

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA
E INVESTIGACIÓN EN SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE

**OLIGOSACARINAS EXTRAÍDAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA Y SU
EFECTO EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HORTÍCOLAS**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

Presenta

VICTOR MANUEL MARIN CAMPOS

Bajo la supervisión de:

DRA. MARÍA EDNA ÁLVAREZ SÁNCHEZ



APROBADA



Chapingo, Edo. de México, febrero 2022

OLIGOSACARINAS EXTRAÍDAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA Y SU EFECTO
EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HORTÍCOLAS

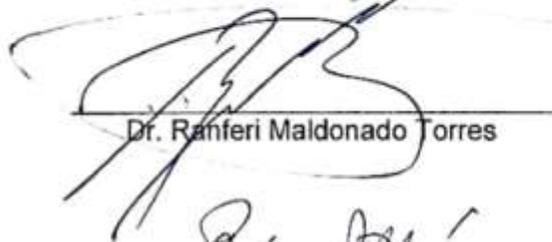
Tesis realizada por **Victor Manuel Marin Campos** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

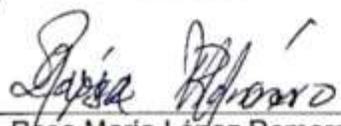
DIRECTORA:


Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR:


Dr. Ranferi Maldonado Torres

ASESORA EXTERNA:


Dra. Rosa María López Romero
Colegio de Postgraduados

ASESOR:


Dr. Filemon Ramírez Pérez

ÍNDICE

I. RESUMEN GENERAL	7
II. INTRODUCCION	1
III. OBJETIVOS	4
IV. HIPÓTESIS	5
V. MARCO TEORICO	6
5.1. Impacto ambiental por las glóquidas de tuna	6
5.2. Composición y estructura general de las paredes celulares	7
5.2.1. Composición de las paredes celulares	7
5.2.2. Estructura de las paredes celulares	8
5.2.3. Componentes polisacáridos	9
5.2.3.1. Celulosa	10
5.2.3.2. Hemicelulosa	11
5.2.3.3. Pectinas	13
5.3. Composición y estructura de las glóquidas de tuna	15
5.3.1. Composición de las paredes celulares de las glóquidas	16
5.3.2. Estructura de las glóquidas	16
5.4. Composición, estructura y clasificación de las oligosacarinas	18
5.4.1. Estructura y composición de las oligosacarinas	18
5.4.2. Clasificación de las oligosacarinas	19
5.4.2.1. Oligogalacturónidos	19
5.4.2.2. xiloglucanos	20
5.4.2.3. Oligoglucanos	20
5.4.2.4. Oligoquitina	21
5.4.2.5. Quitooligosacarinas	21

VI. PROPIEDADES FITOQUÍMICAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA (<i>Opuntia albicarpa</i> SCHEINVAR) Y SU POTENCIAL PARA USO AGRONÓMICO	23
RESUMEN	23
SUMMARY	23
INTRODUCCIÓN.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Muestreo de glóquidas de tuna.....	25
Pretratamiento de muestras.....	25
Determinación de betalaínas totales.....	25
Determinación de flavonoides totales	25
Determinación de fenoles totales	26
Determinación de pectinas totales	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
Contenido de betalaínas totales.....	26
Contenido de flavonoides totales	27
Contenido de fenoles totales	28

Contenido de pectinas totales	28
CONCLUSIONES	29
AGRADECIMIENTOS.....	29
BIBLIOGRAFÍA	29
VII. OLIGOSACARINAS ENDÓGENAS COMO BIOESTIMULADORES DE MORFOGÉNESIS, RENDIMIENTO Y CALIDAD EN CALABAZA (<i>Cucurbita pepo</i> L.), CEBOLLA (<i>Allium cepa</i> L.) Y JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	32
RESUMEN	32
SUMMARY.....	32
INTRODUCCIÓN.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
Diseño de tratamientos.....	34
Aislamiento de los extractos bioestimulantes	34
Material vegetal y su manejo agronómico	34
Parámetros morfológicos.....	34
Biomasa vegetal	34
Área foliar y rendimiento en calabaza	35

Rendimiento y calidad en cebolla	35
Rendimiento y calidad en jitomate	35
Análisis estadístico	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Parámetros en calabaza Grey Zucchini	35
Parámetros en cebolla Crystal White.....	37
Parámetros en jitomate Río Grande.....	39
CONCLUSIONES	40
AGRADECIMIENTOS.....	41
BIBLIOGRAFÍA	41
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	43
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	44

OLIGOSACARINAS EXTRAÍDAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HORTÍCOLAS

OLIGOSACCHARINS EXTRACTED FROM PRICKLY PEAR GLOCHIDS AND THEIR EFFECT ON THE DEVELOPMENT OF HORTICULTURAL CROPS

I. RESUMEN GENERAL

Las glóquidas de la tuna son un subproducto del proceso postcosecha del desespinado y son consideradas como un desecho lignocelulósico de baja biodegradabilidad, debido a su composición de celulosa (41 %), hemicelulosa (41 %), lignina (5 %) y su alto índice de cristalinidad (48-76 %) en las columnas de celulosa. Este residuo de difícil manejo genera impacto ambiental negativo tras cada ciclo de producción pues se desecha en bolsas plásticas, desperdiándose propiedades que pudieran aprovecharse. La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de oligosacarinas extraídas de glóquidas de tuna mediante hidrólisis química, en el desarrollo de algunos cultivos para generar valor agregado a este subproducto de desecho. Los análisis fitoquímicos por espectrofotometría indicaron que las glóquidas tienen un contenido promedio de betalainas, flavonoides, fenoles y pectinas totales de 18.4 ± 3.3 , 107.1 ± 8.2 , 419.1 ± 47.6 y 128.7 ± 26.7 mg·100g⁻¹, respectivamente. Estos componentes de las glóquidas le confieren gran potencial de uso en la industria de pigmentos naturales, como sustancias antioxidantes en fármacos, cosméticos y productos agroalimentarios; así como de uso agronómico como regulador del crecimiento y maduración de frutos. Dado su contenido de ácido galacturónico, dosis del extracto de glóquidas se evaluaron como bioestimulante foliar en el desarrollo, rendimiento y calidad de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum*). Los resultados del experimento de invernadero mostraron efectos significativos positivos del ácido galacturónico en el rendimiento de flores de calabaza, área foliar, biomasa radical y crecimiento en altura de la variedad Grey Zucchini; en cebolla longitud de tallo, número de brotes, biomasa radical, follaje, diámetro del tallo y biomasa de bulbos; en jitomate en diámetro basal y apical. La magnitud del efecto dependió de la dosis, parámetro evaluado y la especie de cultivo.

Palabras clave: Pectinas totales, oligosacarinas, flavonoides totales, fenoles totales y betalainas totales.

I. GENERAL ABSTRACT

Prickly pear glochids are a by-product of the post-harvest process of remove glochids and is considered as lignocellulosic waste of low biodegradability because your composition of cellulose (41%), hemicellulose (41%), lignin (5%) and your high crystallinity index (48-76%) in the cellulose columns. This hard-to-handle waste generates a negative environmental impact after each production cycle because it is discarded in plastic bags, wasting properties that could be used. The purpose of this research was to evaluate the effect of oligosaccharins present in extracts of prickly pear glochids obtained by chemical hydrolysis in the development of some crops to generate added value to this by-product waste and to reduce environmental impact. Phytochemical analyses by spectrophotometry indicated that the glochids have an average content of betalains, flavonoids, phenols and total pectins of 18.4 ± 3.3 , 107.1 ± 8.2 , 419.1 ± 47.6 and 128.7 ± 26.7 mg·100g⁻¹, respectively. These contents confer to these structures great potential for use in the natural pigment industry for their antioxidant substances in pharmaceuticals, cosmetics, and agri-food products, as well as for agronomic use as a regulator of crop growth and fruit ripening. Given its galacturonic acid content, doses of glochid extract were evaluated as a foliar biostimulant in the development, yield and quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.), onion (*Allium cepa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum*). The results of the greenhouse experiment showed significant positive effects of galacturonic acid on pumpkin flower yield, leaf area, radical biomass, and height growth of the Grey Zucchini variety; onion stem length, number of shoots, radical biomass, foliage, stem diameter and bulb biomass; in tomato in basal and apical diameter. The magnitude of the effect depended on the dose, parameter evaluated and the specie crop.

Index words: Total pectins, oligosaccharins, total flavonoids, total phenols and total betalains.

II. INTRODUCCION

El manejo postcosecha de la tuna implica el desprendimiento de las glóquidas, que resulta en un residuo lignocelulósico con una alta resistencia a la degradación biológica y a la quema. Generalmente, su manejo consiste en colectarlas en bolsas de plástico y depositarlas en barrancas, afectando directamente al medio ambiente (Ulloa et al., 2020). Dado que son residuos sólidos con mínima degradación, el impacto negativo es acumulativo tras cada ciclo de cosecha.

De acuerdo con Gindl-Altmatter & Jozef (2012) las células de la espina del nopal presentan en su pared celular una composición de celulosa y arabinosa prácticamente en las mismas proporciones. Ulloa et al. (2020) encontraron que las glóquidas de tuna se componen de celulosa, hemicelulosa y lignina en concentraciones de 41 %, 41 % y 5 %, respectivamente; pero, en un estado cristalino, lo que les confiere alta resistencia a la descomposición.

Las glóquidas son células especializadas que poseen una pared celular primaria y secundaria, las cuales están compuestas de polisacáridos originadores de oligosacarinas. Las oligosacarinas se definen de acuerdo a Falcon et al. (2015) como los componentes polisacáridos y glicoproteicos de las paredes celulares y que a bajas concentraciones ejercen un efecto directo en la planta, ya sea la estimulación de defensas en respuesta a una infección o como una alteración en el crecimiento y desarrollo de ésta.

Las oligosacarinas se dividen en dos grupos: endógenas y exógenas. Entre las endógenas las más conocidas son los Oligogalacturónidos (OGP) y los Xiloglucanos (OGX). Los OGP se localizan en la fracción péctica que constituye la pared celular de las células y que son liberados por acción metabólica de la planta o por un ataque de organismos fitopatógenos. Por su parte, los polímeros de Xiloglucanos son los principales polisacáridos hemicelulósicos que componen la pared celular primaria de las plantas, el rompimiento de las cadenas de estos polímeros por hidrólisis química o enzimática libera al medio de reacción oligosacáridos de xiloglucanos con actividad biológica en plantas, tales como, el

crecimiento y extensión celular (Falcon et al., 2015). Las exógenas impactan principalmente en la inhibición de ataques por hongos fitopatógenos.

De acuerdo con Acosta et al. (2007) los oligopectatos (oligosacarinas derivadas de pectinas) tienen la capacidad de inducir y desarrollar el enraizamiento, estimular el crecimiento de callos e incrementar de forma notable el desarrollo y vigor de las plántulas. En el caso de los xiloglucanos, se ha comprobado que poseen actividad biológica entre las que se encuentran la auxínica y antiauxínica. Esto fue confirmado por Falcon et al. (2015) quienes encontraron que uno de los compuestos excretados de los nódulos bacterianos por las bacterias de *rizhobium* son oligosacarinas, y su efecto positivo en la formación de raíces en leguminosas contribuyó a clasificarlas como una nueva generación de fitohormonas. Estos investigadores también mencionan que las oligosacarinas pueden ser extraídas de diversas fuentes, siendo así la pectina cítrica la fuente principal para obtener oligogalacturónidos, en tanto que de las semillas de tamarindo los xiloglucanos. Otro material es el exoesqueleto de los crustáceos para la obtención de quitosano, éste es rico en quitina y posee una estructura cristalina resistente a los solventes convencionales (de la Paz et al., 2013) muy similar a la propiedad de resistencia de las glóquidas.

Los métodos habitualmente practicados para la obtención de OGP y OGX pueden clasificarse de la siguiente manera: hidrólisis enzimática, hidrólisis ácida e hidrólisis hidrotérmica (Bautista, 2018). Ulloa et al. (2021) encontraron que la hidrólisis química libera azúcares reductores. Sin embargo, no existe información acerca del uso potencial de estos extractos como bioestimulador vegetal.

Los desafíos en la actualidad están dirigidos a proponer novedosas alternativas del manejo de los desechos agrícolas que fomenten la sostenibilidad de los sistemas de producción, al mismo tiempo que, la conservación de los recursos naturales. Las alternativas de aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos deben estar dirigidas a crear valor agregado al subproducto, e incrementar la rentabilidad del sistema tunero mediante la reincorporación de las pérdidas de energía.

Por lo anterior, establecer un manejo biotecnológico de las glóquidas de tuna con propósito de regular el crecimiento vegetal, puede producir beneficios económicos a los productores en el corto plazo y reducir de forma inmediata el impacto ambiental negativo. En la presente investigación se evaluó el efecto de oligosacarinas presentes en extractos de glóquidas de tuna obtenidos mediante hidrolisis química en el desarrollo de algunos cultivos con la finalidad de generar valor agregado a este subproducto del sistema de producción tunero y reducir el impacto ambiental producido por su desecho.

III. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de oligosacarinas presentes en extractos de glóquidas de tuna obtenidas mediante hidrolisis química en el desarrollo de algunos cultivos con la finalidad de generar valor agregado al desecho de glóquidas y reducir impacto ambiental.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades fitoquímicas de los pigmentos y polisacáridos pécticos presentes en los extractos de glóquidas de tuna mediante espectrofotometría para definir su potencial uso agronómico o nutracéutico.
- Evaluar la efectividad de diferentes niveles de concentración de oligosacarinas como regulador del crecimiento en cultivos hortícolas mediante aplicaciones foliares.

IV. HIPÓTESIS

La aplicación de oligosacarinas aisladas del extracto de glóquidas de tuna favorece al crecimiento de la raíz, la ganancia de biomasa y en el rendimiento de cultivos agrícolas, sin embargo, el efecto morfogénético o en el crecimiento de la planta dependerá del grupo y concentración de oligosacarinas dominantes.

V. MARCO TEORICO

5.1. Impacto ambiental por las glóquidas de tuna

El desespinado es la operación postcosecha para eliminar las glóquidas de los frutos, ya sea de forma manual o mecánica, antes de la comercialización del fruto (Inglese, 2020). Las glóquidas desprendidas, comúnmente conocidas como “ahuates” son colectadas en bolsas de polietileno que posteriormente se desechan a la intemperie o en barrancas. La falta de utilidad de este subproducto agrícola de difícil manejo, se convierte en un problema ambiental y en una pérdida del sistema de producción tunero. Ulloa et al. (2021) reconocieron que las bolsas plásticas que se usan para desechar las espinas de los frutos son residuos que también afectan directamente al ambiente, ya que, además de contribuir a un problema estético, tanto el plástico como las glóquidas no son biodegradables a corto plazo, acumulándose constantemente en cada ciclo de producción. Domínguez-García et al. (2017) y Ulloa et al. (2021) estimaron que el índice promedio de producción de glóquidas en *Opuntia albicarpa Scheinvar* es de 0.56 kg por tonelada de fruta fresca, y que de acuerdo a la producción del año 2019 fue de 170,696.17 toneladas de tuna a nivel estatal en el Estado de México abarcando un total de 15,065.55 ha del cultivo (SIAP, 2020), se generaron 95.6 toneladas de glóquidas en el ciclo de producción. Con base a esta información, se acumuló un volumen de 597.50 m³ de desechos tan solo en dicho estado.

Es notorio el impacto generado por las glóquidas a nivel nacional, ya que de acuerdo al SIAP (2020) se produjo para el ciclo 2019 un total de 457,389.72 toneladas de fruta fresca en todo el territorio mexicano para su comercialización, englobando las variedades criollas, blanca burrón, alfajayucan, roja, blanca cristalina y amarilla, mismas que generaron un total de 256.13 toneladas de glóquidas, equivalente a un volumen de 1630.24 m³ contenido en 35,889 bolsas plásticas (60 x 90 cm) y desechadas al medio ambiente. La acumulación constante

de las glóquidas en varios ciclos productivos representa un impacto ambiental negativo del sistema productivo, aunado a que se desaprovecha un recurso, que es necesario generarle valor agregado para la sostenibilidad del propio sistema tunero.

5.2.Composición y estructura general de las paredes celulares

5.2.1. Composición de las paredes celulares

La pared celular se define como una estructura semirrígida y dinámica que rodea a la célula vegetal y caracteriza la morfología distintiva de la planta (Salazar & Gamboa, 2013), y su composición varía dependiendo de la especie vegetal junto con sus tejidos y células (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La pared celular es un compartimiento dinámico, continuamente modificado durante el crecimiento y la diferenciación celular por la alta elasticidad que tienen las fibras que la conforman.

