estos casos también muestra un patrón similar de producción de péptidos bioactivos, seguidos por una fase de meseta como en esta investigación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

8. CONCLUSIONES

Para todo esto se concluye que durante los primeros 120 min es el tiempo de hidrólisis más favorable para obtener los mejores resultados en términos de actividad antioxidante (captura de ABTS y DPPH), inhibición de la peroxidación lipídica (LPO) e inhibición de la alfa-amilasa. Este tiempo representa un equilibrio en el que se logran altos porcentajes de actividad bioactiva y antioxidante.

Sin embargo, para obtener un equilibrio óptimo entre varias propiedades bioactivas, 120 min de hidrólisis se destacan como el tiempo ideal, ofreciendo altos porcentajes en las variables de respuestas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

9. REFERENCIAS

- Abeynayake, R., Zhang, S., Yang, W., & Chen, L. (2022). Development of antioxidant peptides from brewers' spent grain proteins. *LWT*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113162>
- Ahn, C. B., Kim, J. G., & Je, J. Y. (2014). Purification and antioxidant properties of octapeptide from salmon byproduct protein hydrolysate by gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 147, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.136>
- Al-Rehaily, A. J., Ahmad, M. S., Mustafa, J., Al-Oqail, M. M., Hassan, W. H., Khan, S. I., & Khan, I. a. (2013). Solanopubamine, a rare steroidal alkaloid from *Solanum schimperianum*: Synthesis of some new alkyl and acyl derivatives, their anticancer and antimicrobial evaluation. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(1), 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.003>
- Arroyo-Rodríguez, V., Aguirre, A., Benítez-Malvido, J., & Mandujano, S. (2007). Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation*, 138(1–2), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.016>
- Augustin, O. M., Martínez, E., & Muñoz, D. V. (2006). *Proteínas y péptidos en nutrición enteral*. 21, 1–14.
- Benzie, I. F. F., & Choi, S. W. (2014). Antioxidants in food: Content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 71, pp. 1–53). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800270-4.00001-8>.
- Baggio, L. L., & Drucker, D. J. (2007). Biology of incretins: GLP-1 and GIP. *Gastroenterology*, 132(6), 2131-2157. DOI: 10.1053/j.gastro.2007.03.054
- Bontempo, P., Carafa, V., Grassi, R., Basile, a, Tenore, G. C., Formisano, C., Rigano, D., & Altucci, L. (2013). Antioxidant, antimicrobial and anti-proliferative activities of *Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte. In *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* (Vol. 55, pp. 304–312). <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.048>; [10.1016/j.fct.2012.12.048](https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.048).
- Bougatef, A., Nedjar-Arroume, N., Ravallec, R., Leroy, Y., Guillochon, D., Barkia, A., & Nasri, M. (2010). Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activities of protein hydrolysates from sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products obtained

