

MUCÍLAGO DE NOPAL Y SU APLICACIÓN EN PROPAGACIÓN *IN VITRO* DE *Ocimum basilicum* L.

[NOPAL MUCILAGE AND ITS APPLICATION TO *IN VITRO* PROPAGATION OF *Ocimum basilicum* L.]

Fabián Cruz-Macias^{1§}, Héctor Silos-Espino², Catarino Perales-Segovia², Juan Florencio Gomez-Leyva³, Arturo Cruz-Vázquez⁴

¹Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes. Av. Universidad No. 1001. Rincón de Romos, Ags. C.P. 20400. Tel. 4659650030. ²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. El Llano Ags., México. C.P. 20330. ³Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tlajomulco Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga Jalisco. C.P. 45640. ⁴Campo Experimental Pabellón, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias. C.P. 20660.

§Autor para correspondencia: (fabian.cruz@utna.edu.mx).

RESUMEN

En México existe una gran diversidad de cactáceas, de estos ejemplares se pueden obtener componentes de interés biotecnológico. El objetivo de este trabajo fue analizar el contenido de mucílago de cuatro genotipos de nopal y conocer su posible aplicación para su uso en micropropagación de plantas. Se colectaron cuatro variedades de nopal de la región de El Llano Aguascalientes en el ciclo primavera-verano 2017. Se encontró que la especie *Opuntia robusta* sobresalió en contenido de mucílago (1.0 l kg⁻¹ de material vegetal), 3.6 °Brix, minerales y microminerales. Posteriormente en una muestra liofilizada de mucílago se encontraron glúcidos como D-glucosa, L-galactosa, D-arabinosa, entre otros. De una muestra de mucílago líquido se obtuvo un destilado por arrastre de vapor, encontrando carbohidratos en cantidades mínimas. Lo anterior infería su aplicación en la micropropagación de plantas por lo que se probó su eficiencia en la albahaca (*Ocimum basilicum*). Se elaboraron medios de cultivo en complemento al MS (1962) y se demostró que el MS al 50% con 30 g l⁻¹ de mucílago y 20 g l⁻¹ de miel de maguey induce el mejor efecto en la germinación, altura, número de hojas y longitud radicular de la planta de albahaca, en comparación con medios tradicionales. De acuerdo a lo anterior, el mucílago de nopal de *O. robusta* puede ser utilizado como suplemento en la propagación de plantas y considerando la bibliografía sobre aplicaciones terapéuticas del nopal, el destilado obtenido del mucílago puede ser una forma segura de obtener componentes que benefician en la salud.

Palabras clave: *Opuntia robusta*, carbohidratos, cultivo *in vitro*, mucílago.

ABSTRACT

Opuntia spp. (nopal) plants are very diverse in Mexico, and it is possible to obtain components of biotechnological interest from these specimens. The study goal was to examine the mucilage of four different nopal genotypes and see whether it would be useful for plant micropropagation. It was discovered that the *Opuntia robusta* species stood out in terms of mucilage content (1.0 l kg⁻¹ of plant matter), 3.6° Brix, minerals, and microminerals when four varieties of *Opuntia* spp. were collected from the region of El Llano Aguascalientes in the spring-summer 2017 cycle. Carbohydrates including D-glucose, L-galactose, and D-arabinose were discovered posteriorly in a freeze-dried mucilage sample. Low levels of carbohydrates were discovered in a steam distillate made from a sample of liquid mucilage. This implied its use in plant micropropagation, hence the effectiveness of it was investigated using basil (*Ocimum basilicum*). A culture medium was created as an addition to MS 1962, it was found that, when compared to conventional media, 50 percent MS with 30 g l⁻¹ of mucilage and 20 g l⁻¹ of maguey honey had the greatest

results for basil plant germination, height, number of leaves, and root length. In light of the foregoing, nopal mucilage from *Opuntia robusta* can be utilized as an additive in plant multiplication, and taking into account the literature on nopal therapeutic uses, the distillate made from the mucilage can be a secure approach to access components that are beneficial to health.

Index words: *Opuntia robusta*, carbohydrates, *in vitro* culture, mucilage.