Los principales componentes generales de las paredes celulares en plantas son: celulosas, hemicelulosas y pectinas. Estos compuestos consisten en una serie de polisacáridos, que muy a menudo, en algunas células, están asociados o sustituidos con proteínas y compuestos fenólicos.

La pared celular se encuentra dividida en dos partes: la pared primaria y la pared secundaria. Rachel (2012) explica que la pared primaria está formada por las células en crecimiento, y normalmente se considera que están relativamente poco especializadas y que tienen una arquitectura celular bastante similar en todas ellas. Está compuesta fundamentalmente por hemicelulosas y parte de celulosa. En la pared primaria domina la fase amorfa, mientras que la fase fibrilar se encuentra reducida un 8 a 25%. En la pared secundaria domina la fase fibrilar, y la fase amorfa se compone de hemicelulosas, lignina y una pequeña fracción de sustancias pécticas y glicoproteínas (proteínas estructurales).

5.2.2. Estructura de las paredes celulares

De acuerdo a Rachel (2012) la pared celular tiene una estructura compleja, con propiedades que dependen del tipo de tejido y etapa de desarrollo del vegetal. Las características físicas y funciones biológicas de las paredes celulares dependen principalmente de los polímeros estructurales constituyentes y de cómo interactúan entre sí para formar la matriz de la pared. Las paredes celulares pueden variar entre sí en grosor, sustancias embebidas, estructura y frecuencia de punteaduras y plasmodesmo (canales que conectan las células vecinas para transporte de nutrientes y agua).

La lamela media se origina mediante la depositación de la primera capa en la fase de división celular, la cual, se encuentra conformada por polisacáridos pécticos y su función es generar la interconexión entre las células adyacentes. La pared celular se forma con la acumulación de material entre la lámina media y la membrana celular. La formación de la pared primaria se da una vez que la placa celular está completa, y consiste en el depósito de 3 a 4 capas de material de microfibrillas de celulosa en las células hijas, presentan un escaso grosor que va de 0.1 hasta 1.0 μm . Se da origen a la pared secundaria cuando las células dejan de crecer y se depositan capas nuevas de material en la parte interna de la pared, la cual, es de mayor grosor que la primaria (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

En general, la pared celular se constituye por dos fases: la fase fibrilar (esqueleto) y la fase amorfa (matriz). La fase fibrilar está compuesta por cadenas de celulosa, cuyas cadenas lineales de glucosa pueden alcanzar 4 μm de longitud. Las microfibrillas de celulosa pertenecientes a las paredes primarias están embebidas en una matriz altamente hidratada. Esta estructura (figura 1) proporciona fuerza y flexibilidad al mismo tiempo (Rachel, 2012), además, según Barceló et al. (2009) se forman agregados fibrilares cristalinos de celulosa que le confieren a la pared la mayor parte de su enorme resistencia.

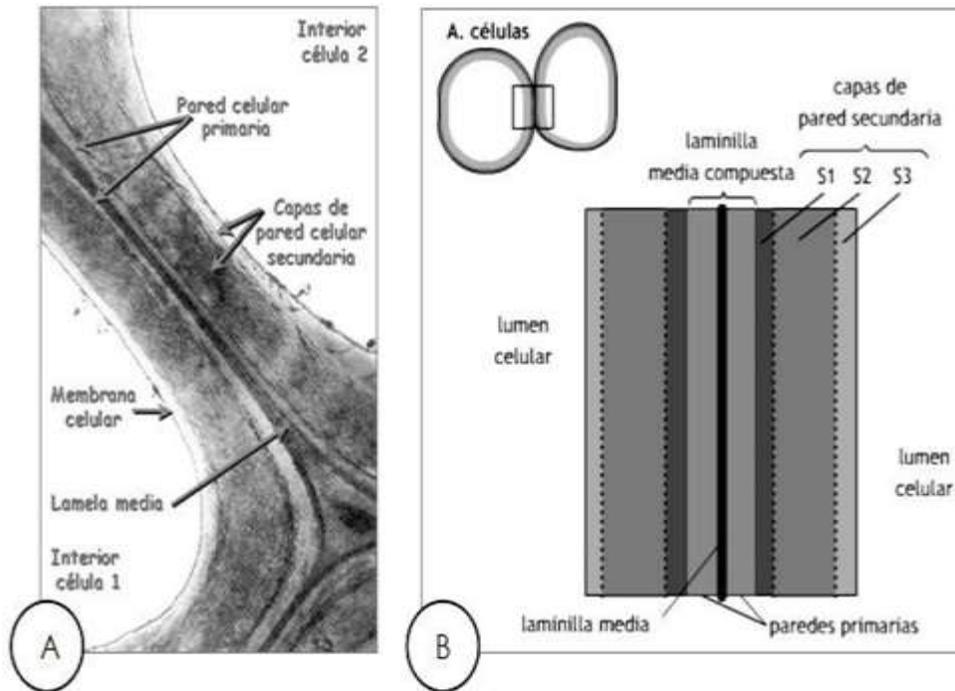


Figura 1 Estructura de la pared celular. A. Componentes de la pared celular vegetal, B. Modelo de los componentes de la pared celular (Rachel, 2012).

5.2.3. Componentes polisacáridos

Los polisacáridos se catalogan como los compuestos más abundantes en las paredes celulares de todas las plantas y constituyen aproximadamente el 90% de la biomasa de las paredes primarias y del 65 al 85% de las secundarias (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Están formados por azúcares enlazados unos con otros mediante enlaces glucosídicos, formando de esta manera largas cadenas de polímeros (Barceló et al., 2009). En la actualidad se han descubierto doce monosacáridos funcionales en las paredes celulares (figura 2).

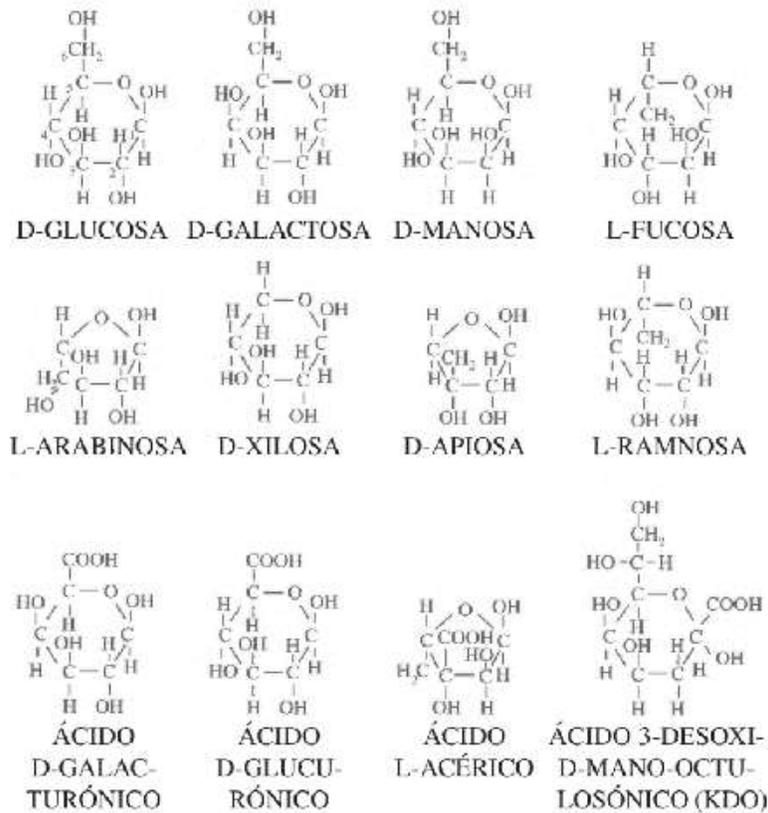


Figura 2 Estructura de los doce monosacáridos que conforman las paredes celulares vegetales (Barceló et al., 2009).

5.2.3.1. Celulosa

La celulosa está formada por cadenas lineales de unidades de D-glucosa enlazadas mediante uniones covalentes polares β (1 \rightarrow 4) (figura 3). Cada union de glucosa manifiesta una rotación de 180° con respecto a las glucosas contiguas, y son estabilizadas mediante puentes de hidrógeno (Azcón-Bieto & Talón, 2008). El grado de polimerización (GP) puede oscilar entre 8,000-14,000, lo que corresponde a una longitud de la cadena de 4,000-7,000 nm; las cadenas de celulosa en las paredes primarias son mucho más cortas, del orden de 750 nm con un GP de 2,500 (Barceló et al., 2009). La composición y formación de las fibras de celulosa fueron descritas por Barceló et al. (2009) en el que cada fibrilla elemental

está formada por unas 36 cadenas de celulosa, 20 fibrillas elementales forman una microfibrilla; en estado de microfibrilla es como se encuentra la celulosa en las paredes primarias; 250 microfibrillas forman una fibrilla, y por último, unas 1.500 fibrillas forman una fibra de celulosa.

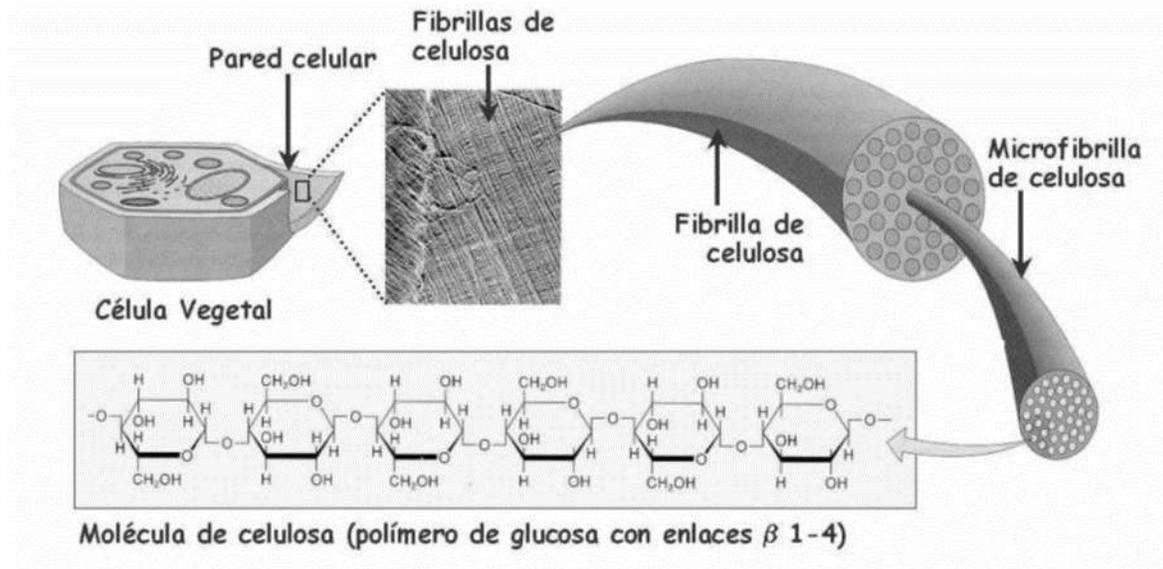


Figura 3 Estructura y composición de las fibrillas de celulosa en la pared celular (Rachel, 2012).

5.2.3.2. Hemicelulosa

Los polisacáridos de hemicelulosa están estructurados por cadenas lineales largas sobre las que se pueden ramificar con cadenas laterales cortas (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Barceló et al. (2009) afirman que todas las hemicelulosas, aunque pueden estar formadas por azúcares distintos, manifiestan las siguientes características estructurales en común:

- 1) Poseen una especie de columna vertebral formada por una cadena plana de azúcares unidos casi siempre mediante enlaces $\beta(1-4)$ de la que pueden salir ramificaciones muy cortas, generalmente de un solo azúcar de longitud.

- 2) Evidencian una característica estructural que les impide formar agregados como las cadenas de celulosas.

Los xilanos, arabinoxilanos, galactomananos, glucuroarabinoxilanos, glucomananos y xiloglucanos son las clases más frecuentes de hemicelulosas.

El xiloglucano de acuerdo a la investigación de Azcón-Bieto & Talón (2008) es un polisacárido demasiado abundante al igual que la celulosa, y sus unidades estructurales varían conforme a la especie vegetal e inclusive a los tejidos. En su estructura presenta un eje central de $\beta(1\rightarrow4)$ -glucano similar a la celulosa, pero con la diferencia de ser más corta. Los polímeros de glucosa forman enlaces glicosídicos del tipo $\alpha(1\rightarrow6)$ a compuestos de xilosa, generando la ramificación del polisacárido. Los xiloglucanos se pueden clasificar como del tipo XXXG o XXGG, y va a estar en función del número de polímeros de glucosa que tengan enlazado un resto de xilosa. Los restos de xilosa también pueden llevar cadenas laterales enlazadas al C-2 de unidades de β -D-galactosa o unidades del disacárido L-fucosa- $\alpha(1\rightarrow2)$ -D-galactosa en menor relación. Además, la xilosa es sustituida por monosacáridos de α -L-arabinosa-(1 \rightarrow 2) o disacáridos de $\alpha(1\rightarrow2)$ -L-arabinosa- $\beta(1\rightarrow2)$ -D-galactosa en mayor proporción. En todos los tipos de xiloglucano las cadenas de galactosa pueden presentarse de forma acetilada. Barceló et al. (2009) describieron que el xiloglucano se localiza en paredes celulares primarias de dicotiledóneas, constituyendo entre el 20 y 25% de su peso seco y aproximadamente entre el 60-70% de las moléculas de glucosa se encuentran unidas en el C-6 a un resto de α -D-xilopiranosilo, mientras que, en monocotiledóneas, constituye sólo del 2 al 5% de su peso seco, además, solo la cantidad del 36-37% de la glucosa está xilosilada y presenta mucha menos cantidad de fucosa. Los xiloglucanos no sólo se unen fuertemente a la superficie de la celulosa, sino que también pueden ser retenidos dentro de la red de microfibrillas a través de un enlace covalente o por una reacción de transglicosilación (Salazar & Gamboa, 2013), pero también, las cadenas de

xiloglucano pueden incorporarse por interacciones intermoleculares de puentes de hidrógeno a la celulosa y superponer una capa de hemicelulosa a las microfibrillas (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Los xilanos comprenden los arabinoxilanos, los glucuronoxilanos y los glucuronoarabinoxilanos. Se componen por una cadena principal de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-xilosa con ciertas alternaciones de los monosacáridos arabinosa, ácido glucurónico y ácido metilglucurónico formando enlaces glicosídicos del tipo $\alpha(1\rightarrow2)$ o $\alpha(1\rightarrow3)$. El xilano también puede incorporarse a las microfibrillas de celulosa y principalmente en gramíneas realizar la misma función del xiloglucano de las dicotiledóneas (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Azcón-Bieto & Talón (2008) y Barceló et al. (2009) concuerdan que el glucano mixto es un polisacárido formado por restos de D-glucopiranosilos unidos en un 30% por enlaces $\beta(1\rightarrow3)$ y un 70% por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$.

Existen otros polisacáridos hemicelulósicos como son los mananos, se caracterizan por ser un grupo heterogéneo cuyo componente dominante es la manosa. Las cadenas principales están formadas únicamente por polímeros de D-manosa unidos por enlaces glicosídicos del tipo $\beta(1\rightarrow4)$, o también, presentar cadenas intercaladas de D-glucosa (glucomanos) (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

5.2.3.3. Pectinas

Los polisacáridos pécticos se clasifican entre los polímeros más complejos conocidos, y están implicados en varias funciones vitales de la planta (Rachel, 2012). En todas las plantas se puede encontrar pectinas en sus paredes celulares, representando alrededor del 35% de la composición de las paredes primarias en dicotiledóneas y el 5% en gramíneas. (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Las pectinas son sintetizadas dentro del aparato de Golgi, comenzando en el cis-Golgi donde éstas son metilesterificadas en el carboxilo correspondiente al C6 por las enzimas pectin metiltransferasas (PMT), después son procesadas por el trans Golgi donde

sufren modificación al adicionarles cadenas laterales al esqueleto carbonado, y por último, son transportadas a la pared celular por vesículas secretoras (Salazar & Gamboa, 2013), dando origen a homogalacturonano, ramnogalacturonanos I, ramnogalacturonanos II y arabinogalactanos ricos en ácido D-galacturónico que forman una cadena lineal altamente ramificada (Barceló et al., 2009).