- by treatment with microbial and visceral fish serine proteases. *Food Chemistry*, 121(2), 516-522. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.12.066
- Centurión Hidalgo, D., Alor Chávez, M., Espinosa Moreno, J., Gómez García, E., Solano, M., & Poot Matu, J. (2009). CONTENIDO NUTRICIONAL DE INFLORESCENCIAS DE PALMAS EN LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO Nutritional content of palm inflorescences in the Tabasco mountains. *Universidad y Ciencia Trópico Humedo*, 25(3), 193–199.
- Chalamaiah, M., Yu, W., & Wu, J. (2018). Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 245(September 2017), 205–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.087>
- Cheng, Y., Xiong, Y. L., & Chen, J. (2010). Antioxidant and emulsifying properties of potato protein hydrolysate in soybean oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 120(1), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.077>
- Choi, S.-H., Kim, H.-R., Kim, H.-J., Lee, I.-S., Kozukue, N., Levin, C. E., & Friedman, M. (2011). Free amino acid and phenolic contents and antioxidative and cancer cell-inhibiting activities of extracts of 11 greenhouse-grown tomato varieties and 13 tomato-based foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 12801–12814. <https://doi.org/10.1021/jf202791j>
- do Evangelho, J. A., Berrios, J. J., Pinto, V. Z., Antunes, M. D., Vanier, N. L., & Zavareze, E. R. (2016). Antioxidant activity of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates. *Food Science and Technology*, 36, 23–27. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0047>
- Dong, N., Zhu, X., Chou, S., Shan, A., Li, W., & Jiang, J. (2014). Antimicrobial potency and selectivity of simplified symmetric-end peptides. *Biomaterials*, 35(27), 8028–8039. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.06.005>
- Duan, X., Li, M., Ma, H., Xu, X., Jin, Z., & Liu, X. (2016). Physicochemical properties and antioxidant potential of phosvitin–resveratrol complexes in emulsion system. *Food Chemistry*, 206, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.055>
- García, M. C., Endermann, J., González-García, E., & Marina, M. L. (2015). HPLC-Q-TOF-MS Identification of Antioxidant and Antihypertensive Peptides Recovered from Cherry (*Prunus cerasus* L.) Subproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(5), 1514–1520. <https://doi.org/10.1021/jf505037p>
- García, M. C., Puchalska, P., Esteve, C., & Marina, M. L. (2013). Vegetable foods: A cheap source of proteins and peptides with antihypertensive, antioxidant, and

- other less occurrence bioactivities. In *Talanta*.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.12.041>
- Guadix, A.; Guadix, E. M; Páez-Dueñas, M. P.; González Tello, P. y Camacho, F. (2000). Procesos tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas. *Ars Pharmaceutica*, 41(1), 79–89.
- Guillermo Cristian Martínez-Ávila, Aguilera-Carbó, A. F., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2012). Fungal enhancement of the antioxidant properties of grape waste. *Annals of Microbiology*, 62(3), 923–930.
<https://doi.org/10.1007/s13213-011-0329-z>
- Guo, C., Hu, Y., Li, J., Liu, Y., Li, S., Yan, K., Wang, X., Liu, J., & Wang, H. (2014). Identification of multiple peptides with antioxidant and antimicrobial activities from skin and its secretions of *Hylarana taiopehensis*, *Amolops lifanensis*, and *Amolops granulosis*. *Biochimie*. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.07.013>
- Guzmán Ceferino, J., CobosPuc, L. E., Sierra Rivera, C. A., Contreras Esquivel, J. C., Durán Mendoza, T., & Silva Belmares, S. Y. (2019). *Partial characterization of the potentially bioactive protein fraction*. 137–151.
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.10>
- Guzmán-Ceferino, J., Cobos-Puc, L. E., Sierra-Rivera, C. A., Contreras-Esquivel, J. C., Durán-Mendoza, T., & Silva Belmares., S. Y. (2019). Partial characterization of the potentially bioactive protein fraction of *Solanum marginatum* L. f. *Polibotánica*, 0(46), 137–151. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.10>.
- Hernández-Ledesma, B., Amigo, L., Ramos, M., & Recio, I. (2005). Angiotensin converting enzyme inhibitory activity in commercial fermented products. Identification of active peptides from casein hydrolysates. *Journal of Dairy Research*, 72(4), 444-450. DOI: 10.1017/S0022029905001072
- Hernández-Ledesma, B., Hsieh, C., & Lumen, B. O. De. (2009). Biochemical and Biophysical Research Communications Antioxidant and anti-inflammatory properties of cancer preventive peptide lunasin in RAW 264. 7 macrophages. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 390(3), 803–808.
<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.10.053>
- Intiquilla, A., Jiménez-Aliaga, K., Guzmán, F., Alvarez, C. A., Zavaleta, A. I., Izaguirre, V., & Hernández-Ledesma, B. (2019). Novel antioxidant peptides obtained by alcalase hydrolysis of *Erythrina edulis* (pajuro) protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2420–2427.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.9449>
- Jami, S. K., Swathi Anuradha, T., Guruprasad, L., & Kirti, P. B. (2007). Molecular, biochemical and structural characterization of osmotin-like protein from black