INTRODUCCIÓN

Los cladodios de nopal contienen una alta concentración de un polisacárido conocido comúnmente como mucílago, está compuesto principalmente por L-arabinosa, D-galactosa, D-xilosa, L-ramnosa y ácido galacturónico. Estructuralmente, tiene la cualidad de formar geles en presencia de agua gracias a su alto contenido de β -glucanos, por lo cual ha sido utilizado como recubrimiento comestible para aumentar la vida de anaquel de diversos productos alimenticios (Nicanor-Bernardino *et al.*, 2018). Entre sus propiedades reológicas destaca su comportamiento similar al de un pseudo plástico (Du Toit *et al.*, 2019 b). El mucílago de nopal tiende a modificar cualidades como la viscosidad, elasticidad, textura, además aporta propiedades espesantes (Álvarez *et al.* 2007), por lo que es utilizado como aditivo en la industria alimenticia. La composición química del mucílago de cladodios de nopal tiende a cambiar según las condiciones climáticas y el mes del año en que se cosechan, mostrando una baja en kilo-joules y un mayor contenido de minerales (Du Toit *et al.*, 2019 a). Una característica importante de los hidrocoloides naturales como el mucílago de nopal, es su capacidad de actuar como antioxidante (De Andrade *et al.*, 2021).

Adicionalmente se utiliza como reemplazante de grasas en diversos alimentos, ligante de sabor, controla la cristalización, estabiliza suspensiones, inhibe la sinéresis y crea películas comestibles (Sepúlveda *et al.*, 2006). La gran diversidad de genotipos de nopal en México repercute en diferenciación morfológica y constitución química (Espinoza-Sánchez *et al.*, 2014). La diferenciación entre genotipos incluye generalmente, presencia o ausencia de espinas, tipo de crecimiento, su constitución y su contenido de fibra y mucílago. De este último, por sus propiedades gelificantes y contenido de carbohidratos, surge la idea de aprovecharlo en la micropropagación de plantas. Los diferentes tipos de agentes gelificantes, como el agar, agarosa o alginatos de calcio tienen diferentes respuestas en el cultivo de tejidos vegetales, siendo la consistencia el factor más importante en la preparación de los medios de cultivo (Phillips-Garda, 2019).

El uso de compuestos químicos como fuentes de carbón, agentes gelificantes y suplementos orgánicos e inorgánicos hacen que las técnicas de micropropagación sean costosas, siendo la fuente de sacarosa y el agar los elementos más costosos (Dipak *et al.*, 2018). Las plantas del género *Ocimum* son originarias de regiones tropicales y subtropicales de Asia, África y América Central y del Sur, comprende entre 30 y 160 arbustos anuales y perennes, además su cultivo se realiza principalmente con fines culinarios y medicinales (Bhuvaneshwari *et al.*, 2016). Se ha demostrado que el mucílago de la cáscara de semillas de *Plantago ovata* es efectivo para propagar *in vitro* plantas de jambul (*Syzygium cumini*) y anteras (*Datura inoxia*) (Habibi *et al.*, 2004). Existe una amplia variedad de componentes orgánicos usados en micropropagación como es la goma de guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), planta asiática forrajera que ha sido utilizada como agente gelificante en medios de cultivo *in vitro* y para generar brotes, raíces y callos en diversas especies de plantas como *Linum usitatissimu*, *Brassica juncea*, *Crataeva nurvala*, *Nicotiana tabacum* y *Calliandra tweedii* (Babbar *et al.*, 2005).

También se ha utilizado almidón de maíz (*Zea mays* L.) para cultivo *in vitro* de zanahoria (Henderson-Kinnersley, 1998) y el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para cultivo *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum*). El uso alternativo de gelificantes provenientes de plantas permitió la reducción de costos en papa cultivada en Kenya (Kuria, *et al.*, 2008). La miel de maguey es una fuente orgánica, rica en carbohidratos, vitaminas y minerales, por esta razón es viable su uso en aplicaciones biotecnológicas (Silos *et al.* 2020). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar el contenido de mucílago en cuatro

genotipos de nopal, determinar el de mayor rendimiento, composición química y su potencial en la propagación *in vitro* de albahaca (*Ocimum basilicum*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se colectaron cladodios jóvenes (3 a 4 años de edad) de los genotipos: *Opuntia xocconostle*, *O. hyptiacantha* y *O. ficus indica*, especies reconocidas por su uso hortícola, y *O. robusta* un genotipo silvestre típico de zonas semiáridas de México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento en extracción de mucílago en genotipos de nopal.