Los homogalacturonanos (HG) están compuestos por cadenas de ácido D-galacturónico unidos por un enlace $\alpha(1\rightarrow4)$ sin ramificaciones (Pérez-Almeida & Carpita, 2006); se excreta a la pared celular con la mayoría de los grupos urónicos esterificados con grupos metilo o acetiladas diferencialmente. Los grupos carboxilo de los restos galacturonosil pueden encontrarse esterificados con metanol o libres (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Barceló et al. (2009) y Azcón-Bieto & Talón (2008) afirman que los radicales carboxilos del HG se pueden encontrar libres y disociados, por lo que, generan interacciones con Ca^{2+} y forman geles rígidos e insolubles en medio acuoso.

El ramnogalacturonano I (RG I) está constituido por una cadena central formada por la secuencia repetida del disacárido α -D-galacturónico-(1 \rightarrow 2)- α -L-ramnosa-(1 \rightarrow 4) ramificado por cadenas neutras laterales (Azcón-Bieto & Talón, 2008). De manera aproximada la mitad de la ramnosa están glicosilados en el C-4 a cadenas laterales ricas en residuos de L-arabinosa y D-galactosa como arabinanos, galactanos o arabinogalactanos (Barceló et al., 2009).

Existen dos tipos de arabinogalactanos en las paredes celulares. Las cadenas laterales de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-galactano (cadenas laterales de D-galactosa unidas) con residuos terminales de arabinosa en posición en C-3 constituyen al arabinogalactano I (Pérez-Almeida & Carpita, 2006), y Barceló et al. (2009) describe al arabinogalactano II como un polisacárido altamente ramificado en el que aparecen enlaces $\beta(1-3)$ y $\beta(1-6)$. Entre los galacturonanos modificados se

han identificado el ramnogalacturonano II, el xilogalacturonano y el apiogalacturonano. (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

El ramnogalacturonano II (RG II) está formado aproximadamente por 12 monosacáridos diferentes entre los que se encuentran numerosos restos glucosilos poco frecuentes en plantas (Barceló et al., 2009). Azcón-Bieto & Talón (2008) encontraron que es un polisacárido muy conservado de pequeñas dimensiones (GP=60) y su estructura es extraordinariamente compleja constituida por ácido galacturónico, ramnosa, arabinosa y galactosa, además, se pueden localizar trazas de azúcares raramente comunes como 2-O-metilfucosa, 2-O-metilxilosa, apiosa, 3-C-carboxi-5-desoxi-L-xilosa y ácido 3-desoxi-mano-octulosónico. A diferencia del RG I, las cadenas de ramnosa pueden presentar enlaces en su C(3,3,4) y C(2,3,4) o ser terminales. Además, el boro se puede incorporar mediante enlaces entre dos cadenas del RG II, usando la apiosa como agente intermediario.

Principalmente las pectinas neutras están conformadas por cadenas de monosacáridos de arabinosa, D-galactosa o la combinación de ellas. La polimerización de L-arabinosa mediante enlace $\alpha(1\rightarrow5)$ y otros glicosídicos en $\alpha(1\rightarrow2)$ o $\alpha(1\rightarrow3)$ dan origen a los arabinanos. La unión mediante enlaces glicosídicos $\beta(1\rightarrow4)$ -D-galactano forman cadenas lineales con ramificaciones en el C6 o sin ramificaciones, se les denomina galactanos (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

5.3. Composición y estructura de las glóquidas de tuna

Las glóquidas son pequeñas, cortas y multicelulares. Son de color café e imparten ese color a las areolas que rodean a las lenticelas de los frutos, la superficie de las lenticelas está cubierta de estructuras barbadas, lo cual les permite alojarse en la piel y no pueden ser removidas fácilmente. Las espinas y glóquidas ayudan a reducir la temperatura del tallo y fruto durante el día, y su presencia disminuye la intercepción de luz por el cladodio (Inglese, 2020).

5.3.1. Composición de las paredes celulares de las glóquidas

En la investigación realizada por Ulloa et al. (2020) determinaron que las glóquidas de la tuna contienen cantidades similares de celulosas y hemicelulosas (41.1%, y 41.2%, respectivamente) y, 5% de ligninas; este contenido es inferior al reportado para las espinas de los cladodios del nopal, aunque las proporciones de los dos primeros componentes sigue siendo la misma, con un valor de 47.9% para celulosa, 48.4% hemicelulosa y 25% de lignina (cenizas, grasas y ceras en cantidades muy pequeñas) (Malainine et al., 2003). Conforme a estos resultados previos, las glóquidas pueden tener una similitud a las espinas del cladodio en cuanto a la composición de sus paredes celulares.

La espina del cladodio presenta en su composición celulosa y arabinan prácticamente en las mismas cantidades cercanas al 50% con una fuerte interacción en las microfibras de la espina (Malainine et al., 2003; Ulloa et al., 2020). La fracción de arabinan en la espina se encuentra en la pared secundaria moderadamente ramificada en un 31% de su estructura, conformada por 67 unidades de α -L-arabinofuranosa residual en su columna vertebral y 33 unidades como cadenas laterales terminales y, se compone de los siguientes monosacáridos: L-arabinosa (94.3%), L-ramnosa (1.6%), D-ácido galacturónico (1.4%), D-glucosa (0.7%) y D-galactosa (0.6%) (Vignon et al., 2004). La superficie de la espina está cubierta por carbonato de calcio y pectinas (Buxbaum, 1950; Inglese, 2020).

5.3.2. Estructura de las glóquidas

Las estructuras externas de las glóquidas (Imagen 3) de acuerdo a las observaciones de Ulloa et al. (2020) presentan barbas retrorsas a lo largo de toda su estructura y poseen internamente una estructura cristalina por las fibras de celulosa perfectamente ordenadas, con una longitud promedio de 1667 μm y su diámetro de 67.3 μm . Además, determinaron que su densidad aparente es de 0.16

g cm⁻³ y que después de ser molidas y tamizadas en malla 40 no se pulverizaron, solo quedaron trozadas, ratificando su alta resistencia.

La manifestación de la resistencia y dureza de las glóquidas puede atribuirse a la estructura cristalina de las fibras de celulosa, este comportamiento podría ser similar a las espinas de *Opuntia ficus-indica*. El cuerpo de la columna vertebral consiste en una disposición paralela de fibras de celulosa delgadas que de acuerdo con algunos investigadores (Malainine et al., 2003; Vignon et al., 2004 y Gindl-Altmutter & Jozef, 2012 las dimensiones de las columnas vertebrales de celulosa contenidas en la espina de *Opuntia ficus-indica*, tienen un diámetro promedio de 5 a 10 µm, una longitud media de 0.3-0.5 mm y un lumen muy pequeño alineado a lo largo del eje principal de la columna vertebral. De acuerdo con los estudios de Cooper et al. (2013) y Martínez et al. (2017), el porcentaje de cristalinidad de las espinas de diferentes especies de cactáceas está relacionado con la especie y oscila entre el 48% y 76.3%. Gindl-Altmutter & Jozef (2012) evidenciaron claramente que la espina de *Opuntia ficus-indica* es una de las más altas dentro de las cactáceas con 57% a comparación de otros materiales lignocelulósicos, por ejemplo, la madera de abeto presentó una cristalinidad del 34%, bagazo de caña de azúcar de 41% (López-Martínez et al., 2016), cascarilla de arroz de 52%, aserrín de madera 44% (Torres et al., 2017), y asemejándose a la quitina del exoesqueleto del camarón de 57.4% (Rojas et al., 2018). Las microfibrillas de celulosa cristalina están casi perfectamente alineadas paralelamente al eje de la columna vertebral, lo que lo conduce a ser considerado un material de muy alta resistencia.

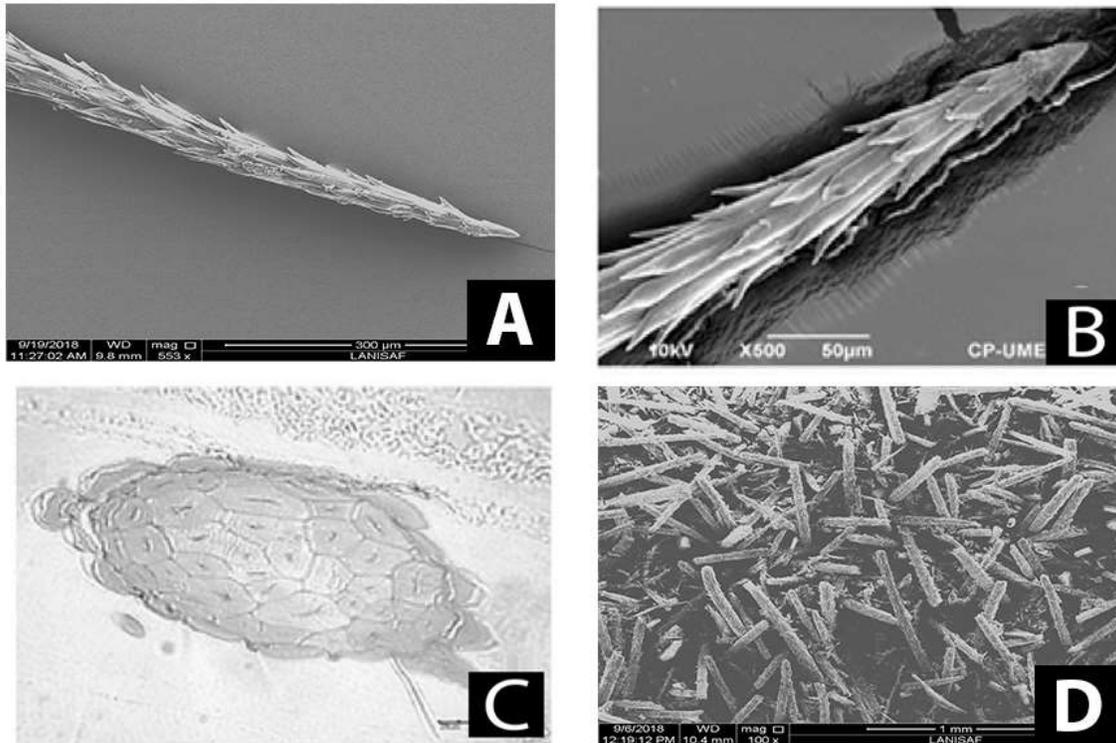


Figura 4 Estructuras de las glóquidas de la tuna. A. Barbas retrorsa de la glóquida, B. Estructura externa de glóquida de tuna, C. Corte transversal de la glóquida de tuna, D. Estructura de glóquidas molidas (Ulloa et al., 2020).

5.4.Composición, estructura y clasificación de las oligosacarinas

5.4.1. Estructura y composición de las oligosacarinas

El concepto de oligosacarina se refiere a un conjunto de oligosacáridos con efectos biológicos sobre la planta y que pueden ser de diferente origen. Las oligosacarinas despliegan una actividad biológica específica según el tipo de especie vegetal y su propia estructura química, fundamentalmente el grado de polimerización del oligosacárido, al cual está vinculado su peso molecular promedio (Bautista, 2018).

Las oligosacarinas son consideradas como moléculas conformadas de largas cadenas de carbono que de acuerdo a Mompie et al. (2017) son carbohidratos

capaces de interferir en el desarrollo de las plantas a bajas concentraciones. Lara et al. (2018) afirma que las oligosacarinas son oligosacáridos lineales unidos por enlaces covalentes polares. Las oligosacarinas se concentran en las paredes celulares de las células como polisacáridos y glicoprotéicos (Falcón et al., 2015).

5.4.2. Clasificación de las oligosacarinas

Falcón et al. (2015) propusieron una clasificación de las oligosacarinas de acuerdo a si son obtenidas o liberadas de paredes celulares de plantas o de patógenos, y de acuerdo a su origen se denominan de tipo endógena o exógena. Dentro de las del tipo endógena se localizan los oligogalacturónidos y los xiloglucanos, aisladas de paredes celulares de las células vegetales, estas actúan directamente en el metabolismo y en el desarrollo morfológico de las plantas. En las del tipo exógena se estudian los oligoglucanos, oligoquitinas y oligoquitosanas, este tipo de oligosacarinas se centra principalmente en intervenir en el sistema defensivo de la planta y su extracción es por medio de degradación de paredes celulares de hongos fitopatógenos y de la quitina de crustáceos e insectos.

5.4.2.1. Oligogalacturónidos

Los oligogalacturónidos (OGP) se caracterizan por ser oligosacáridos lineales conformados por unidades de ácido D-galacturónico unidos por enlaces del tipo α (1–4). El anillo piranósido del ácido D-galacturónico aparece en la conformación de silla 4C1 correspondiente a su forma más estable. Los enlaces glicosídicos en los C-1 y C-4 en posición axial-axial y su grado de polimerización (GP) está determinado por el número de cadenas de D-galacturonatos que se glicosídan. Estas moléculas pueden presentarse en los tejidos vegetales en forma insaturada con un doble enlace entre los C-4 y C-5 del residuo terminal o en forma C-1 oxidados, en los que el residuo del extremo reductor es un ácido galactárico (Lara et al., 2018).

De acuerdo a Falcón et al. (2015) los OGP se localizan en la fracción péctica que conforma la pared celular vegetal y que son liberados por acción metabólica de la planta o por un ataque de organismos fitopatógenos.

Para poder llevarse a cabo la identificación y caracterización de los oligogalacturónidos es necesario obtener su masa molecular, el grado de esterificación y el grado de polimerización. La medición del grado de polimerización tiene una alta relevancia, debido a que este índice proporciona la efectividad de absorción que tendrá el oligogalacturónido al ser aplicado a la planta, claramente Lara et al. (2018) demostró que los fragmentos pécticos con grado de polimerización mayor de 16 presentan una actividad biológica, pero tienen poca movilidad en el apoplasto, esto le confiere menor importancia como moléculas señalizadoras, debido a que es posible que la misma pared celular actúe como una barrera para la interacción de estos macrofragmentos con la membrana citoplasmática.

5.4.2.2. xiloglucanos

Los xiloglucanos (OGX) son polímeros de glucosa que forman enlaces glicosídicos del tipo $\alpha(1\rightarrow6)$ a cadenas laterales de α -Xilosa, β -Galactosa, α -L-arabinosa y α -Fucosa, generando la ramificación del polisacárido.

Se caracterizan principalmente por ser derivados de la pared primaria de la célula, específicamente de los polisacáridos hemicelulosos que la conforman. Falcón et al. (2015) encontraron específicamente que en dicotiledóneas y monocotiledóneas diferentes a las gramíneas son fuentes de xiloglucanos y, también están disponibles en semillas de dicotiledóneas como reservas de energía.

5.4.2.3. Oligoglucanos

Las primeras moléculas que se encontraron de las oligosacarinas exógenas fueron los oligoglucanos. Los oligoglucanos están constituidos por cadenas de 3, 6 y 3-6

β glucósidos (Bautista, 2018). Se caracterizan por ser derivados de la fragmentación de β -glucanos contenidos en la pared celular de hongos fitopatógenos. Pese a que fueron los primeros en ser descubiertos, existen pocos reportes de trabajos realizados con estas moléculas en la agricultura.

5.4.2.4. Oligoquitina

La quitina es un polímero de cadena larga de N-acetilglucosamina (2 acetamido 2 deoxiglucosa) enlazadas entre sí por enlaces β (1,4), y es el principal componente paredes celulares de hongos, exoesqueletos de artrópodos e insectos. Se encuentra en la naturaleza en forma de microfibrillas ordenadas, de estructura cristalina, que constituye el principal componente estructural del exoesqueleto de crustáceos, y paredes celulares de hongos y levaduras, lo que convierte a la quitina en el segundo polisacárido más abundante en la biomasa después de la celulosa (Bautista, 2018).

La quitina presenta la propiedad de ser insoluble en agua, esto Peniche et al. (2001) lo comprobaron y resulta que la quitina es difícil de disolver en los disolventes orgánicos generales.

5.4.2.5. Quitooligosacarinas

El quitosano es un polímero lineal derivado de la quitina unido por enlaces distribuidos al azar β -1,4-D-glucosamina (unidad deacetilada) y N-acetil-D-glucosamina (Enríquez-Guevara et al., 2010). A diferencia de las otras oligosacarinas que se mide el grado de polimerización para llevar a cabo la caracterización, en el quitosano se le da más importancia a evaluar su grado de acetilación y su masa molecular.

El quitosano tiene la propiedad de ser soluble en disoluciones acuosas diluidas de ácidos orgánicos débiles, como el ácido acético, fórmico, acrílico, y de ácidos inorgánicos, como el ácido clorhídrico (HCl) (Enríquez-Guevara et al., 2010).