- nightshade (*Solanum nigrum*). *Journal of Plant Physiology*, 164(3), 238–252. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.01.006>
- Konozy, E. H. E., Rogniaux, H., Causse, M., & Faurobert, M. (2013). Proteomic analysis of tomato (*Solanum lycopersicum*) secretome. *Journal of Plant Research*, 126(2), 251–266. <https://doi.org/10.1007/s10265-012-0516-4>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006a). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945–960. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006b). Bioactive peptides: Production and functionality. In *International Dairy Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012>
- Lalmanach, G. (2008). Proteolytic enzymes: From structures to transport pathways. *Biochimie*, 90(2), 191–193. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2007.11.006>
- Liu, R., Zheng, W., Li, J., Wang, L., Wu, H., & Wang, X. (2015). Rapid identification of bioactive peptides with antioxidant activity from the enzymatic hydrolysate of *Macra veneriformis* by UHPLC – Q-TOF mass spectrometry. *FOOD CHEMISTRY*, 167, 484–489. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.113>
- Lizeth Mendoza-Jiménez, Y., Carlos Eusebio-Moreno, J., Álvarez-García, R., Abreu-Corona, A., Vargas-Hernández, G., Téllez-Jurado, A., & Tovar-Jiménez, X. (n.d.). ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS HIDROLIZADOS PROTEICOS DEL FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris*) cv NEGRO PRIMAVERA-28 Y FLOR DE DURAZNO ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PROTEIN HYDROLYSATES FROM COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) VARIETIES “NEGRO PRIMAVERA-28” AND “FLOR DE DURAZNO.” <http://biotecnia.unison.mx>
- Løkra, S., Helland, M. H., Claussen, I. C., Strætkvern, K. O., & Egelanddal, B. (2008). Chemical characterization and functional properties of a potato protein concentrate prepared by large-scale expanded bed adsorption chromatography. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1089–1099. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.006>
- Lopez Martinez, Leticia; Aguilar Cisneros, Luisa; Dublan Garcia, O. (2014). Revista Electrónica Nova Scientia Actividad antioxidante e inhibidora de α - glucosidasa y α -amilasa de tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L .) Antioxidant and inhibitory activity against α - glu cosidase and α -amylase from three varieties of oni. *Resvista Electronica Nova Scientia*, 6(2), 234–247.
- López-Barrios, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bioactive Peptides and Hydrolysates from Pulses and Their Potential Use as Functional

- Ingredients. *Journal of Food Science*, 79(3). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12365>
- López-Pedrouso, M., Lorenzo, J. M., Borrajo, P., & Franco, D. (2022). In search of antioxidant peptides from porcine liver hydrolysates using analytical and peptidomic approach. *Antioxidants*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/antiox11010027>
- López-Pérez, D., Castillo-Acosta, O., Zavala-Cruz, J., & Hernández-Trejo, H. (2014). Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la sierra norte de Chiapas, México. *Polibotánica*, 37(1405–2768), 1–23.
- Manga, E., Brostaux, Y., Ngondi, J. L., & Sindic, M. (2020). Optimisation of phenolic compounds and antioxidant activity extraction conditions of a roasted mix of *Tetrapleura tetraptera* (Schumacher & Thonn.) and *Aframomum citratum* (C. Pereira) fruits using response surface methodology (RSM). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8), 2054–2064. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.05.003>
- Martínez-Ramos, M. (1997). *Astrocaryum mexicanum*. *Historia Natural de Los Tuxtlas*, 92–97.
- Megías, C., Pedroche, J., Yust, M. M., Alaiz, M., Girón-Calle, J., Millán, F., & Vioque, J. (2008). Antioxidant and chelating activity of chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 106(3), 852–858. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.06.052
- McClellan, S., Beggs, L. B., & Welch, R. W. (2014). Antimicrobial activity of antihypertensive food-derived peptides and selected alanine analogues. *Food Chemistry*, 146, 443–447. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.094>
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Emam-Djomeh, Z., Jahanbani, R., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2020). Physicochemical and bio-functional properties of walnut proteins as affected by trypsin-mediated hydrolysis. *Food Bioscience*, 36(April), 100611. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100611>
- Muñoz, F., Palomares-Jerez, M. F., Daleo, G., Villalaín, J., & Guevara, M. G. (2014). Biochimica et Biophysica Acta Possible mechanism of structural transformations induced by StAsp-PSI in lipid membranes. *BBA - Biomembranes*, 1838(1), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2013.08.004>
- Ngoh, Y. Y., & Gan, C. Y. (2018). Identification of Pinto bean peptides with inhibitory effects on α -amylase and angiotensin converting enzyme (ACE) activities using an integrated bioinformatics-assisted approach. *Food Chemistry*, 267, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.166>