Genotipo	Mucílago	
	Nopal (kg)	Cantidad (ml)
<i>O. xocconostle</i>	3	700
<i>O. ficus-indica</i>	3	540
<i>O. hyptiacantha</i>	3	720
<i>O. robusta</i>	3	755

Extracción de mucílago de diferentes genotipos de nopal

Se recolectaron 3 kg de cladodios de nopal y se cortaron en fragmentos de 2 cm³ (aprox.), se sometió a cocción por 20 min a 90 °C. Después, el sobrenadante se filtró en cedazo, se decantó y conservó en refrigeración a 6 °C. Por presentar mejor rendimiento y mayor viscosidad se eligió *O. robusta* para su análisis posterior.

Composición química del mucílago de *O. robusta*

Se obtuvo 1.0 L de muestra, la cual fue liofilizada con un equipo marca OPERON Freeze dryer-FDU, y se obtuvieron 20 gr de mucílago en polvo. Para la determinación de minerales se siguió la técnica descrita por Jara *et al.* (2009), mediante espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian modelo DUO AA 240 FS, con generador de vapor para hidruros y mercurio modelo VGA 77. Para la determinación de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) se hizo la medición en flama de acetileno con óxido nitroso. Para la determinación de Zinc (Zn), se utilizó la muestra hidrolizada diluida y se midió utilizando flama de acetileno. Para el Potasio (K) las muestras se diluyeron en cloruro de litio (LiCl) al 0.216 N, midiéndolos por flama de acetileno.

El equipo fue calibrado antes de cada medición con una curva estándar para cada metal. Para determinación de carbohidratos se siguió la técnica de derivatización descrita por Hemery *et al.* (2011). Una vez derivatizada la muestra se inyectó en un equipo Perkin Elmer Clarus 580, utilizando una columna BD225 (50% cianpropilfenil-dimetilpolisiloxano), diámetro de 0.32 mm, longitud de 30 m y capa interna de 0.15 µm, la temperatura de horno fue de 140 a 230 °C, la de inyección 220 °C y la del detector 260 °C. Se utilizaron estándares externos para la cuantificación de los siguientes carbohidratos: arabinosa, xilosa, ramnosa, galactosa, glucosa y fructosa. Para la cuantificación de celulosa, hemicelulosa y lignina se usó la técnica descrita por (Zhang *et al.*, 2010), donde la muestra es sometida a una extracción de compuestos libre de extraíbles (carbohidratos, grasas etc.), quedando solamente los compuestos de lignina, celulosa y hemicelulosa. Tratamientos específicos posteriores permitieron la estimación de los distintos compuestos. Los resultados se expresan en porcentaje con respecto a la materia libre de extraíbles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química de mucílago de nopal genotipo *O. robusta*.

Componentes	Muestra
Humedad	11.77 ± 0.30
Minerales	
N (%)	3.39 ± 0.10
Ca (%)	1.72 ± 0.03
Se (ppm)	12.35 ± 0.60
P (%)	0.26 ± 0.01
K (ppm)	532.7 ± 0.8
Zn (ppm)	1.29 ± 0.08
Mg (ppm)	117.3 ± 0.02
Cu (ppm)	0.28 ± 0.08
Carbohidratos (%)	
Arabinosa	7.63 ± 0.2
Xilosa	4.24 ± 0.6
Galactosa	17.75 ± 0.7
Glucosa	60.38 ± 0.4
Ramnosa	2.72 ± 0.2
Fructosa	-
Material libre de extraíbles (%)	5.15 ± 0.8
Celulosa	19 ± 0.6
Hemicelulosa	5.67 ± 0.1
Lignina	71.32 ± 1.2