De manera general todas las paredes celulares vegetales tienen en común la composición de celulosas, hemicelulosas y pectinas, pero no todas poseen las mismas cantidades ni acomodos de estos compuestos. Por lo que, otros tejidos vegetales no logran asemejarse a las glóquidas en cuanto a las propiedades de dureza y resistencia que sus paredes le confieren, a pesar de carecer de altos contenidos de lignina. De acuerdo a Ulloa et al. (2020) demostraron que la hidrólisis ácida y alcalina solubilizaron compuestos presentes en las glóquidas parecidas a azúcares reductores, en concordancia con ellos, se puede considerar que los sacáridos que se liberaron de las paredes celulares principalmente son: L-arabinosa, L-ramnosa, D-ácido galacturónico, D-glucosa y D-galactosa, las cuales se clasifican como azúcares reductores. Entonces, con la presencia de cadenas de estos monosacáridos es posible el aprovechamiento de oligosacarinas de carácter péctico (OGP) derivadas de la fracción del RG II, en conjunto de una porción de oligosacarinas del tipo OXG derivadas de la fracción de hemicelulosa en la pared primaria mediante la hidrólisis química.

VI. PROPIEDADES FITOQUÍMICAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA (*Opuntia albicarpa* SCHEINVAR) Y SU POTENCIAL PARA USO AGRONÓMICO

PHYTOCHEMICAL PROPERTIES OF PRICKLY PEAR GLOCHIDS (*Opuntia albicarpa* SCHEINVAR) AND THEIR POTENTIAL FOR AGRONOMIC USE

V. M. Marín-Campos¹, M. E. Álvarez-Sánchez^{1*}, R. Maldonado-Torres¹, R. M. López-Romero², C. García-Osorio³

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, Estado de México, México. ² Colegio de Postgraduados (CP), Posgrado en Edafología, Montecillo, Estado de México, México. ³ CP, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura, Montecillo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (edna_alvarez30@yahoo.com.mx)

RESUMEN

Las glóquidas de la tuna son un subproducto del proceso postcosecha del desespinado que se desecha en bolsas plásticas, generando impacto ambiental negativo debido a que este material lignocelulósico es de baja biodegradabilidad. En la búsqueda de generar valor agregado a este subproducto agrícola, en la presente investigación se determinaron las propiedades fitoquímicas de los pigmentos y polisacáridos pécticos presentes en extractos de glóquidas hidrolizadas de las variedades de tuna Cristalina y Blanca Burrón. Los análisis por espectrofotometría indicaron que las glóquidas tienen un contenido de betalaínas totales para las variedades Cristalina y Blanca burrón de 16.2 ± 3.4 y 20.6 ± 1.2 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de muestra seca, respectivamente, resaltando las betacianinas como dominantes. Los flavonoides totales resultaron muy cercanos entre ambas variedades con 101.3 ± 4.3 $\text{mg quercetina}\cdot 100\text{g}^{-1}$ para Cristalina y 112.9 ± 6.9 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ para Blanca Burrón. En cuanto al contenido de fenoles totales, éste fue mayor en las glóquidas de la variedad Blanca burrón (427.4 ± 18.4 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) que en la variedad Cristalina (385.7 ± 17.0 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$). El hidrolizado de las glóquidas Blanca burrón presentó un contenido de pectinas totales expresado como ácido galacturónico de 128.7 ± 26.7 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de muestra. Las propiedades fitoquímicas de las glóquidas y de contenido de pectinas mostraron que el beneficiado del subproducto de la tuna tiene buen potencial de uso nutraceutico y como bioestimulante de cultivos agrícolas.

Palabras clave: Pectinas totales, glóquidas, flavonoides totales, fenoles totales y betalaínas totales.

SUMMARY

Glochids of the prickly pear are a by-product of the post-harvest process of remove glochids that is discarded in plastic bags, generating a negative environmental impact because this lignocellulosic material is biodegradable slowly. In the search to generate added value to this agricultural by-product, in the present research were determined the phytochemical properties of the pigments and pectic polysaccharides present in extracts of hydrolyzed glochids of the varieties of prickly pear Cristalina and Blanca burron. Spectrophotometry analyses indicated that glochids have a total betalains content for the Cristalina and Blanca burron varieties of 16.2 ± 3.4 and 20.6 ± 1.2 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ of dry sample, respectively, highlighting betacyanins as dominant. The total flavonoids were similar between both varieties with 101.3 ± 4.3 $\text{mg quercetin}\cdot 100\text{g}^{-1}$ for Cristalina and 112.9 ± 6.9 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ for Blanca Burrón. In terms of content of total phenols, this was higher in glochids of Blanca burron variety (427.4 ± 18.4 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) than in Cristalina variety (385.7 ± 17.0 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$). Hydrolysate of White Burron glochidides presented a total pectin content expressed as galacturonic acid of 128.7 ± 26.7 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ of sample. Phytochemical properties of the glochids and pectin content showed that the benefited of by-product of prickly pear has good potential for nutraceutical use and as a biostimulant of agricultural crops.

Index words: Total pectins, glochids, total flavonoids, total phenols and total betalains.

INTRODUCCIÓN

El proceso de desespinado es la operación postcosecha para eliminar las glóquidas de las tunas, ya sea de forma manual o mecánica antes de la comercialización del fruto (Inglese, 2020). Las glóquidas desprendidas, comúnmente conocidas como “ahuates” son colectadas en bolsas de polietileno que posteriormente se desechan a la intemperie o en barrancas. Ulloa et al. (2021) reconocieron que las bolsas plásticas que se usan para desechar las glóquidas de los frutos son residuos que también afectan directamente al ambiente, ya que, además de contribuir a un problema estético, tanto el plástico como las glóquidas no son biodegradables en el corto plazo, acumulándose constantemente en cada ciclo de producción. Ulloa et al. (2021) estimaron que el índice promedio de producción de glóquidas en *Opuntia albicarpa Scheinvar* es de 0.56 kg por tonelada de fruta fresca, y que de acuerdo con la producción del año 2019 de 170,696.17 toneladas de tuna en todo el Estado de México, comprendida en 15,065.55 ha del cultivo (SIAP, 2020), se derivaron 95.6 toneladas de glóquidas en dicho ciclo de producción. Es notorio el impacto negativo generado por las glóquidas a nivel nacional, ya que de acuerdo al SIAP (2020) en el ciclo 2019 se produjo un total de 457,390 toneladas de fruta fresca en todo el territorio mexicano; producción que incluye de *Opuntia albicarpa Scheinvar* a las variedades criolla, blanca burrón, alfajayucan, roja, cristalina y amarilla, mismas que de su beneficiado resultó un desecho de 256.13 toneladas de glóquidas, equivalente a un volumen de 1630.24 m³ contenido en 35,889 bolsas plásticas (60 x 90 cm) y desechadas al medio ambiente.

Ulloa et al. (2021) explicaron que las glóquidas no son biodegradables en el corto plazo debido a que éstas se componen de celulosa (41.1 %), hemicelulosa (41.2 %) y lignina (5.3 %) en un estado de alta cristalinidad (20-60%) y una alineación (1-2.5 °) *cuasi* paralela de las fibras de celulosa dentro de la pared

celular. Cooper et al. (2013) y Martínez et al. (2017) estimaron el porcentaje de cristalinidad de las espinas de diferentes especies de cactáceas y oscilan entre 48 y 76.3%; específicamente Gindl-Altmutter & Jozef (2012) evidenciaron que la espina de *Opuntia ficus-indica* es una con los más altos niveles de cristalinidad dentro de las cactáceas, con un valor del 57%. Además, las microfibrillas de celulosa cristalina están casi perfectamente alineadas paralelamente al eje de la columna vertebral, lo que conduce a ser considerados como materiales de alta resistencia ante factores degradantes. Las glóquidas y las espinas presentan alta dureza y resistencia, haciéndolas comparables con otros residuos lignocelulósicos como la madera de abeto con una cristalinidad del 34%, bagazo de caña de azúcar del 41% (López-Martínez et al., 2016), cascarilla de arroz del 52%, aserrín de madera (44%) (Torres et al., 2017), y asemejándose a la cristalinidad de la quitina del exoesqueleto del camarón (57.4%) y otros artrópodos (Rojas et al., 2018).

Derivado de las características anteriores, se ha observado de manera empírica, que las glóquidas en contacto con un medio acuoso polar liberan pigmentos que se asemejan a una coloración cercana al rojo carmín; pigmentos que pueden ser indicadores de la presencia de algunos compuestos como carotenoides, flavonoides y betalainas como lo mencionan Chasquibol-Silva et al. (2008) identificados en desechos de mango, pero, se desconoce como tal a los agentes que provocan dichas coloraciones.

La falta de utilidad de este subproducto agrícola de difícil manejo y la constante acumulación tras cada ciclo de producción, representa un impacto para la sustentabilidad del sistema productivo, aunado a que se desaprovecha un recurso al que urge se genere valor agregado para reducir la pérdida de energía del sistema tunero.

La presente investigación tuvo como finalidad determinar las propiedades fitoquímicas de los pigmentos y polisacáridos pécticos presentes en los extractos de glóquidas de tuna mediante espectrofotometría para definir su potencial uso agronómico o nutracéutico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de glóquidas de tuna

El muestreo de las glóquidas se hizo en dos zonas tuneras, una en los talleres de beneficiado de ejidatarios de la comunidad de San Felipe Teotitlán, Nopaltepec, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 47' 51.05'' latitud N y 98° 40' 47.95'' longitud O, cuyas muestras correspondieron a la variedad blanca burrón. La colecta de la variedad cristalina se realizó en los centros de acopio en la comunidad de San Sebastián Villanueva, Acatzingo de Hidalgo, Puebla, georreferenciada a 19° 3' 28.14'' latitud N y 97° 43' 9.79'' longitud O. En ambas zonas se obtuvieron alrededor de 20 kg de desecho por cada variedad.

Pretratamiento de muestras

Cada muestra colectada se homogeneizó manualmente por agitación por un tiempo de 10 min. Posteriormente, se tomó una submuestra de aproximadamente 500 g. Se retiraron los sólidos con ayuda de una pinza de disección y se lavó con agua de la llave para eliminar impurezas como lo propone Ulloa et al. (2021). Se secaron en una estufa a 60 °C hasta peso constante. Posteriormente, se molieron hasta pasar por una malla 40 y se homogeneizó la muestra en un agitador de acción recíproca a 220 rpm durante 30 min.

Determinación de betalaínas totales

Para las determinaciones siguientes se emplearon tres repeticiones por submuestra de material colectado. La extracción y cuantificación de betalaínas se efectuó con la metodología de García-Cruz et al. (2012) modificado.

Se pesaron 0.5 g de glóquidas secas y se adicionó 10 mL de metanol-agua al 80 %. La mezcla se tapó y colocó en un agitador magnético por 60 min con la finalidad de evitar la degradación paulatina de los pigmentos extraídos; posteriormente al término, las

muestras se centrifugaron en una centrifuga 5804R (Eppendorf, Barkhausenweg, Hamburg, Germany) a 5000 rpm por 10 min. Se colectó el sobrenadante. En el sobrenadante se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible Génesys 10_{uv} (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA) a 483 y 538 nm para betaxantinas y betacianinas respectivamente.

Para la cuantificación de betalaínas totales se empleó la fórmula matemática de Castellanos-Santiago & Yahia (2008):

$$B = \frac{(A)(FD)(PM)(V)}{(\epsilon)(L)}$$

Donde:

B= Concentración de betacianinas o betaxantinas (mg·100g⁻¹). A= Lecturas de betacianinas a 538 nm y betaxantinas a 483 nm. FD= Factor de dilución. PM= Peso molecular de Betanina (550 g mol⁻¹) e Indicaxantina (308 g mol⁻¹). V= Volumen total del extracto. ϵ = Coeficiente de extinción molar para Betanina (60 000 L mol⁻¹ cm⁻¹) e Indicaxantina (48 000 L mol⁻¹ cm⁻¹). L= Longitud de la celda (cm).

Determinación de flavonoides totales

Para la determinación del contenido total de flavonoides en el extracto se utilizó el método colorimétrico en espectrofotometría UV-VIS propuesto por Bakar et al. (2009).

La extracción se llevó a cabo en 0.5 g de glóquidas secas a las que se adicionó 10 mL de etanol (96 %). Se agitó por 60 min a temperatura ambiente y reposó en refrigeración a 4 °C toda la noche. Al siguiente día, se agitó 30 min. Las muestras se centrifugaron a 5000 rpm por 5 min y se colectó el sobrenadante.

Se tomó una alícuota de 300 μ L del extracto y se colocaron en viales ámbar. Para el blanco se empleó etanol 96 %. Para generar el complejo cuantificable en muestras y estándares, se adicionó 2.25 mL de agua destilada y 150 μ L de nitrito de sodio al 5 %, dejándolo en reposo por 6 min. Posteriormente, se agregó 300 μ L de solución de cloruro de aluminio al 10 % y reposó por 5 min. Finalmente, se añadió 1 mL de hidróxido de

sodio 1 M, se homogeneizó manualmente y se midió a 510 nm.

Se preparó una curva absoluta de quercetina (Sigma-Aldrich) para la cuantificación total. Para ello, se empleó una solución del estándar de $498 \mu\text{g g}^{-1}$. A partir de ésta se preparó 16, 34, 51, 69, 86, 105, 116, 136 y $155 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de quercetina.

Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales presentes en las glóquidas se realizó por el método espectrofotométrico utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu como agente oxidante de acuerdo a Koch et al. (2015) ajustando la cantidad de matriz a 0.5 g. La extracción de fenoles y polifenoles se realizó acorde al inciso de betalainas totales.

El complejo colorido para muestras y estándares se desarrolló de la siguiente manera: se tomaron $40 \mu\text{L}$ del extracto y de metanol-agua al 80 % como blanco, y se colocaron en viales ámbar. Se añadió 1.65 mL de agua destilada y $100 \mu\text{L}$ de Folin-Ciocalteu 1 N, y se dejaron reposar por 3 min. Posteriormente, se agregó $300 \mu\text{L}$ de carbonato de sodio al 20 %, y se homogeneizó la mezcla. Finalmente, reposó por 60 min y se leyó inmediatamente a 765 nm.

La cuantificación se hizo mediante una curva absoluta de ácido gálico (AEG), graficando la absorbancia (abs) contra la concentración (w/w). Para ello, se preparó una solución del estándar de ácido gálico (Sigma-Aldrich) a una concentración de $498 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Se utilizaron los puntos 55, 108, 160, 208, 258, 313, 360 y $405 (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ de ácido gálico.

Determinación de pectinas totales

La determinación del contenido de pectinas totales fue cuantificada como ácido galacturónico (A-GAL) en diferentes grados de polimerización empleando el método espectrofotométrico propuesto por Aviña et al. (2016).

Se pesaron 0.5 g de muestra y se les adicionó 15 mL de etanol, se agitaron por 30 min y se desechó el sobrenadante. El paso anterior se repitió una vez más. Se dejó secar la muestra hasta peso constante y se tomaron 5 mg a la que se adicionó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y se dejaron reposar por 1 min. Posteriormente, se les añadió $500 \mu\text{L}$ de agua destilada y se agitaron por 5 min, se colocaron otros $500 \mu\text{L}$ de agua destilada y se agitaron 30 min. Se centrifugaron a 3800 rpm por 10 min y finalmente, se filtraron en papel de lenta filtración y se guardaron en refrigeración hasta su cuantificación.

El complejo colorido se formó mediante los pasos siguientes: se tomaron por duplicado alícuotas de 1 mL del extracto y se colocaron en tubos de ensayo de 25 mL. A cada muestra se les añadió 6 mL de tetraborato de sodio (0.0125 M) disuelto en ácido sulfúrico. Las muestras se colocaron en baño maría a $100\pm 2^\circ\text{C}$ por 5 min e inmediatamente se dejaron enfriar en baño de hielos. Se adicionaron $100 \mu\text{L}$ de m-hidroxybifenil (0.15 %) disuelto en una solución de hidróxido de sodio (0.5 %) y para el duplicado de la alícuota se usaron $100 \mu\text{L}$ de hidróxido de sodio al 0.5 %. Finalmente, se homogeneizaron las mezclas y después de 15 min se leyó la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro de arreglo de diodos 8453 (Agilent technologies, Germany).