- Olsen, R. L., Toppe, J., & Karunasagar, I. (2019). Utilization of fish by-products in the fish processing industry. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, 1203. FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA2137EN/>
- Paredes, M., Calero-Cáceres, W., Tamayo, J., Poveda, T., Paredes, M., Vásquez, G., & Calero-Cáceres, W. (2018). *Antimicrobial, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Proteins of Phaseolus lunatus (Fabaceae) Baby Lima Beans Produced in Ecuador*. <https://doi.org/10.1101/401323>
- Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2015). Macromolecular antioxidants or non-extractable polyphenols in fruit and vegetables: Intake in four European countries. *Food Research International*, 74, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.007>
- Puchalska, P., Marina, M. L., & García, M. C. (2014). Isolation and identification of antioxidant peptides from commercial soybean-based infant formulas. *Food Chemistry*, 148, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.030>
- Quintero-Soto, M. F., Chávez-Ontiveros, J., Garzón-Tiznado, J. A., Salazar-Salas, N. Y., Pineda-Hidalgo, K. V., Delgado-Vargas, F., & López-Valenzuela, J. A. (2021). Characterization of peptides with antioxidant activity and antidiabetic potential obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolyzates. *Journal of Food Science*, 86(7), 2962–2977. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15778>
- Rahimi, R., Ahmadi Gavlighi, H., Amini Sarteshnizi, R., Barzegar, M., & Udenigwe, C. C. (2022). In vitro antioxidant activity and antidiabetic effect of fractionated potato protein hydrolysate via ultrafiltration and adsorption chromatography. *LWT*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112765>
- Real Hernandez, L. M., & Gonzalez de Mejia, E. (2019). Enzymatic Production, Bioactivity, and Bitterness of Chickpea (*Cicer arietinum*) Peptides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1913–1946. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12504>
- Ruiz-Guerra, B., López-Acosta, J. C., Zaldivar-Riverón, A., & Velázquez-Rosas, N. (2015). Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) abundance and richness in four types of land use and preserved rain forest in Southern Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 164–171. <https://doi.org/10.7550/rmb.43865>
- Sasidharan, A., & Venugopal, V. (2020). Proteins and Co-products from Seafood Processing Discards: Their Recovery, Functional Properties and Applications. In *Waste and Biomass Valorization* (Vol. 11, Issue 11, pp. 5647–5663). Springer Science+Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00812-9>