Obtención de un destilado de mucílago y determinación de carbohidratos

Se utilizó un aparato rotatorio de destilación asociado a un baño María, se colocaron 10 l de mucílago de *O. robusta* (3.6 °Brix) en el matraz de evaporación y se agregó 1 ml de antiespumante de silicona, se ajustó la temperatura del baño María a 51 °C y a 65 rpm para mantener el burbujeo de la muestra. Se determinó el contenido de azúcares mediante cromatografía de gases (arabinosa, xilosa, ramnosa, galactosa y glucosa) de acuerdo a la técnica descrita por Hemery *et al.* (2011). Una vez derivatizada la muestra se inyectó en un equipo Perkin Elmer Clarus 580, utilizando una columna BD225 (50% cianopropilfenil-Dimetilpolisiloxano), diámetro de 0.32 µm, longitud de 30 m y capa interna de 0.15 µm. La temperatura de horno fue de 140 a 230 °C, la de inyección 220 °C y la del detector 260 °C. Se utilizaron estándares externos para la cuantificación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Carbohidratos en agua obtenida por arrastre de vapor del mucílago de *O. robusta*.

Muestra	Humedad (%)
Agua de nopal	99.55 ± 0.12
Carbohidratos (%)	
Arabinosa	0.047
Xilosa	0.031
Galactosa	0.115
Glucosa	0.165
Manosa	0.071

Uso del mucílago de nopal como medio de soporte para propagación de albahaca

Para determinar la viabilidad de propagar plantas *in vitro* se elaboraron medios de cultivo, utilizando como medio gelificante principal el mucílago de nopal y tomando como modelo la especie *Ocimum basilicum* (albahaca), como solución nutritiva se utilizó el medio MS, adicionalmente miel de maguey como fuente de carbohidratos en dosis de 15 a 30 g l⁻¹. En un volumen de 800 ml de agua destilada se prepararon medios de cultivo MS Basal Medium w/Vitamins (PhytoTechnology Lab), se añadieron 2 g de carbón activado, los reguladores de crecimiento bencil aminopurina (BAP) y ácido naftalenacético (ANA) a concentraciones de 0.5 a 2.0 mg l⁻¹, pH 5.7, después en algunos tratamientos se agregó agar Plant TC, al realizar la disolución completa de los componentes, se vertió en porciones de 30 ml por frasco y se esterilizó en autoclave durante 25 min a 121 °C. Una vez que se establecieron los medios se sembraron 6 semillas de albahaca por frasco, se incubó a una temperatura de 24 °C. Los datos se tomaron a los 35 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de mucílago de diferentes genotipos de nopal

El genotipo *O. robusta* obtuvo un rendimiento de 755 ml por 3 kg de material vegetal (Figura 1a y Cuadro 1).



Figura 1. Destilado de mucílago *O. robusta* (a) y goma de nopal (b).

Por el contrario del genotipo *O. ficus-indica*, se extrajeron 540 ml por cada kg de cladodios. Gheribi y Khwaldia (2019) realizaron un proceso similar de extracción de mucílago en cladodios de *O. ficus-indica*, a partir de homogenización en agua con licuadora de filtrado; centrífugo, liofilizó, y se obtuvo un contenido de Arabinosa del 67%, Galactosa 6%, Xilosa 20% y Ramnosa 5%, adicionalmente el contenido de Glucosa fue del 5%. En un estudio realizado por Messina *et al.* (2020), se determinó la composición química de *O. ficus-indica* señalando los cambios en el contenido de carbohidratos debido al mes de cosecha, cabe destacar que el mes de octubre presenta la concentración de azúcares más alta, siendo marzo el mes con baja concentración de glúcidos.

Nicanor *et al.* (2013) señalan que la temperatura es un factor importante en los procesos de extracción de mucílago, por encima de los 70 °C el comportamiento del mucílago es estable y obtuvo hasta un 80% en rendimiento de extracción. Sepúlveda *et al.* (2006) reportan en polvo de nopal un contenido del 5.1% de mucílago. Con base en lo anterior, los procesos de extracción utilizados en este trabajo son buenos al no tener que usar agentes químicos que pudieran alterar la naturaleza del mucílago. Para el caso de las variedades *O. xocostle*, *O. hyptiacantha* y *O. ficus-indica* se les añadió 10 ml de agua destilada para que el mucílago no quedara adherido a la superficie del contenedor, mientras que en la variedad *O. robusta* se realizó el mismo procedimiento, pero sin la adición de agua. Por las cualidades y rendimientos en extracción observadas en cada uno de los genotipos, se optó por trabajar con el mucílago de *O. robusta*.