La cuantificación se hizo mediante una curva absoluta de ácido galacturónico (Chem Cruz), graficando la diferencia de absorbancias (abs) contra la concentración (w/v). Se preparó una solución del estándar a una concentración de $1171 \mu\text{g mL}^{-1}$. Se utilizaron los puntos 5, 10, 20, 30, 40, 50 y $60 (\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$ de A-GAL.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de betalainas totales

De acuerdo a los resultados (Cuadro 1), la concentración de betalainas totales (BT) en las glóquidas de la variedad Blanca Cristalina ($16.2\pm 3.4 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) fue menor que en la variedad Blanca

Burrón ($20.6 \pm 1.2 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$). La relación de betaxantinas (BX) y betacianinas (BC) estuvieron casi en las mismas proporciones para la variedad Cristalina (8.2 y $8.0 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), pero en la variedad Blanca burrón se mostró predominancia de BC ($14.9 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) casi tres veces más que la concentración de BX ($5.7 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$). Esquivel & Araya (2012) argumentan que las betalainas son pigmentos de origen nitrogenado, altamente solubles en agua y usualmente se encuentran en las vacuolas de las plantas para su fácil liberación. Esto puede explicar el que las glóquidas en contacto con un medio acuoso liberan pigmentos de una coloración rojiza en distintas tonalidades, que de acuerdo con García-Cruz et al. (2012) las BC se asocian a coloraciones rojo-violeta mientras que las BX a coloraciones amarillas. Los extractos de las glóquidas desprenden de manera predominante la pigmentación correspondiente a BC (8.0 y $14.9 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), a pesar de la diferencia en BC entre ambas variedades.

Los contenido de BT en ambas variedades de tuna, por otro lado, presentan concentraciones mayores a las reportadas para el fruto de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) con $10.3 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Wu et al., 2006), a la de tunas variedades Ruby Reyna y Moradilla 2 (*Opuntia albicarpa* Scheinvar) con 13.6 ± 0.5 y $14.5 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ respectivamente (Aquino et al., 2012), a la de semillas de quinua roja (*Chenopodium quinoa* Willd.) y en *Amaranthus caudatus* con $1.9 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Abderrahim et al., 2015 y Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Por lo tanto, a nivel comercial las glóquidas podrían ser una fuente complementaria de betalainas para la industria de pigmentos naturales y de sustancias antioxidantes en fármacos, cosméticos y productos agroalimentarios.

Contenido de flavonoides totales

Las glóquidas de ambas variedades presentaron una concentración similar (101.3 ± 4.3 y $112.9 \pm 6.9 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$). Estas estructuras contienen una cantidad superior de flavonoides (quercetina) en comparación con los tejidos de brócoli (*Brassica oleracea*) con $3.5 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, té verde (*Camellia sinensis*) y té negro (*Camellia sinensis*) con 1.4 y $1.7 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente; vino tinto ($0.8 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), manzana (*Malus domestica*) con $3.6 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, fresas con $0.6 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, cebolla (*Allium cepa*) con $34 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Jaisankar et al., 2014); cereza (*Prunus cerasus*) $1.5 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ y moringa (*Moringa oleifera*) con $6.8 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Fraga, 2010).

Los resultados indican que existe la posibilidad de que las glóquidas sean una fuente considerable de flavonoides para la industria farmacéutica y nutricional, ya que Martínez-Flórez et al. (2002) afirman que la quercetina es el flavonoide más importante que ejerce una acción antioxidante, debido a que su potencial es cinco veces mayor que las vitaminas E y C, además, manifiesta una hidrosolubilidad similar a la vitamina E. Por otro lado, existe la posibilidad de realizar futuras investigaciones del aprovechamiento agronómico de estos extractos, ya que los flavonoides pueden ejercer una respuesta a la luz y, por lo tanto, controlar los niveles de auxinas reguladoras del crecimiento dado que intervienen en la diferenciación celular y potencializan la polinización al conferir mayores coloraciones (Jiménez et al., 2009). También existe la posibilidad de ser empleados como sustancias antifúngicas.

Cuadro 1. Contenido promedio ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) de betaxantinas, betacianinas, betalainas totales, flavonoides totales, fenoles totales y pectinas totales en glóquidas de dos variedades de tuna *Opuntia albicarpa*.

Variedad	Betalainas			Flavonoides totales ^z	Fenoles totales ^y	Pectinas totales ^x
	Betaxantinas	Betacianinas	Totales			
Cristalina	8.2 ± 1.8	8.0 ± 1.6	16.2 ± 3.4	101.3 ± 4.3	385.7 ± 17.0	ND

Blanca Burrón	5.7 ± 0.1	14.9 ± 1.1	20.6 ± 1.2	112.9 ± 6.9	427.4 ± 18.4	128.7 ± 26.7
Media	6.9 ± 1.7	11.4 ± 4.0	18.4 ± 3.3	107.1 ± 8.2	419.1 ± 47.6	128.7 ± 26.7

Los valores están presentados por el promedio ± desviación estándar (n = 3). ²Flavonoides totales expresado como mg de quercetina equivalente en 100 g de muestra seca. ³Fenoles totales expresado como mg de AEG equivalente en 100 g de muestra seca. ⁴Pectinas totales expresado como mg de ácido galacturónico equivalente en 100 g de muestra seca (n = 5). ND= No determinado.

Contenido de fenoles totales

Los resultados (Cuadro 1) mostraron que la variedad Blanca burrón presentó una concentración (427.4 mg AEG·100g⁻¹) por encima de la variedad Cristalina (385.7 mg AEG·100g⁻¹) con una diferencia de 66.6 mg AEG·100g⁻¹. Ambas variedades se encontraron por encima de otros frutos de importancia económica como pitahaya roja con 166.5 mg AEG·100g⁻¹ (García-Cruz et al., 2012), quinoa negra (142.3 mg AEG·100g⁻¹) y quinoa pasankalla (108.9 mg AEG·100g⁻¹) (Vidaurre-Ruiz et al., 2017), quinoa real rosado (250 mg AEG·100g⁻¹) y quinoa panela (327 mg AEG·100g⁻¹) (Abderrahim et al., 2015); y pitaya roja (*Stenocereus griseus* H.) con 42.4 mg AEG·100g⁻¹ (Wu et al., 2006). Por otra parte, las glóquidas mostraron concentraciones similares a los arándanos rojos desecados 391.7 mg AEG·100g⁻¹ (Barreto et al., 2016), por lo que, se pueden comparar las propiedades reductoras de las glóquidas a la de frutas ricas en antioxidantes desde la perspectiva nutricional, con la facultad de prevenir enfermedades relacionadas al estrés oxidativo (Ovaskainen et al., 2008).

El método de Folin-Ciocalteu es reconocido por no ser selectivo para fenoles como lo afirman Abderrahim et al. (2015) debido a que otros compuestos como azúcares, algunos aminoácidos y derivados de furano pueden encontrarse en forma libre, moléculas orgánicas que interfieren y terminan reduciendo al folin-ciocalteu. Por otro lado, son moléculas que de manera general pueden reducir grupos radicales libres de compuestos oxidativos, aminorando el envejecimiento celular. Dado lo anterior, es posible considerar a las glóquidas como una fuente de compuestos antioxidantes y con propiedades nutraceúticas que se han estado desaprovechando en el transcurso desde que se estableció el cultivo de tuna, lo que da pauta a la generación de futuras

investigaciones para el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento para optimizar la extracción de estos compuestos a nivel comercial.

Contenido de pectinas totales

El extracto obtenido de las glóquidas Blanca burrón mostró una concentración promedio de 128.7 mg A-GAL·100g⁻¹, valores que resultaron inferiores a los reportados por Aviña et al. (2016) para la pulpa de pepino holandés con 168.9 mg A-GAL·100g⁻¹ y un 44 % de CV; cabe destacar que el CV con n=5 para las glóquidas osciló en un 20 %, debido a que la técnica analítica es complicada por el empleo de ácido sulfúrico concentrado.

La pectina derivada de la cáscara de cítricos es de los materiales más ricos en cuanto a ácido galacturónico (800-1400 mg A-GAL·100g⁻¹) por contener bajos niveles de lignina (3 %) y altos contenidos de hemicelulosa (26 %) (Gómez et al., 2016 y Sánchez et al., 2017), pero, las glóquidas a pesar de contener mayor proporción de ligninas (5 %) y hemicelulosas (41 %) que la cáscara de cítricos (Ulloa et al., 2021), pueden aportar un 15 % de compuestos pécticos de la pectina cítrica. Lo anterior indica que también se ha desperdiciado un producto con gran importancia en las industrias farmacéuticas y agroindustriales, ya que, las pectinas son empleadas como comprimidos matriciales, geles, agentes anti cancerígenos, cubiertas encapsulantes, aglutinantes, probióticos, etc. (Crispín et al., 2012).

Gómez et al. (2013) describen al ácido galacturónico polimerizado en unidades de oligogalacturónidos como moléculas promotoras de mecanismos reguladores en procesos metabólicos relacionados con el crecimiento, desarrollo y la maduración; y en procesos genotípicos durante la

organogénesis de las plantas, por tanto, esto es indicativo de que los extractos de las glóquidas pueden adquirir un potencial agronómico de gran relevancia, dando la pauta para futuras investigaciones en tecnologías de aprovechamiento masivo e industrial, como la elaboración de biorreactores para la extracción comercial de estos analitos. Por otro lado, es necesario realizar pruebas de las biomoléculas de ácido galacturónico obtenidas por hidrólisis en campo y su aplicación a cultivos hortícolas para determinar su potencial como bioestimuladores, cuya investigación está en curso.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el subproducto derivado del beneficiado de las tunas tiene propiedades fitoquímicas expresadas en los parámetros de betalainas totales, flavonoides totales, fenoles totales en cantidades de 18.4 ± 3.3 , 107.1 ± 8.2 , 419.1 ± 47.6 y $128.7 \pm 26.7 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente, que les confiere buen potencial para uso nutraceutico; así como bioestimulante de cultivos agrícolas debido al contenido de pectina total.

AGRADECIMIENTOS

El posgrado del Departamento de Suelos y los autores agradecen la beca otorgada por el CONACYT. La Universidad Autónoma Chapingo (UACH) agradece al primer autor por concluir sus estudios y la presente investigación; asimismo, se extiende reconocimiento a los posgrados de Edafología y Fruticultura del Colegio de Postgraduados por su colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food chemistry*, 183, 83-90.
- Aquino B., E. N., Chavarría M., Y., Chávez S., J. L., Guzmán G., R. I., Silva H., E. R., & Verdalet G., I. (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y ciencia-Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 20(5), 3-10.
- Aviña G., I., Contreras M., C. S., Corona J., E., & Carranza C., J. (2016). Determinación De Pectina Total (Acido Galacturónico) En Pepino De Tipo Holandes. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 348-352.
- Bakar, M. F., Mohamed, M., Rahmat, A., & Fry, J. (2009). Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*). *Food chemistry*, 113(2), 479-483.
- Barreto, M. A., Cánoves, A. M., & Mas, M. J. (2016). Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *UCV-SCIENTIA*, 8(1), 13-21.
- Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5758-5764.
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*(26), 175-199.
- Cooper, M., Goldstein, J., & Tarlton, T. (2013). *Strength Testing and Material Characterization of Cactus Spines*. California, USA: Degree Bachelor of Science. Faculty of the Materials Engineering Department. California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Crispín, P. L., Caro, R. R., & Ochoa, M. D. (2012). Pectina: usos farmacéuticos y aplicaciones terapéuticas. *Real Academia Nacional de Farmacia*, 78(1), 82-97.
- Domínguez-García, I. A., Granados-Sánchez, M. R., Sagarnaga-Villegas, L. M., & María, J. (2017). Viabilidad económica y

- financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec , Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1371-1382.
- Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129.
- Fraga, C. G. (2010). *Plant phenolics and human health: biochemistry, nutrition and pharmacology* (Vol. 45). United States of America: John Wiley & Sons.
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista fitotecnia mexicana*, 35(SPE5), 01-05.
- Gindl-Altmutter, W., & Jozef, K. (2012). The structure and mechanical properties of spines from the cactus. *Bioresources*, 7(1), 1232-1237.
- Gómez, B., Gullón, B., Yanez, R., Parajo, J. C., & Alonso, J. L. (2013). Pectic oligosaccharides from lemon peel wastes: Production, purification, and chemical characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(42), 10043-10053.
- Gómez, B., Yáñez, R., Parajo, J. C., & Alonso, J. L. (2016). Production of pectin-derived oligosaccharides from lemon peels by extraction, enzymatic hydrolysis and membrane filtration. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(1), 234-247.
- Inglese, P. (2020). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Roma, Italia: ICARDA.
- Jaisankar, P., Gajbhiye, R. L., Mahato, S. K., & Nandi, D. (2014). Flavonoid natural products: chemistry and biological benefits on human health: a review. *Asian J. of Adv. Basic Sci*, 3(1), 164-178.
- Jiménez, C. I., Martínez, E. Y., & Fonseca, J. G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 52(2), 73-75.
- Koch, W., Baj, T., Kukula-Koch, W., & Marzec, Z. (2015). Dietary intake of specific phenolic compounds and their effect on the antioxidant activity of daily food rations. *Open Chemistry*, 13(1), 869-876.
- López-Martínez, A., Bolio-López, G. I., Solórzano-Valencia, M., Acosta-Tejada, G., Hernández-Villegas, M. M., Salgado-García, S., & Córdova-Sánchez, S. (2016). OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE BAGAZO DE CANA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.). *AGROProductividad*, 9(7), 41-46.
- Martínez, J., Stewart, T., & Szeto, P. (2017). *THE RELATIONSHIP BETWEEN STRUCTURAL PARAMETERS AND MECHANICAL PROPERTIES OF CACTUS SPINES*. California, USA: Degree Bachelor of Science. Faculty of the Materials Engineering Department. California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria*, 17(6), 271-278.
- Ovaskainen, M. L., Torronen, R., Koponen, J. M., Sinkko, H., Hellstrom, J., Reinivuo, H., & Mattila, P. (2008). Dietary intake and major food sources of polyphenols in Finnish adults. *The Journal of Nutrition*, 138(3), 562-566.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food chemistry*, 120(1), 128-133.
- Rojas, J. C., & Salamanca, C. (2018). EFECTO DEL GRADO DE ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES FARMACOTÉCNICAS DE QUITINA EXTRAÍDA DE EXOESQUELETOS DE CAMARONES. *CONSTRUYENDO UN FUTURO SOSTENIBLE*, 25(1), 87.
- Sánchez-Orozco, R., & Vázquez Velázquez, J. (2017). Hidrólisis de residuos de naranja para la obtención de carbohidratos fermentables. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 3(9), 63-70.
- SIAP. (10 de 06 de 2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Cierre de la producción agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Torres J., D., Morales V., S. P., & Quintero D., J. C. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 733-743.
- Ulloa-Leitón, A., Álvarez-Sánchez, M. E., García-Osorio, C., Gavi-Reyes, F., & Maldonado-Torres, R. (2021). GLÓQUIDAS DEL FRUTO DE *Opuntia albicarpa* SCHEINVAR Y SU HIDRÓLISIS PARA USO POTENCIAL AGRONÓMICO. *Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 201-209.

- Vidaurre-Ruiz, J. M., Días-Rojas, G., Mendoza-Llamo, E., & Solano-Cornejo, M. Á. (2017). Variación del contenido de Betalaínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 319-330.
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food chemistry*, 95(2), 319-327.