- Scopes, R. K. (2002). Enzyme Activity and Assays. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1–6. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0000712>
- Shajib, M. S., Rashid, R. B., Ming, L. C., Islam, S., Sarker, M. M. R., Nahar, L., Sarker, S. D., Datta, B. K., & Rashid, M. A. (2018). Polymethoxyflavones from *Nicotiana plumbaginifolia* (Solanaceae) exert antinociceptive and neuropharmacological effects in mice. *Frontiers in Pharmacology*, 9(FEB), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00085>
- Siritapetawee, J., Sojikul, P., & Klaynongsruang, S. (2015). Biochemical characterization of a new glycosylated protease from *Euphorbia cf. lactea* latex. *Plant Physiology and Biochemistry*, 92, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.04.012>
- Su, S., Wan, Y., Guo, S., Zhang, C., Zhang, T., & Liang, M. (2018). Effect of peptide–phenolic interaction on the antioxidant capacity of walnut protein hydrolysates. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 508–515. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13610>
- Surh, Y.-J. (2002). Anti-tumor promoting potential of selected spice ingredients with antioxidative and anti-inflammatory activities: a short review. *Food and Chemical Toxicology*, 40(8), 1091–1097. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00037-6)
- Vioque, J., Pedroche, J., Lqari, H., Yust, M. M., & Girón-calle, J. (2006). Peptídeos Bioativos em Proteínas Vegetais de Reserva Bioactive Peptides in Storage Plant Proteins. *Brazilian Journal of Food Technology*, 99–102.
- Wannasiri, S., Chansakaow, S., & Sireeratawong, S. (2017). Effects of *Solanum torvum* fruit water extract on hyperlipidemia and sex hormones in high-fat fed male rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(5), 401–405. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.01.027>
- Yahia, E. M., Gutierrez-orozco, F., & Leon, C. A. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *FRIN*, 44(7), 2210–2216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.025>
- Zarei, M., Ebrahimpour, A., Abdul-hamid, A., Anwar, F., Abu, F., Philip, R., & Saari, N. (2014). Identification and characterization of papain-generated antioxidant peptides from palm kernel cake proteins. *FRIN*, 62, 726–734. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.041>
- Zhao, Y., Chen, F., Gao, C., Feng, X., & Tang, X. (2022). Structure, physical and antioxidant properties of quinoa protein /hsian-tsao gum composite biodegradable active films. *LWT*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112985>
- Zheng, L., Zhao, M., Xiao, C., Zhao, Q., & Su, G. (2016). Practical problems when using ABTS assay to assess the radical-scavenging activity of peptides:

Importance of controlling reaction pH and time. *Food Chemistry*, 192, 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.015>

Zhu, C. Z., Zhang, W. G., Kang, Z. L., Zhou, G. H., & Xu, X. L. (2014a). Stability of an antioxidant peptide extracted from Jinhua ham. *Meat Science*, 96(1), 783–789. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.09.004>

Zhu, C. Z., Zhang, W. G., Kang, Z. L., Zhou, G. H., & Xu, X. L. (2014b). Stability of an antioxidant peptide extracted from Jinhua ham. *Meat Science*, 96(1), 783–789. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.09.004>

México.

Autónoma de Tabasco.