Contenido de minerales y carbohidratos en mucílago de *O. robusta*

El nitrógeno y el calcio en este genotipo son los minerales que se encontraron en mayor proporción, mientras que el potasio y magnesio en menor cantidad (Cuadro 2). En tanto a los carbohidratos se encontró un alto contenido de D-glucosa, en menor porcentaje D-galactosa y L-arabinosa. Otro dato interesante es el alto contenido de lignina, lo cual resulta importante por los diferentes beneficios que puede traer a la industria y medicina por su capacidad antioxidante.

Según Du Toit *et al.* (2018), el contenido de minerales y carbohidratos presentes en el mucílago del género *Opuntia* presenta diferencias según el método de extracción, las condiciones climáticas y el periodo de cosecha. *O. robusta* tiene una variación importante en el contenido de azúcares totales, siendo junio el mes donde se obtiene la mayor concentración (65.8 ± 1.0 g/100 g), en tanto al contenido total de almidones la concentración mayor es en agosto (7.7 ± 1.7 g/100 g). El contenido de minerales es variable y el K es el mineral que se encuentra en mayor proporción en el mucílago (2.0/100 g), de manera significativa; el Mg (2.0 ± 0.1 g/100 g) se encuentra en una baja concentración (Du Toit *et al.*, 2018). Abraján (2008) encontró L-arabinosa (44.54%), 18.16% de galactosa, 23.98% de xilosa, 6.58% de ramnosa y 6.8% de ácido galacturónico. El contenido de K encontrado por Sepúlveda y Sáenz (2003) fue de 1.6 g/100 g. Sepúlveda (2006) menciona que la composición química del mucílago extraído mediante diferentes métodos no presenta diferencias significativas. Las propiedades funcionales están ligadas estrechamente a la composición estructural del mucílago, en *O. ficus-indica* se ha determinado el porcentaje de carbohidratos mediante HPLC-RID, galactosa (40.8%), arabinosa (30.6%) y en menor cantidad xilosa, ramnosa y glucosa (Gherib *et al.* 2018).

Carbohidratos en destilado de mucílago

El proceso para la obtención de un destilado a partir de mucílago de nopal se llevó a cabo en un periodo de 13 h y se obtuvo 1.0 l de agua de nopal cada 110 min. El resultado final del proceso fue una goma con un peso de 680 g y con 41.1 °Brix; en tanto al agua se obtuvo un total de 7.0 l. Trabajos efectuados por Galati *et al.* (2001) muestran efectos benéficos acerca del poder protector de la mucosa gástrica. El mucílago de diversas variedades de nopal tiene propiedades antioxidantes debido a la presencia de polifenoles, lo cual es de gran interés por el efecto benéfico en la salud, como lo es la prevención de inflamación cardiovascular, y algunas enfermedades neurodegenerativas (Messina *et al.*, 2020). Por otro lado, la actividad antiinflamatoria de un extracto obtenido de cladodios de nopal ha sido estudiada por Park *et al.* (2001). Lo anterior nos dirige a proponer el agua del genotipo *O. robusta* como un agente con propiedades terapéuticas importantes, las cuales deben demostrarse en estudios posteriores. El agua obtenida muestra evidencias de carbohidratos tales como arabinosa, glucosa, entre otros (Cuadro 3).

Cuadro 3. Carbohidratos en agua obtenida por arrastre de vapor del mucílago de *O. robusta*.

Muestra	Humedad (%)
Agua de nopal	99.55 ± 0.12
	Carbohidratos (%)
Arabinosa	0.047
Xilosa	0.031
Galactosa	0.115
Glucosa	0.165
Manosa	0.071

Efecto del mucílago de nopal en la propagación *in vitro* de albahaca

La combinación de 30 g l⁻¹ de mucílago con 20 g l⁻¹ de miel de maguey (tratamiento 7) sobresalió con una germinación de 4.91 ± (0.87) de cada seis semillas sembradas por frasco con respecto al testigo (Figura 2b, Cuadro 4).



Figura 2. a. Genotipo de nopal (*O. robusta*) que produce más mucílago. b. plantas de albahaca propagadas con mucílago y miel de maguey (T7) con mejor desarrollo a los 15 días. c. plantas propagadas con medios convencionales (T1) a los 15 días. d. Tratamiento 1 a los 35 días. e. T7 a los 35 días.