VII. OLIGOSACARINAS ENDÓGENAS COMO BIOESTIMULADORES DE MORFOGÉNESIS, RENDIMIENTO Y CALIDAD EN CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.), CEBOLLA (*Allium cepa* L.) Y JITOMATE (*Solanum lycopersicum*)

ENDOGENOUS OLIGOSACCHARINS AS BIOSTIMULATORS OF MORPHOGENESIS, YIELD AND QUALITY IN PUMPKIN (*Cucurbita pepo* L.), ONION (*Allium cepa* L.) AND TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

V. M. Marín-Campos¹, M. E. Álvarez-Sánchez^{1*}, R. Maldonado-Torres¹, F. Ramírez-Pérez², R. M. López-Romero³

¹ Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Suelos, Chapingo, Estado de México, México. ² UACH, Departamento de Fitotecnia, Chapingo, Estado de México, México. ³ Colegio de Postgraduados (CP), Posgrado en Edafología, Montecillo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (edna_alvarez30@yahoo.com.mx)

RESUMEN

Las oligosacarinas son consideradas como una nueva jerarquía de hormonas que ejercen un efecto directo sobre la planta a nivel extracelular. Estos componentes endógenos son hormonas multifuncionales en el metabolismo de la planta que depende de la composición de la oligosacarina, la concentración aplicada, etapa fenológica y genotipo. Con la finalidad de dar valor agregado a un subproducto del beneficiado de la tuna que actualmente se desecha en bolsas plásticas contribuyendo al impacto ambiental negativo, en la presente investigación se evaluó la acción de oligosacarinas endógenas extraídas de glóquidas como bioestimuladores de morfogénesis, rendimiento y calidad en jitomate Rio Grande (*Solanum lycopersicum*), calabaza Grey Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) y cebolla Crystal White Wax (*Allium cepa* L.). Dosis de 0 hasta 20 mL·L⁻¹ de extracto de glóquidas y un testigo comercial (Full Size Ápice) fueron aplicados foliarmente a los cultivos a los 30, 45 y 60 días después de la siembra. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos según la dosis, el parámetro evaluado y la especie vegetal. En calabaza Grey Zucchini la dosis de 5 mL·L⁻¹ de extracto estimuló mayor rendimiento de flores (18.18 g·planta⁻¹) y área foliar (103.23 cm²); la dosis de 20 mL·L⁻¹ produjo más biomasa radical (1.09 g); en tanto que el testigo Full Size (1.25 mL·L⁻¹) la mayor altura (99.13 cm). En cebolla Crystal White Wax la dosis de 2 mL·L⁻¹ de extracto incrementó la

longitud del tallo (51.52 cm) y número de brotes (6.38); la dosis de 3 mL·L⁻¹ provocó más biomasa radical (0.088 g), follaje (1.87 g), biomasa total (1.96 g) y diámetro del tallo (4.90 mm). El mejor rendimiento (26.85 g), diámetro (16.03 cm) y biomasa de bulbo (2.66 g) de cebollita se alcanzó con 10 mL·L⁻¹ de extracto. En jitomate Rio Grande la dosis de 2 mL·L⁻¹ y 3 mL·L⁻¹ de extracto se situaron como las de mayor impacto sobre el diámetro basal con 6.27 y 6.00 mm, y apical con 3.89 y 3.63 mm, respectivamente. Los resultados de este estudio comparados con los valores reportados para productos comerciales de oligosacarinas indican que el subproducto del beneficiado de la tuna que actualmente se desecha tiene buen potencial de uso agrónomico.

Palabras clave: bioestimuladores, oligosacarinas endógenas.

SUMMARY

Oligosaccharins are considered as a new hierarchy of phytohormones that exert a direct action on the plant at extracellular level. These endogenous components are multifunctional hormones in the metabolism of the plant that depends of oligosaccharin composition, applied concentration, phenological stage and genotype. The purpose of to give added value to a by-product of benefited of the prickly pear that is currently discarded in plastic bags contributing to negative environmental impact, in the present research was evaluated the action of endogenous oligosaccharins extracted from glochids as biostimulators of morphogenesis, performance and quality in tomato

Rio Grande (*Solanum lycopersicum*), pumpkin Grey Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) and onion Crystal White Wax (*Allium cepa* L.). Doses of 0 to 20 mL·L⁻¹ of glochids extract and a commercial control (Full Size Apice) were applied foliarly to the crops at 30, 45 and 60 days after planting. The results showed significant differences ($P \leq 0.05$) between the treatments according to the dose, the parameter evaluated and the plant species. In Grey Zucchini squash the dose of 5 mL·L⁻¹ of extract stimulated higher flower yield (18.18 g·plant⁻¹) and leaf area (103.23 cm²); dose of 20 mL·L⁻¹ produced more radical biomass (1.09 g); while the Full Size control (1.25 mL·L⁻¹) the highest height (99.13 cm). In Crystal White Wax onion, the dose of 2 mL·L⁻¹ of extract increased the length of the stem (51.52 cm) and number of shoots (6.38); dose of 3 mL·L⁻¹ caused more radical biomass (0.088 g), foliage (1.87 g), total biomass (1.96 g) and stem diameter (4.90 mm). The best yield (26.85 g), diameter (16.03 cm) and bulb biomasa (2.66 g) of chives reached with 10 mL·L⁻¹ of extract. In tomato Rio Grande the dose of 2 mL·L⁻¹ and 3 mL·L⁻¹ of extract were the greatest impacted on the basal diameter with 6.27 and 6.00 mm, and apical with 3.89 and 3.63 mm, respectively. Results of this study compared to the values reported for commercial oligosaccharins products indicated that the benefited of by-product of prickly pear that is currently discarded has good potential for agronomic use.

Index words: oligosaccharins, biostimulator.

INTRODUCCIÓN

Las oligosacarinas se definen de acuerdo a Falcon et al. (2015) como los componentes polisacáridos y glicoproteicos de las paredes celulares γ que a bajas concentraciones ejercen un efecto directo sobre la planta por ser importantes señalizadores extracelulares (Selivanov et al., 2008), por ejemplo, en la estimulación de defensas en respuesta a una infección o como una alteración en el crecimiento y desarrollo de ésta.

Las oligosacarinas se dividen en dos grupos: endógenas y exógenas. Entre las endógenas las más conocidas son los Oligogalacturónidos (OGP) y los Xiloglucanos (OGX). Los OGP se localizan en la fracción péctica que constituye la pared celular de las células y que son liberados por acción metabólica de la planta o por un ataque de organismos fitopatógenos. Los polímeros de Xiloglucanos son los principales polisacáridos hemicelulósicos que componen la pared celular primaria de las plantas, el rompimiento de las cadenas de estos polímeros por hidrólisis química o

enzimática libera al medio de reacción, oligosacáridos de xiloglucanos con actividad biológica en plantas, tales como el crecimiento y elongación celular (Falcon et al., 2015). Las exógenas impactan principalmente en la inhibición de ataques por hongos fitopatógenos y modificando el metabolismo de la planta.

Las principales funciones de las oligosacarinas endógenas fueron descritas por Reyes-Pérez et al. (2020) cuyos estudios previos demostraron que los OGP pueden ser competitivos con el ácido indolacético (AIA) generando un antagonismo a nivel de membrana celular en los sitios de interacción con auxinas. Van et al. (1985) reconocieron la capacidad de las oligosacarinas para regular la morfogénesis en explantes de variedades de tabaco y se hizo evidente que estos fragmentos son reguladores in situ al igual que la manera convencional con auxinas y citoquininas (Nhut et al., 2001). En conjunto a lo anterior, se demostró que la elongación producida por ácido giberélico (AG₃) no se ve inhibida por los OGP en hipocótilos de lechuga. También se encontró que los OGP pueden estimular la síntesis de etileno en frutos de uva y mejorar la coloración de éstos (Acosta et al., 2018). En resumen, los OGP pueden reemplazar parcial o totalmente a los fitorreguladores convencionales (auxinas, giberelinas, citoquininas y etileno).

De acuerdo a la funcionalidad de las oligosacarinas y los nuevos retos en la producción de alimentos, Soriano-Melgar et al. (2020) mencionan que el empleo de oligosacarinas contribuye a mitigar el impacto ambiental; esto se debe a que disminuyen la cantidad de agroquímicos utilizados para el control de enfermedades fúngicas, los cuales, aparte de generar residuos sólidos por los envases desechados, también contaminan químicamente por sus compuestos de alta residualidad en productos vegetales, suelos, acuíferos y a la salud humana (Ornelas et al., 2020). Dado lo anterior, se puede esperar que en los próximos años incremente el uso de las oligosacarinas como una alternativa para reducir el consumo excesivo de agroquímicos y mantener la inocuidad de los alimentos.

En la actualidad existen pocos productos comerciales formulados con altas concentraciones de oligosacarinas, uno de ellos es Pectimorf® (58-61 % de ácido galacturónico) con oligosacáridos derivados de pectina cítrica, el cual en previas investigaciones indujo efectos positivos en el crecimiento, rendimiento y calidad de cultivos agrícolas (Falcón et al., 2015).

Marin-Campos et al. (2021) encontraron que las glóquidas de tuna tienen potencial como fuente de oligosacáridos pécticos, y por tanto ejercer un efecto fitorregulador sobre las plantas, lo que podría ser una alternativa de uso para este subproducto de difícil degradación y que actualmente se desecha, lo que podría contribuir al modelo de economía circular (Ochoa-Meza et al., 2021) del sistema de producción tunero.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la acción de oligosacarinas endógenas extraídas de glóquidas de tuna mediante aplicaciones foliares como bioestimuladores de morfogénesis, crecimiento y calidad en jitomate (*Solanum lycopersicum*), calabaza (*Cucurbita pepo* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de tratamientos

Se evaluaron los siguientes tratamientos: 0 (testigo sin bioestimulante), 2 mL·L⁻¹, 3 mL·L⁻¹, 5 mL·L⁻¹, 10 mL·L⁻¹, 20 mL·L⁻¹ de extracto de glóquidas y 1.25 mL·L⁻¹ del testigo comercial Full Size Ápice (40000 mg·kg⁻¹ giberelinas, 2000 mg·kg⁻¹ citoquininas y 5 % aminoácidos). La unidad experimental del jitomate y calabaza consistió en macetas con capacidad de 4 L conteniendo una planta, en tanto que la de cebolla, de dos plantas. Los tratamientos se distribuyeron en un arreglo de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. En las tres especies vegetales se efectuaron aplicaciones foliares de los tratamientos a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds) ajustando el pH del agua a 5.8.

Aislamiento de los extractos bioestimulantes

Las oligosacarinas se aislaron y cuantificaron de los extractos pécticos de glóquidas de tuna mediante la metodología de Marin-Campos et al. (2021) y Aviña et al. (2016). Las concentraciones de oligosacarinas (Cuadro 1) presentes en las diluciones aplicadas a las plantas se determinaron como ácido galacturónico (A-

GAL) por el método de Aviña et al. (2016).

Material vegetal y su manejo agronómico

Se emplearon semillas (Seminis®) de jitomate Río Grande (*Solanum lycopersicum*), calabaza Grey Zuchinni (*Cucurbita pepo* L.) y cebolla Crystal White Wax (*Allium cepa* L.). Las plantas para los dos primeros cultivos se desarrollaron en bolsas de polietileno con capacidad para 4 L de sustrato mezcla de tierra de monte, tezontle y tetetzile (50:30:20) y una mezcla de turba de musgo con perlita (50:50) en envases de 2L para cebolla. Los sustratos presentaron un pH de 3.45 y 6.32 con una CE de 0.27 y 0.34 ds·m⁻¹ para las mezclas 50:30:20 y 50:50 respectivamente. El experimento se condujo en condiciones controladas en invernadero en el periodo de abril a septiembre del año 2021. La nutrición y el riego se aplicaron manualmente manteniendo un 80 % de humedad aprovechable (w/w) que incluyó el lavado del sustrato una vez por semana. La nutrición constó de una solución nutritiva balanceada compuesta por 150 g Nutre A (Ápice Agro®), 150 g Nutre B (Ápice Agro®) y 2 g de Nutre flor (Ápice agro®) por cada 100 L de agua, dosificada a una vez por semana en la etapa de crecimiento (primeras 4 semanas), y diariamente en las etapas de floración y fructificación. El control de plagas y enfermedades se realizó con oportunidad.

Parámetros morfológicos

En calabaza se evaluaron las variables altura y diámetro apical. Para la cebolla se midió la longitud del tallo principal, diámetro del cuello del tallo y el número total de brotes de pseudotallos. En jitomate se midió altura, diámetro basal y apical, además, se contó el número de flores por planta.

Biomasa vegetal

En cada planta de las tres especies se midió biomasa aérea, radicular, bulbo y total de acuerdo a la metodología de Soriano-Melgar et al. (2020). Se segmentó la planta en radícula, tallo o bulbo, y

follaje. Posteriormente, se colocó cada parte de la planta en bolsas de papel dentro de una estufa a una temperatura de 60 °C hasta obtener peso constante. Finalmente, se realizó el pesado en una balanza de precisión.

Área foliar y rendimiento en calabaza

Para la medición del área foliar se empleó la metodología de Martin et al. (2020), para lo cual se colectaron cinco hojas maduras fisiológicamente por planta. Las hojas se colocaron dentro de un scanner conectado a un equipo de cómputo. Se hizo el escaneo de las hojas colocando una línea de un centímetro como referencia en cada imagen. El procesamiento de las imágenes para la obtención del área se realizó mediante el software de libre acceso ImageJ.

Para el rendimiento se colectaron las inflorescencias masculinas y se hizo el pesado acumulado en fresco. La cosecha inició a los 43 dds y finalizó a los 84 dds.

Rendimiento y calidad en cebolla

Se determinó el rendimiento, los bulbos se cosecharon a los 130 dds y se pesaron en fresco. Para la calidad de los bulbos se midió el diámetro ecuatorial con un vernier (NMX-FF-021-SCFI-2003).

Rendimiento y calidad en jitomate

La cosecha se realizó en el momento que los frutos de los primeros tres racimos presentaron madurez comercial con tonalidad roja bajo el supuesto de León (2001), ya que éstos aportan hasta el 50 % de la cosecha obtenida. El rendimiento se consideró como el peso acumulado de los frutos en fresco.

La calidad incluyó las variables acidez titulable (AT) y grados brix. La primera se cuantificó por el método propuesto por Figueroa-Cares et al. (2018), para lo cual se colectaron tres frutos por unidad experimental. Se exprimió el fruto muestreado y la pulpa se colocó en tubos de ensayo. Alícuotas de

extracto se diluyeron en proporción 1:10 con agua destilada. A la dilución se le adicionó 2 gotas de fenolftaleína (1 %) y se tituló con hidróxido de sodio (0.1 N) hasta formar un complejo colorido rojo-violeta. Para el cálculo de la AT en % de ácido cítrico se empleó la siguiente fórmula:

$$B = \frac{(V)(N)(Me)(100)}{A}$$

Dónde:

B= Porcentaje de ácido cítrico (%). A= volumen de la alícuota (mL). N= Normalidad del NaOH. V= Volumen total de NaOH empleado (mL) y Me= Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción.

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron conforme a la metodología de Figueroa-Cares et al. (2018), consistente en una gota de la pulpa del fruto y se colocó en un refractómetro digital portátil HI (Hanna, Romania). Los resultados se expresaron como °Brix.

Análisis estadístico

Las variables que comprenden a los parámetros morfológicos, rendimiento, biomasa y área foliar en calabaza se sometieron a análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$), mientras que para las variables medidas en cebolla y jitomate se empleó la prueba de medias LSD ($P \leq 0.05$). Los resultados estadísticos se obtuvieron con el programa INFOSTAT versión 2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros en calabaza Grey Zucchini

De acuerdo con el Cuadro 1, las plantas de calabaza mostraron cambios significativos ($P \leq 0.05$) en los parámetros morfológicos, altura y diámetro apical, resaltando al tratamiento 7 (1.25 mL·L⁻¹ de Full Size) como el que manifestó mayor altura promedio (99.13 cm) pero, que al mismo tiempo obtuvo el valor

más bajo (4.61 mm) en diámetro apical. Este efecto del producto es debido a que al contenido de ácido giberélico que estimula la actividad de los meristemas como lo reporta Rodrigues et al. (2012) en haba y Rogach et al. (2016) en papa, efecto que comienza principalmente con el meristemo apical (Rogach et al., 2020). En conjunto a lo anterior, los resultados muestran que conforme aumentaron las dosis de oligosacarinas el diámetro apical disminuía en comparación del testigo (producto comercial) pero, las alturas de los tratamientos con oligosacarinas se mantenían cercanas a este mismo, lo que podría indicar inducción de la elongación de las células, pero no de su multiplicación (Hernandez et al., 2015).

Las oligosacarinas no indujeron efectos significativos ($P > 0.05$) en la producción de biomasa aérea y la biomasa total, sin embargo, estimularon el desarrollo radical conforme aumentó su concentración, siendo el tratamiento 6 (1.90 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) el que promovió el más alto desarrollo. Este

efecto morfogénético inducido por las oligosacarinas ha sido reportado por distintos autores para diferentes cultivos. Razón por la que son utilizadas en procesos de enraizado y cultivo de tejidos a pesar de ser competitivas con compuestos auxínicos (Reyes-Pérez et al., 2021).

En cuanto a área foliar la dosis con 0.69 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL (tratamiento 4) promovió significativamente ($P \leq 0.05$) el mayor desarrollo (103.23 cm^2) en comparación del testigo comercial (tratamiento 7) con solo 45.09 cm^2 . Estos resultados coinciden con los publicados por Acosta et al. (2018) para frijol (*Phaseolus vulgaris*) y soya (*Glycine max*), en los cuales las oligosacarinas incrementaron el desarrollo foliar. Rogach et al. (2020) afirman que el área foliar es uno de los principales indicadores que afectan el rendimiento del cultivo, por lo que, las oligosacarinas pueden potencializar la producción agrícola.