10. ANEXOS

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de la tesis:	“Evaluación bioactiva del hidrolizado proteico de la inflorescencia de (<i>Astrocaryum mexicanum</i>)”
Autor(a) de la Tesis:	Adolfo Alejandro Cruz Tobías
ORCID:	https://orcid.org/0009-0001-3770-7734
Resumen de la Tesis:	<p>La investigación se enfocó en evaluar el efecto bioactivo del hidrolizado proteico de <i>Astrocaryum mexicanum</i> (chapaya), obteniendo como muestra la inflorescencia de la planta cultivada en Palenque, Chiapas. Las muestras seleccionadas estaban libres de hongos, sin daño físico y con un tamaño promedio de 15-20 cm de longitud. Estas fueron trasladadas al laboratorio donde se deshidrataron mediante liofilización a -45 °C durante 48 horas, tras haber sido desgrasadas usando hexano en una relación 1:6 a 4 °C durante 24 horas. Luego, las proteínas fueron aisladas y para obtener el hidrolizado proteico se utilizó la acción enzima tripsina, optimizando parámetros como el pH, la temperatura y el tiempo de reacción.</p> <p>La metodología involucró múltiples pruebas para evaluar la capacidad antioxidante e inhibición de la α-amilasa del hidrolizado. La capacidad antioxidante fue medida a través de diferentes ensayos, incluyendo la inhibición de la peroxidación lipídica (LPO), y la captura de radicales libres ABTS y DPPH. Se determinaron los niveles de inhibición de la actividad de la α-amilasa, un indicador de la actividad antidiabética, a través de la incubación del hidrolizado con almidón soluble y α-amilasa pancreática. Se realizaron análisis estadísticos utilizando ANOVA y la prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre los diferentes tiempos de hidrólisis.</p> <p>Los resultados cuanto, al grado de hidrólisis, se observó un incremento en la formación de péptidos con tiempos de hidrólisis prolongados, aunque con una tendencia a la estabilización o disminución de la actividad bioactiva más allá de los 120 min. Esto sugiere que un tiempo de 2 h de hidrólisis es óptimo para maximizar las propiedades antioxidantes y antidiabéticas del hidrolizado proteico de <i>A. mexicanum</i> y con relación a la actividad antioxidante y antidiabética del hidrolizado proteico alcanzó su máximo en los primeros 120 min de hidrólisis, disminuyendo posteriormente. Se observó un alto porcentaje de inhibición de la α-amilasa, alcanzando hasta un 80% tras 120 min de reacción enzimática.</p> <p>En conclusión, la investigación demuestra que el hidrolizado proteico de <i>Astrocaryum mexicanum</i>, obtenido mediante tripsina, presenta una</p>

	<p>significativa actividad antioxidante y antidiabética, particularmente cuando se hidroliza durante 120 minutos. Estos resultados indican un potencial uso de este hidrolizado en la industria alimentaria y farmacéutica como un agente funcional con propiedades beneficiosas para la salud humana, especialmente en la prevención y manejo de enfermedades degenerativas como la diabetes.</p>
Palabras claves de la Tesis:	<p>Proteína, hidrolizado, enzima, compuesto bioactivo.</p>
Referencias citadas:	<ul style="list-style-type: none"> • Abeynayake, R., Zhang, S., Yang, W., & Chen, L. (2022). Development of antioxidant peptides from brewers' spent grain proteins. <i>LWT</i>, 158. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113162 • Centurión Hidalgo, D., Alor Chávez, M., Espinosa Moreno, J., Gómez García, E., Solano, M., & Poot Matu, J. (2009). CONTENIDO NUTRICIONAL DE INFLORESCENCIAS DE PALMAS EN LA SIERRA DEL ESTADO DE TABASCO Nutritional content of palm inflorescences in the Tabasco mountains. <i>Universidad y Ciencia Trópico Humedo</i>, 25(3), 193–199. • Guzmán-Ceferino, J., Cobos-Puc, L. E., Sierra-Rivera, C. A., Contreras-Esquivel, J. C., Durán-Mendoza, T., & Silva Belmares., S. Y. (2019). Partial characterization of the potentially bioactive protein fraction of <i>Solanum marginatum</i> L. f. <i>Polibotánica</i>, 0(46), 137–151. https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.10.

Evaluación bioactiva del hidrolizado proteico de la inflorescencia de *Astrocaryum mexicanum*

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

- | | | |
|---|--|-------------------|
| 1 | gacetajuchiman.ujat.mx
Internet | 227 palabras — 3% |
| 2 | Raúl Reyes-Bautista, Martín Barajas-Segoviano, José de Jesús Flores-Sierra, Gustavo Hernández-Mendoza et al. "Biopéptidos derivados de los pseudocereales: Amaranto, Quinoa, Chia y Trigo sarraceno", TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 2023
Crossref | 78 palabras — 1% |
| 3 | rinacional.tecnm.mx
Internet | 67 palabras — 1% |

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 50 PALABRAS

U.J.A.T.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS
JEFATURA DE ESTUDIOS TERMINALES