Cuadro 4. Efecto del mucílago de nopal en cultivo *in vitro* de plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

No.	Tratamientos			Germinación (No. de semillas)	Hojas/planta (No.)	Longitud de raíz (cm)	Altura de planta (cm)
	MS (%)	Glúcidos (g)	Agar (g)				
1(T)	100	50 ^a	8	4.2 ± 1.03	6.7 ± 0.94	3.03 ± 0.46	5.55 ± 0.89
2(T)	100	50 ^a	8	3.9 ± 1.10	5.5 ± 0.97	2.81 ± 0.38	5.82 ± 0.42
3(T)	100	40 ^a	7	4.3 ± 1.25	6.4 ± 0.84	2.84 ± 0.62	7 ± 1.04
4(T)	100	35 ^a	7	5.1 ± 0.99	6.1 ± 1.19	2.23 ± 0.60	6.94 ± 0.52
5	100	15 ^b	3.5	4.5 ± 1.29	6 ± 0.81	2.55 ± 0.46	7.7 ± 0.48
6	50	25 ^b	3.5	4.6 ± 0.96	5.5 ± 1.35	4.44 ± 0.53	6.97 ± 0.59
7	50	30 ^b 20 ^c	3.5	4.91 ± 0.87	10 ± 1.33	5.65 ± 0.49	9.62 ± 0.63
8	50	30 ^b 25 ^c	3.5	5.16 ± 0.98	9.66 ± 1.36	5.28 ± 0.46	9.75 ± 0.60
9	50	30 ^b 20 ^c	3.5	4.6 ± 0.96	9.6 ± 1.57	5.29 ± 0.79	9.48 ± 0.59
10	50	30 ^b 20 ^c	3.5	4.8 ± 1.03	9.7 ± 3.86	5.62 ± 0.86	9.79 ± 0.77
11	0	30 ^b 20 ^c	3.5	1.8 ± 0.83	2.6 ± 0.54	4 ± 0.4	3.7 ± 0.36
12	50	50 ^d	3.5	5 ± 0.70	4.8 ± 1.30	4.6 ± 0.49	7.5 ± 0.46
13	50	35 ^d 15 ^c	3.5	Brotos	2.9 ± 0.73	1.11 ± 0.40	4.08 ± 0.19

^aSacarosa, ^bMucílago, ^cMiel de maguey, ^dMucílago deshidratado.; T=testigo. Los datos son el promedio de 50 plantas por tratamiento.

En número de hojas se obtuvieron en promedio 10 ± (1.33). En longitud de raíz, la combinación de MS al 50% complementado con 30 g l⁻¹ de mucílago y 20 g l⁻¹ de miel de maguey produjo 5.65 ± (0.49) cm.

Las plantas mostraron un color verde intenso, mayor altura y hojas más grandes en comparación del testigo, el crecimiento fue más rápido y en general tenían gran vigor (Figura 2). Por otro lado, la respuesta morfológica de las plantas en el medio MS (al 100%) usado como testigo, mostró un menor número de hojas, raíces y la altura promedio de la planta fue de $9.62 \pm (0.63)$ cm (Figura 2d). Se realizó un tratamiento (T11) en el cual no se utilizó MS; sin embargo, se aplicó miel de maguey y mucílago de nopal, la respuesta morfológica de las plantas fue muy pobre.

Jabeen *et al.* (2017) observaron que el uso de semillas de *Lallemantia royleana* como agente gelificante en cultivo *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. genera respuestas favorables en la inducción de brotes y de mejor tamaño, formación de raíz, plantas saludables y morfológicamente mejor desarrolladas en comparación con los testigos. Sin embargo, el desarrollo exitoso del proceso de formación de raíces en el cultivo *in vitro* de plantas es fundamental en micropropagación y en la aclimatación *ex vitro*, por lo cual el uso de agar (5 g l^{-1}) con la adición de phytagel (0.2 g l^{-1}) y reguladores de crecimiento tienen una buena respuesta en el crecimiento de plantas de frambuesa (Lebedev *et al.*, 2018). La goma de gellan es un gelificante orgánico obtenido principalmente de almidones de maíz (*Zea mayz* L.), el efecto de este agente gelificante ha sido probado en plantas de flor de piña de otoño (*Eucomis autumnalis*) por Masondo *et al.* (2014); logrando resultados significativos en la generación y formación de brotes comparados con el uso del agar común. Este trabajo complementa la información sobre el uso de agentes alternativos para la propagación de plantas que permita reducir costos y obtener efectos sobresalientes en las plantas micropropagadas.