Cuadro 2. Parámetros morfológicos, biomasa y rendimiento de flor de calabaza Grey Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) tratados con diferentes dosis de oligosacarinas y Full Size.

No. Tratamiento	Dosis de oligosacarinas ^z ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Morfología		Biomasa			Área Foliar (cm^2)	Flores		
		Altura (cm)	Diámetro Apical (mm)	Aérea (g)	Radical (g)	Total (g)		No. Flores	Peso Promedio (g-flor ⁻¹)	Rendimiento Total (g-planta ⁻¹)
1	0.0	24.11 b ± 2.56	8.81 a ± 0.31	3.91 a ± 1.27	0.35 b ± 0.14	4.26 a ± 1.37	79.10 ab ± 10.25	9.50 a ± 1.28	1.30 ab ± 0.20	12.63 ab ± 3.26
2	0.45 \pm 0.03	22.63 b ± 3.07	8.18 a ± 0.17	4.66 a ± 0.82	0.54 ab ± 0.17	5.20 a ± 0.89	96.94 a ± 19.43	11.50 a ± 3.87	1.45 a ± 0.09	16.89 ab ± 6.29
3	0.53 \pm 0.07	22.25 b ± 1.19	8.07 a ± 0.79	4.49 a ± 0.79	0.58 ab ± 0.38	5.07 a ± 0.98	80.05 ab ± 15.06	10.25 a ± 2.99	1.39 ab ± 0.17	14.54 ab ± 5.57
4	0.69 \pm 0.14	25.25 b ± 4.21	7.50 a ± 2.06	6.03 a ± 3.33	0.67 ab ± 0.63	6.70 a ± 3.96	103.23 a ± 35.70	11.25 a ± 2.22	1.63 a ± 0.48	18.18 a ± 5.16
5	1.10 \pm 0.08	22.63 b ± 2.10	7.26 a ± 0.47	4.75 a ± 0.32	0.69 ab ± 0.32	5.44 a ± 0.49	85.26 a ± 8.69	10.00 a ± 3.37	1.48 a ± 0.12	14.65 ab ± 4.64
6	1.90 \pm 0.12	23.72 b ± 2.43	6.81 a ± 0.78	4.89 a ± 1.24	1.09 a ± 0.36	5.98 a ± 1.76	73.62 ab ± 12.39	9.75 a 2.40	1.46 a ± 0.16	14.68 ab ± 3.97
7	ND	99.13 a ± 26.06	4.61 b ± 0.44	4.85 a ± 0.75	0.38 b ± 0.29	5.22 a ± 1.04	45.09 b ± 11.56	10.75 a 7.50	1.00 b ± 0.05	10.74 b ± 7.44
<i>P-value</i>		<.0001	0.0002	0.3796	0.2330	0.4915	0.0049	0.0650	0.0046	<.0001
<i>DMS^y</i>		23.82	2.02	3.35	0.86	4.15	39.05	6.82	0.44	6.66
<i>CV (%)</i>		29.77	11.81	29.90	59.99	32.98	20.77	27.94	13.63	19.50

Resultados presentados como el valor promedio \pm error estándar (n = 4). Medias con letras iguales no son estadísticamente significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). ²Las dosis de oligosacarinas se presentaron como el promedio equivalente a ácido galacturónico \pm error estándar (n = 3). ³DMS = Diferencia Mínima Significativa. ND= No determinado.

El tratamiento 4 ($0.69 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) tuvo el mayor peso promedio unitario y rendimiento total de flores masculinas con 1.63 y 18.18 g respectivamente. De acuerdo a Larskaya & Gorshkova (2015) mencionan que la aplicación de 0.5 a $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de oligosacarinas estimula una mejor formación de flores, sin embargo, este efecto no se reflejó en la cantidad de inflorescencias producidas por las plantas de calabaza, para los tratamientos aplicados. Si bien la comercialización de la flor de calabaza se realiza por lo general en manojos o por unidades (Lara-Cortés et al., 2013), el rendimiento puede ser un buen indicador de que las oligosacarinas endógenas mejoran la floración.

Los resultados anteriores confirman que las

oligosacarinas estimulan el desarrollo de esta variedad de calabaza en los componentes de biomasa radical, área foliar y rendimiento de flores. Sin embargo, deja la pauta a que se realicen futuras investigaciones con variedades enfocadas a la producción de flores masculinas, ya que, la variedad Grey Zuchinni va dirigida a la producción de frutos.

Parámetros en cebolla Crystal White

Las oligosacarinas afectaron significativamente ($P \leq 0.05$) el desarrollo morfológico, de calidad bulbo y biomasa de la cebolla (Cuadro 2).

Cuadro 3. Parámetros morfológicos, biomasa y rendimiento de cebolla cambray Crystal White Wax (*Allium cepa* L.) tratados con diferentes dosis de oligosacarinas y Full Size.

No. Tratamiento	Dosis de oligosacarinas ² ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Morfología			Biomasa				Bulbo	
		Longitud (cm)	Diámetro Tallo (mm)	No. Brotes	Follaje (g)	Bulbo (g)	Radical (g)	Total (g)	Diámetro Ecuatorial (mm)	Peso fresco (g)
1	0.0	44.69b \pm 3.13	3.78 b \pm 0.46	4.25 b \pm 0.96	0.90 c \pm 0.11	1.18 bc \pm 0.24	0.033 b \pm 0.005	0.93 b \pm 0.11	13.24 ab \pm 2.81	16.14 b \pm 2.18
2	0.45 ± 0.03	51.52a \pm 4.63	4.65 a \pm 0.60	6.38 a \pm 0.98	1.75 ab \pm 0.08	0.54 c \pm 0.13	0.053 ab \pm 0.002	1.80 a \pm 0.08	11.60 ab \pm 3.70	26.74 a \pm 1.37
3	0.53 ± 0.07	50.19ab \pm 4.43	4.90 a \pm 0.19	6.13 ab \pm 0.69	1.87 a \pm 0.08	0.40 c \pm 0.14	0.088 a \pm 0.009	1.96 a \pm 0.07	8.39 b \pm 2.39	20.66 ab \pm 1.19
4	0.69 ± 0.14	49.58ab \pm 5.65	4.49 ab \pm 0.56	5.71 ab \pm 1.25	1.43 abc \pm 0.18	0.78 c \pm 0.39	0.055 ab \pm 0.009	1.48 ab \pm 0.18	11.23 ab \pm 2.91	21.28 ab \pm 2.60
5	1.10 ± 0.08	47.81ab \pm 3.66	4.49 ab \pm 0.24	4.75 ab \pm 1.26	1.12 bc \pm 0.13	2.66 a \pm 0.70	0.035 b \pm 0.005	1.15 ab \pm 0.13	16.03 a \pm 3.34	26.85 a \pm 2.10
6	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	46.06 ab \pm 4.06	4.17 ab \pm 1.02	5.75 ab \pm 2.60	1.16 bc \pm 0.18	2.18 ab \pm 0.69	0.043 b \pm 0.006	1.20 ab \pm 0.18	14.86 a \pm 4.88	20.08 ab \pm 2.67

<i>P-value</i>	0.3584	0.1720	0.2597	0.2033	0.0330	0.5013	0.1889	0.0920	0.1977
<i>DMS^y</i>	6.61	0.85	2.08	0.65	1.34	0.04	0.68	5.05	7.84
<i>CV</i>	9.07	12.73	25.09	22.53	74.45	34.49	21.98	26.66	19.57

Valores representados como el promedio \pm error estándar (n = 4). Medias con letras iguales no son estadísticamente significativas (LSD, $P \leq 0.05$). ^zLas dosis de oligosacarinas se presentaron como el promedio equivalente a ácido galacturónico \pm error estándar (n = 3). ^yDMS = Diferencia Mínima Significativa. ND = No determinado.

La longitud máxima del tallo (51.52 cm) y el mayor número de brotes (6.38) se alcanzaron con el tratamiento 2 (0.45 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) situándose por encima de los obtenidos por el testigo comercial (46.06 cm y 5.75 brotes) y del testigo sin oligosacarinas (44.69 cm y 4.25 brotes). Las oligosacarinas tuvieron mayor efectividad sobre el diámetro del cuello del tallo, sobresaliendo el tratamiento 3 (0.53 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) con 4.90 mm en comparación con el producto Full Size (4.17 mm) y el testigo (3.78 mm). Estas respuestas coinciden con los descritos para lechuga (*Lactuca sativa* L.) donde la dosis de 1.5 $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ de oligosacarinas promovió un mayor desarrollo en longitud, ancho y número de hojas; esto debido a que las oligosacarinas modificaron la tasa fotosintética que impactó en mayor altura y grosor de los tallos (Hernandez et al., 2015).

Para las variables ganancia de biomasa como follaje, raíz y total, se observó que todos los tratamientos ejercieron un incremento significativo ($P \leq 0.05$) con respecto al testigo; siendo el tratamiento 3 (0.53 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) el que produjo mejor biomasa en las variables mencionadas con 1.87, 0.088 y 1.96 g respectivamente. De acuerdo con Hernandez et al. (2015) esta respuesta es notoria debido a que las

oligosacarinas optimizan el proceso metabólico de asimilación de macro y micronutrientes e intensifican el desarrollo vegetativo, promoviendo una mejor ganancia de biomasa vegetal.

La mayor biomasa del bulbo se logró mediante la concentración más alta de oligosacarinas (1.10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) con 2.66 g y le siguió el tratamiento de producto comercial Full Size (1.25 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) con 2.18 g. Esta variable se incrementó conforme aumentó la dosis de oligosacarinas, pero, en las dosis bajas (T2 y T3) deprimieron la producción de biomasa y diámetro ecuatorial del bulbo, lo que indica la posibilidad de que a bajas concentraciones de este extracto induce el crecimiento de las células y no la multiplicación de éstas (Hernandez et al., 2015), lo que repercutió la inhibición de síntesis de auxinas (González-Pérez et al., 2012).

El rendimiento de bulbo de cebollita cambray respondió significativamente a los tratamientos aplicados, resaltando la concentración 0.45 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL (T2) que lo incrementó en 60 con respecto al testigo y en 25 % a comparación de Full Size. Los resultados se asemejan a los publicados por Alarcón-Zayas et al. (2018) con la dosis de 1.3 $\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Enerplant® (producto comercial de oligosacarinas)

Cuadro 4. Parámetros morfológicos, biomasa y rendimiento de jitomate Rio Grande (*Solanum lycopersicum*) tratados con diferentes dosis de oligosacarinas y Full Size.

No. Tratamiento	Dosis de oligosacarinas ^z ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Morfología			Biomasa				Rendimiento Promedio ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	Calidad de fruto		
		Altura (cm)	Diámetro basal del tallo (mm)	Diámetro apical (mm)	Aérea (g)	Tallo (g)	Radical (g)	Total (g)		°Brix	Acidez titulable (%)	Diámetro ecuatorial (mm)
1	0.0	97.13 a ± 5.27	5.46 ab ± 0.31	3.02 c ± 0.25	16.72 a ± 2.70	5.66 a ± 1.60	5.71 a ± 0.42	22.38 a ± 3.88	458.9 a ± 215.69	7.8 a ± 0.58	1.38 a ± 0.24	35.45 a ± 5.82
2	0.45 \pm 0.03	86.00 a ± 14.09	6.27 a ± 0.47	3.63 abc ± 0.25	16.76 a ± 3.38	6.86 a ± 2.74	5.98 a ± 1.79	23.62 a ± 5.60	498.4 a ± 51.40	7.9 a ± 0.36	1.04 a ± 0.13	35.20 a ± 3.29

3	0.53 ± 0.07	85.75 a ±21.61	6.00 ab ±0.40	3.89 a ±0.47	13.35 a ±4.11	6.95 a ±5.50	6.09 a ±1.25	20.31 a ±8.63	549.8 a ±31.59	8.0 a ±0.77	0.96 a ±0.48	34.99 a ±4.29
4	0.69 ± 0.14	85.25 a ±27.86	5.86 ab ±0.51	3.74 ab ±0.21	12.32 a ±4.19	4.11 a ±1.52	5.46 a ±1.14	16.43 a ±5.71	527.1 a ±155.92	6.9 a ±1.24	1.02 a ±0.42	34.86 a ±1.65
5	1.10 ± 0.08	89.50 a ±10.02	5.52 ab ±0.56	3.17 bc ±0.26	13.57 a ±2.41	4.60 a ±1.07	4.28 a ±0.83	18.17 a ±3.24	487.1 a ±68.53	7.6 a ±0.98	1.05 a ±0.31	36.60 a ±4.72
6	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	102.00 a ±6.38	5.15 b ±0.49	3.14 bc ±0.24	13.68 a ±4.00	7.60 a ±4.47	5.20 a ±1.47	21.28 a ±8.31	356.7 a ±17.09	8.2 a ±0.34	1.52 a ±0.16	32.43 a ±3.26
<i>P-value</i>		0.3818	0.0155	0.0066	0.3219	0.1690	0.6144	0.3300	0.6831	0.3354	0.2066	0.0336
<i>DMS^y</i>		23.33	0.61	0.44	6.81	4.26	3.09	8.73	225.95	1.19	0.48	4.61
<i>CV</i>		17.02	7.05	8.42	23.74	47.38	23.18	28.43	25.89	10.24	27.64	7.26

Valores representados como el promedio ± error estándar (n = 4). Medias con letras iguales no son estadísticamente significativas (LSD, $P \leq 0.05$). ²Las dosis de oligosacarinas se presentaron como el promedio equivalente a ácido galacturónico ± error estándar (n = 3). ^yDMS = Diferencia Mínima Significativa. ND = No determinado.

donde hubo incrementos de hasta el 57 % del rendimiento de bulbos de cebolla.

El diámetro ecuatorial de los bulbos fue significativamente superior con el tratamiento 5 ($1.10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL) con un diámetro promedio de 16.03 mm con respecto al testigo (T1). Estos resultados son congruentes a los señalados por Alarcón-Zayas et al. (2018) con la aplicación foliar de Enerplant®, el cual, estimuló mayores diámetros axiales y ecuatoriales de bulbos en cebolla. No hubo diferencias significativas entre el T5 con el testigo comercial Full Size (T7) con 14.86 mm.

Una tendencia que se observó con las variables longitud del tallo y número de brotes fue que conforme aumentaban las dosis de oligosacarinas decrecían los valores de éstos. Este comportamiento se explica partiendo de que las oligosacarinas al igual que los brasinoesteroides, jasmonatos y otros bioestimulantes del crecimiento vegetal en concentraciones bajas e intermedias, favorecen la actividad fisiológica, pero, a concentraciones elevadas producen efectos antagónicos e inhibitorios en los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta (Alarcón-Zayas et al., 2018).

En resumen, se confirma que las oligosacarinas ejercen una respuesta positiva sobre la morfología, crecimiento, rendimiento y calidad de bulbos en cebolla cambray para la variedad Crystal White Wax, efecto que depende de la concentración aplicada. Se recomienda realizar futuras pruebas con variedades

enfocadas a la producción de cebollín.

Parámetros en jitomate Río Grande

Las oligosacarinas ejercieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) en este cultivo únicamente en los parámetros morfológicos (diámetro basal y apical) (Cuadro 3). La dosis baja de oligosacarinas ($0.45 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL, T2) estimuló el mejor desarrollo del diámetro basal (6.27 mm) del tallo con respecto al testigo (T1) con 5.46 mm y al comercial (T7) con 5.15 mm, aunque, solo fue significativo con este último, es importante resaltar que conforme aumentó la concentración de oligosacarinas tendió a disminuir el diámetro basal. Para el diámetro apical, la dosis intermedia ($0.53 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL, T3) promovió el mayor diámetro apical (3.89 mm) con respecto al testigo (T1) (3.02 mm) y el comercial (T7) (3.14 mm). Estos resultados indican que aplicaciones foliares de oligosacarinas superiores a $0.54 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ A-GAL podrían actuar como agentes anti auxínicos, es decir, bloquean a los receptores de auxinas en la membrana celular en decremento del grosor de los tallos principales de las plantas y, como indican Rogach et al. (2020) en la inducción de raíces laterales.

En estudios con oligosacarinas en variedades híbridas del tipo bola EF163 (Asgrow), se encontraron aumentos significantes en rendimiento, acidez titulable y °Brix con 22 %, 0.06 % y 0.67

respectivamente (García et al., 2009). Esto puede ser indicativo de que el genotipo es otro factor de sensibilidad al efecto de las oligosacarinas. Los resultados mostraron que las dosis de oligosacarinas ejercieron una respuesta anti auxínica en la variedad de jitomate Río Grande, aunque, se recomienda realizar ensayos con variedades híbridas que son más sensibles en mostrar respuesta en los componentes de rendimiento y calidad del fruto.