CONCLUSIONES

El genotipo *O. robusta* fue el que produjo mayor cantidad de mucílago con 1 l por cada 3 kg de material vegetal, destaca el contenido de D-glucosa ($60.38 \pm 0.4\%$), lignina ($71.32 \pm 1.2\%$) y minerales como N ($3.39 \pm 0.10\%$). Su composición indica que es una buena opción para ser utilizado como fuente complementaria en el cultivo *in vitro* de plantas. El destilado obtenido a partir del mucílago de *O. robusta* contiene los mismos carbohidratos presentes en el mucílago, por lo cual, se puede inferir que tiene potencial para uso terapéutico. La implementación de mucílago de *O. robusta* y miel de maguey en medios de cultivo permite producir plantas de albahaca *in vitro*, además de reducir el uso de agares comerciales, sales minerales y sacarosa en hasta un 50%.

LITERATURA CITADA

- Abraján-Villaseñor, M.A. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Álvarez, O.C., S.C. Díaz., V.D. Ramírez y F.J. Yáñez. 2007. Secado por Aspersión de mucílago de nopal. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN. Guanajuato, Gto. pp. 277.
- Babbar, S.B., R. Jain and N. Waliagar. 2005. Gum as a gelling agent for plant tissue culture media. Department of Botany. University of Delhi. Delhi-110007, India.
- Bhuvaneshwari, K., A. Gokulanathan, M. Jayanthi, V. Govindasamy, L. Milella, S. Lee and S. Girija. 2016. Can *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L. *in vitro* culture be a potential source of secondary metabolites? Food Chemistry, 194, 55–60. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.
- De Andrade-Vieira, É., M. Alves-Alcántara, N. Albuquerque-dos Santos, A. Duarte-Gondim, M. Iacomini, C. Mellinger and C.A.M. Tribuzy-de Magalhães. 2021. Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. Food Chemistry, 346, 128892. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128.

- Du Toit, A., M. De Wit and A. Hugo. 2018. Cultivar and harvest month influence the nutrient content of *Opuntia* spp. Cactus Pear Cladode Mucilage Extracts. *Molecules* 2018, 23(4), 916.
- Du Toit, A., M. De Wit, H.J. Fouché, M. Taljaard, S.L. Venter and A. Hugo. 2019. Mucilage powder from cactus pears as functional ingredient: influence of cultivar and harvest month on the physicochemical and technological properties. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-03706-9.
- Du Toit, A., M. De Wit, K.D. Seroto, H.J. Fouché, A. Hugo and S.L. Venter. 2019. Rheological characterization of cactus pear mucilage for application in nutraceutical food products. *Acta Horticulturae*, (1247), 63–72. doi:10.17660/actahortic.2019.1.
- Espinoza-Sánchez E., H. Silos-Espino, S. Flores-Benítez, L.L. Valera-Montero, E. Rodríguez-Salazar, C. Gallegos-Vázquez, F. Guevara-Lara, M González-Chavira y H.S. Guzmán-Maldonado. 2014. Agrupamiento de genotipos de nopal (*Opuntia* spp.) de México por medio de la técnica de AFLPs y características del fruto. *Phyton* 83:299-306.
- Galati, E.M., M.T. Monforte., M.M. Tripodo, A. d'Aquino and M.R. Mondello. 2001. Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Cactaceae: ultrastructural study. *Journal of Ethnopharmacology* 76, 1-9.
- Gheribi, R and K. Khwaldia. 2019. Cactus mucilage for food packaging applications. *Coatings*, 2019, 9, 655; doi:10.3390/coatings9100655.
- Gheribi, R., L. Puchot., P. Verge., N. Jaoued-Grayaa., M. Mezni., Y. Habibi and K. Khwaldia. 2018. Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 190, 204–211. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.085
- Habibi, Y., A. Heyraud., M. Mahrouz and M.R. Vignon. 2004. Structural features of pectic polysaccharides from the skin of *Opuntia ficus indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Research*, 339(6), 1119–1127.
- Hemery, Y., U. Holopainen., A.L. Maija., P. Lehtinen., T. Nurmi., V. Piironen., M. Edelmann and X. Rouau. 2011. Potential of dry fraction of wheat bran of development of food ingredients, part II: Electrostatic separation of particles. *Journal of Cereal Science*. 53:9-18.
- Henderson, W.E. and A.M. Kinnorsley. 1998. Corn starch as an alternative gelling agent for plant tissue culture. *Plant Cell*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Printed in the Netherlands Corn starch. *Tissue and Organ Culture* 15: 17-22.
- Jara-Marini, M.E., M.F. Soto-Jiménez and P. Páez-Osuna. 2009. Trophic relationships and transference of cadmium, copper, lead and zinc in a subtropical coastal lagoon food web from SE Gulf of California, *Chemosphere* 77: 1366-1373.
- Kadam, D., A.A. Chhatre, Shivaji, S. Lavale and N. Brillo. 2018. Low-cost alternatives for conventional tissue culture media. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 7. No. 04(2018).
- Kuria, P., P. Demo, A.B. Nyende and E.M. Kahangi. 2008. *Cassava starch* as an alternative cheap gelling agent for the *in vitro* micro-propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (3), pp. 301-307. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>. Academic Journals.
- Lebedev, V., M. Arkaev., M. Dremova., I. Pozdniakov and K. Shestibratov. 2018. Effects of growth regulators and gelling agents on *ex vitro* rooting of raspberry. *Plants*, 8(1), 3. doi:10.3390/plants8010003.
- Masondo, N.A., A.O. Aremu, J.F. Finnie and J. Van-Staden. 2014. Growth and phytochemical levels in micropropagated *Eucomis autumnalis* subspecies *autumnalis* using different gelling agents, explant source, and plant growth regulators. *in vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 51(1), 102–110. doi:10.1007/s11627-014-9646-9.
- Messina, C.M., R. Arena, M. Morghese, A. Santulli, G. Liguori and P. Inglese. 2020. Seasonal characterization of nutritional and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.] mucilage. *Food Hydrocolloids*, 106398. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.106.

- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497.
- Nicanor-Bernardino A., J.L. Montañez-Soto, E. Conde-Barajas, M.D.L.X. Negrete-Rodríguez, G. Teniente-Martínez, E.A. Vargas-León, J.M.S. Juárez-Goiz, G. Acosta-García and L. González-Cruz. 2018. Spectroscopic and structural analyses of *Opuntia robusta* mucilage and its potential as an edible coating. *Coatings* 2018, 8(12), 466.
- Nicanor-Bernardino, A., E.N. Hinojosa-Hernández, J.M.S. Juárez-Goiz, J.L. Montañez-Soto, M.E. Ramírez-Ortiz and L. González-Cruz. 2013. Quality of *Opuntia robusta* and its use in development of mayonnaise-like product. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 343–350. doi:10.1007/s13197-013-0989-8.
- Park, E.H., J.H. Kahng, S.H. Lee and K.H. Shin. 2001. An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia*; 72:288–90.
- Phillips, G.C and M. Garda. 2019. Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*. doi:10.1007/s11627-019-09983-5.
- Sepúlveda, E., C. Sáenz y C. Gómez. 2003. Comportamiento reológico de néctar elaborado con hidrocoloide de nopal: efecto del tratamiento térmico. En: *Memorias de IX Congreso Nacional y VII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Zacatecas, México. pp. 269-272.
- Sepúlveda, E., C. Sáenz, E. Aliaga and C. Aceituno. 2006. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Dto. de Agroindustria y Enología. Santiago Chile.
- Silos-Espino H., F. Cruz-Macías, A. Reyes-Medina, M. Ortiz-Morales, C. Frausto-Reyes, L.L. Valera-Montero, S. Flores-Benítez, S. Kumar-Kamaraj y C. Perales-Segovia. 2020. Effect of agave sap on *Opuntia* spp. propagation. *Pak. J. Agric. Sci.* 57(6):1689-1695.
- Zhang, A., F. Lu, C. Liu and S. Run-Cang. 2010. Isolation and characterization of lignins from *Eucalyptus tereticornis*, *J. Agric. Food Chem.* 287-293.