Estudios previos han demostrado que la morfogénesis se puede alcanzar mediante reguladores del crecimiento exógenos como auxinas, citoquininas, giberelinas y antigiberelinas. Sin embargo, las oligosacarinas han mostrado un efecto similar a estos, ya que, son transportadas a través del apoplasto y no se absorben del todo por la célula actuando a nivel membrana y pared celular, manifestando modificaciones en tejidos ajenos donde se aplicaron o sintetizaron (Larskaya & Gorshkova, 2015). La aceleración o inhibición de procesos de crecimiento por influencia de reguladores del crecimiento provocan cambios en estructura, tamaño y funcionamiento de órganos vegetativos y generativos (Rogach et al., 2016).

De acuerdo con Rogach et al. (2020) el ácido giberélico (AG₃) ejerce un aumento en el tamaño lineal de brotes y en la ganancia de biomasa en raíz, tallo y hojas, correlacionado con la activación de promotores endógenos de este compuesto y de ácido indol-3-acético (AIA) en tallos y hojas, mejorando los procesos de crecimiento y diferenciación. En esta investigación se demostró que en cebolla y calabaza se cumplen los supuestos de morfogénesis en los tratamientos con Full Size, ya que, estimuló una ganancia de altura, brotes, biomasa foliar y elongación celular. Por otro lado, las oligosacarinas también propiciaron un efecto similar, inclusive mejorando el área foliar, indicativo de que se promovió la activación endógena de AG₃ y ABA.

Las auxinas como AIA e IBA promueven el alargamiento primario de la raíz, pero generalmente desaceleran la producción de la raíz lateral, aunque esto va a depender de la especie vegetal (González-Pérez et al., 2012). Los resultados evidenciaron que los cultivos de calabaza y cebolla desarrollaron mayor biomasa radical en los tratamientos de oligosacarinas en la que se observó mayor desarrollo de raíz primaria y no de la secundaria, debido a la eliminación de la fase G1 durante la rizogénesis como se ha reportado

en *Arabidopsis spp.* y tabaco Spdc25 (González-Pérez et al., 2012); además, Van et al. (1985) encontraron que los efectos morfogenéticos desaparecen cuando la concentración es demasiado alta o demasiado baja. Los efectos resultantes en cebolla y una posible tendencia en jitomate evidenciaron que al aumentar la dosis de oligosacarinas, se comenzaba a inhibir la formación radical, tanto primaria como secundaria.

En las variables previamente descritas (biomasa radical, longitud o altura en cebolla y jitomate) que se acoplaban al efecto de inhibición del crecimiento conforme aumentaban las dosis de oligosacarinas, se reflejó un efecto de arrosamiento con la posibilidad de que se manifestaran homológicamente como antigiberelinas, ya que, como informan Rogach et al. (2020) estos compuestos generan inhibición sobre el contenido endógeno de AG₃ y AIA en tallos y hojas, incrementando la síntesis de ácido abscísico (ABA); por lo que, el crecimiento del tallo y la altura se retrasó, pero la ramificación y el peso de todos los órganos vegetativos aumentaron.

Los resultados obtenidos proporcionan un nuevo enfoque práctico de las oligosacarinas endógenas para inducir cambios morfológicos, aumentar la calidad y el rendimiento en los cultivos de cebolla, calabaza y en otras variedades de jitomate, aportando un nuevo uso agronómico a las glóquidas de tuna como fuente de oligosacarinas. Esta investigación aporta bases relacionadas con los mecanismos fisiológicos para incursionar en otras áreas productivas como la ornamental y cultivos de tejidos, en las que podría haber beneficios con el uso de estos reguladores.

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación mostraron el contenido de ácido galacturónico en el extracto de glóquidas a las concentraciones ensayadas actúa como bioestimulante foliar en el desarrollo, rendimiento y calidad de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum*). Los efectos significativos positivos del ácido galacturónico se manifestaron en el rendimiento de flores de calabaza, área foliar, biomasa radical y crecimiento en altura de la variedad Grey Zucchini; en cebolla longitud

de tallo, número de brotes, biomasa radical, follaje, diámetro del tallo y biomasa de bulbos; en jitomate en diámetro basal y apical. La magnitud del efecto dependió de la dosis, parámetro evaluado y la especie de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

El posgrado del Departamento de Suelos y los autores agradecen la beca otorgada por el CONACYT. La Universidad Autónoma Chapingo (UACH) agradece al primer autor por concluir sus estudios y la presente investigación; asimismo, se extiende el reconocimiento al posgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados por su colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, D. L., Menéndez, D. C., & Rodríguez, A. F. (2018). Los oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 127-134.
- Alarcón-Zayas, A., Muñoz-Arias, O., Viltres-Rodríguez, R., Boicet-Fabré, T., & González-Gómez, G. (2018). Efecto de Enerplant® en el rendimiento y calidad de la cebolla. *Centro Agrícola*, 45(2), 12-20.
- Aviña G., I., Contreras M., C. S., Corona J., E., & Carranza C., J. (2016). Determinación De Pectina Total (Acido Galacturónico) En Pepino De Tipo Holandes. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 348-352.
- Falcón R., A. B., Costales M., D., González-Peña F., D., & Nápoles G., M. C. (2015). Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Cultivos Tropicales*, 36, 111-129.
- Figueroa-Cares, I. E., Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Valle-Guadarrama, S. (2018). Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 35(1), 63-84.
- García S., M. L., Martínez J., V., Avendaño L., A. N., Padilla S., M. C., & Izquierdo O., H. (2009). Acción de oligosacáridos en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 295-301.
- González-Pérez, L., Vázquez-Glaría, A., Perrotta, L., Acosta, A., Scriven, S. A., Herbert, R., . . . Rogers, H. J. (2012). Oligosaccharins and Pectimorf® stimulate root elongation and shorten the cell cycle in higher plants. *Plant Growth Regulation*, 68(2), 211-221.
- Hernandez, M. B., García, M. A., Masjuan, Y. G., & Bertot, I. J. (2015). Respuesta agronómica del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Black Seed Simpson ante la aplicación de bioestimulante Enerplant. *Centro Agrícola*, 42(3), 53-57.
- Lara-Cortés, E., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparicio, A., & Bautista-Baños, S. (2013). Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(3), 197-208.
- Larskaya, I. A., & Gorshkova, T. A. (2015). Plant oligosaccharides – outsiders among elicitors? *Biochemistry (Moscow)*, 80(7), 881-900.
- Marín-Campos, V. M., Álvarez-Sánchez, M. E., Maldonado-Torres, R., López-Romero, R. M., & García-Orsorio, C. (2021). PROPIEDADES FITOQUÍMICAS DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA (*Opuntia albicarpa* SCHEINVAR) Y SU POTENCIAL USO AGRONÓMICO. Texcoco, Estado de México, México: Tesis de maestría. Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo.
- Martin, T. N., Fipke, G. M., Winck, J. E., & Marchese, J. A. (2020). Software Imagej como método alternativo para a estimação da área foliar em aveia. *Acta Agronômica*, 69(3), 162-169.
- Nhut, D. T., Van Le, B., & Van, K. T. (2001). Manipulation of the morphogenetic pathways of *Lilium longiflorum* transverse thin cell layer explants by auxin and cytokinin. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 37(1), 44-49.
- NMX-FF-021-SCFI-2003. (05 de noviembre de 2021). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cebolla (Allium Cepa L.)*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana: <https://www.yumpu.com/es/document/read/51379210/nmx-ff-021-scfi-2003-productos-alimenticios-no>
- Ochoa-Meza, L. C., Quintana-Obregón, E. A., Vargas-Arispuro, I., Falcón-Rodríguez, A. B., Aispuro-Hernández, E., Virgen-Ortiz, J. J., & Martínez-Téllez, M. Á. (2021). Oligosaccharins as Elicitors of Defense Responses in Wheat. *Polymers*, 13(18), 1-17.
- Ornelas, R., Reyes, G. D., Rincón, M. V., & Carmona, A. (2020). La sustentabilidad y la ética ambiental en México como herramientas para disminuir los efectos de plaguicidas en el medio ambiente y en la salud. *Revista Inclusiones*, 7(Especial), 477-492.

- Reyes-Pérez, J. J., Ramos-Remache, R. A., Llerena-Ramos, L. T., Ramírez-Arrebato, M. Á., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2021). Potencialidades de oligogalacturónidos y quitosacáridos en el enraizamiento de las plantas. *Terra Latinoamericana*, 31(e846), 1-9.
- Rodrigues, C., Vandenberghe, L. P., de Oliveira, J., & Soccol, C. R. (2012). New perspectives of gibberellic acid production: a review. *Critical reviews in biotechnology*, 32(3), 263-273.
- Rogach, V. V., Poprotska, I. V., & Kuryata, V. G. (2016). Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato. *Biosystems Diversity*, 24(2), 416-420.
- Rogach, V. V., Voytenko, L. V., Shcherbatiuk, M. M., Kosakivska, I. V., & Rogach, T. I. (2020). Morphogenesis, pigment content, phytohormones and productivity of eggplants under the action of gibberellin and tebuconazole. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(1), 116-122.
- Selivanov, N. Y., Sorokina, I. V., Selivanova, O. G., Sokolov, O. I., & Ignatov, V. V. (2008). Investigation of enzymatic degradation of pectin polysaccharides under limiting conditions. *Biochemistry (moscow)*, 73(1), 80-86.
- Soriano-Melgar, L. D., Izquierdo-Oviedo, H., Saucedo-Espinosa, Y. A., & Cárdenas-Flores, A. (2020). Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre la calidad y capacidad antioxidante de frutos de calabacita (*Cucurbita pepo* L. var. 'Grey Zucchini'). *Terra Latinoamericana*, 38(1), 17-28.
- Van, K. T., Toubart, P., Cousson, A., Darvill, A. G., Gollin, D. J., Chelf, P., & Albersheim, P. (1985). Manipulation of the morphogenetic pathways of tobacco explants by oligosaccharins. *Nature*, 314(6012), 615-617.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Se concluye que las glóquidas de tuna pueden aportar una cantidad considerable de propiedades fitoquímicas. El subproducto derivado del beneficiado de las tunas presenta compuestos fitoquímicos expresados como betalainas totales, flavonoides totales, fenoles totales en cantidades de 18.4 ± 3.3 , 107.1 ± 8.2 , 419.1 ± 47.6 y 128.7 ± 26.7 $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente. Lo que les confiere buen potencial para uso nutracéutico; así como bioestimulante de cultivos agrícolas por la pectina total aportada.

Las oligosacarinas derivadas de las glóquidas de tuna actuaron como bioestimulante foliar en el desarrollo, rendimiento y calidad de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum*). Los efectos significativos positivos del ácido galacturónico se manifestaron en el rendimiento de flores de calabaza, área foliar, biomasa radical y crecimiento en altura de la variedad Grey Zucchini; en cebolla Crystal White en la longitud de tallo, número de brotes, biomasa radical, follaje, diámetro del tallo y biomasa de bulbos; en jitomate Rio grande en el diámetro basal y apical. La magnitud y sensibilidad de la planta a la acción morfogénica dependió de la concentración de oligosacarinas y el genotipo de ésta.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (Segunda ed.). Barcelona, España: Mcgraw-HILL Interamericana de España.
- Barceló Coll, J., Nicolás Rodrigo, G., Sabater García, B., & Sánchez Tamés, R. (2009). *Fisiología Vegetal* (Primera ed.). Madrid, España: Pirámide.
- Bautista Diaz, V. (2018). *OLIGOSACARINAS (OLIGOSACÁRIDOS) Producción química y aplicación a los cultivos vegetales* (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Autores de Argentina.
- Cooper, M., Goldstein, J., & Tarlton, T. (2013). *Strength Testing and Material Characterization of Cactus Spines*. California, USA: Degree Bachelor of Science. Faculty of the Materials Engineering Department. California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- de la Paz, N., Pérez, D., Fernández, M., López, O. D., Nogueira, A., Paneque, M. R., . . . García, C. M. (2013). Evaluación viscosimétrica del quitosano derivado de la quitina de langosta. *Revista Iberoamericana de Polímero*, 14(2), 84-91.
- Domínguez-García, I. A., Granados-sánchez, M. R., Sagarnaga-villegas, L. M., & María, J. (2017). Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec , Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1371-1382.
- Enríquez-Guevara, E., Aispuro-Hernández, E., Vargas-Arispuro, I., & Martínez-Téllez, M. (2010). Oligosacarinas Derivadas de Pared Celular: Actividad Biológica y Participación en la Respuesta de Defensa de Plantas. *REVISTA MEXICANA DE FITOPATOLOGÍA*, 28(2), 144-155.
- Falcón Rodríguez, A., Costales Menéndez, D., Peña Fundora, D., & Nápoles García, M. (2015). NUEVOS PRODUCTOS NATURALES PARA LA

AGRICULTURA: LAS OLIGOSACARINAS. *Cultivos Tropicales*, 36(especial), 111-129.

Gindl-Altmutter, W., & Jozef, K. (2012). The structure and mechanical properties of spines from the cactus. *Bioresources*, 7(1), 1232–1237.

Inglese, P. (2020). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Roma, Italia: ICARDA.

Lara A., D., Costales M., D., & Falcón R., A. (2018). Los oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 127-134.

López-Martínez, A., Bolio-López, G., Veleza, L., Solórzano-Valencia, M., Acosta-Tejada, G., Hernández-Villegas, M., . . . Córdova-Sánchez, S. (2016). OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*, 9(7), 41-45.

Malainine, M. E., Dufresne, A., Dupeyre, D., Mahrouz, M., Vuong, R., & Vignon, M. R. (2003). Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. *Carbohydrate Polymers*, 51, 77-83.

Martinez, J., Stewart, T., & Szeto, P. (2017). *THE RELATIONSHIP BETWEEN STRUCTURAL PARAMETERS AND MECHANICAL PROPERTIES OF CACTUS SPINES*. California, USA: Degree Bachelor of Science. Faculty of the Materials Engineering Department. California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Mompie Jerez, E., Martín Martín, R., Morales Guevara, D., & Reynaldo Escobar, I. (2017). EFECTO DE OLIGOSACARINAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD ROMANO. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 68-74.

Peniche, C., Argüelles, W., Gallardo, A., Elvira, C., & San Roman, J. (2001). Quitosano: Un Polisacárido Natural Biodegradable y Biocompatible con

- Aplicaciones en Biotecnología y Biomedicina. *Revista de Plásticos Modernos*, 81(535), 81-91.
- Pérez-Almeida, I., & Carpita, N. C. (2006). Las B-galactosidasas y la dinámica de la pared celular. *INTERCIENCIA*, 31(7), 476-483.
- Rachel Sarmiento, T. (2012). *Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Agrícola. Tesis Doctoral.
- Rojas, J., Ciro, Y., & Salamanca, C. (2018). EFECTO DEL GRADO DE ACETILACIÓN EN LAS PROPIEDADES FARMACOTÉCNICAS DE QUITINA EXTRAÍDA DE EXOESQUELETOS DE CAMARONES. *Vitae. REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS Y ALIMENTARIAS*, 25(1), 87-89.
- Salazar Iribe, A., & Gamboa de Buen, A. (2013). IMPORTANCIA DE LAS PECTINAS EN LA DINÁMICA DE LA PARED CELULAR DURANTE EL DESARROLLO VEGETAL. *REB*, 32(2), 67-75.
- SIAP. (10 de junio de 2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Cierre de la producción agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Torres J., D., Morales V., S. P., & Quintero D., J. C. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 733-743.
- Ulloa Leitón, A., Álvarez Sánchez, M. E., García Osorio, C., Gavi Reyes, F., & Maldonado Torres, R. (2020). *ESTRUCTURA, MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE GLÓQUIDAS DE TUNA PARA USOS POTENCIALES EN AGRONOMÍA*. Mexico: Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Departamento de Suelos.

- Ulloa-Leitón, A., Álvarez-Sánchez, M. E., García-Osorio, C., Gavi-Reyes, F., & Maldonado-Torres, R. (2021). GLÓQUIDAS DEL FRUTO DE *Opuntia albicarpa* SCHEINVAR Y SU HIDRÓLISIS PARA USO POTENCIAL AGRONÓMICO. *Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 201-209.
- Vignon, M. R., Heux, L., Malainine, M. E., & Mahrouz, M. (2004). Arabinan-cellulose composite in *Opuntia ficus-indica* prickly pear spines. *Carbohydrate Research*, 339, 123-131.