

Mucílago de *Opuntia ficus indica* como potencial excipiente natural de productos cosméticos

Mucilage of *Opuntia ficus indica* as natural excipient potential of cosmetic products

Lisi Betiana Diez¹, Cristina Marisel Pérez Zamora^{1,2}, Ariel Germán Michaluk³, María Beatriz Nuñez¹, Carola Analía Torres^{1,2,*}, Ana María Gonzalez⁴

¹Laboratorio de Farmacotecnia y Farmacognosia, Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS), Comandante Fernández N° 755, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco. ²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). ³Laboratorio de Industrias Alimentarias, UNCAUS. ⁴Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE-CONICET), Sargento Juan Bautista Cabral N° 2131, Corrientes.

*carito@uncaus.edu.ar

RESUMEN

El mucílago de *Opuntia* es un fitoingrediente atractivo por su habilidad para retener agua y modificar propiedades como viscosidad, elasticidad y textura. Los objetivos del trabajo fueron evaluar las características fisicoquímicas, la actividad antioxidante y la potencial toxicidad de mucílagos obtenidos de *Opuntia ficus indica* para su posible uso en fitocosmética. Las pencas fueron lavadas, despinadas, cortadas y secadas en estufa hasta peso constante. Para la obtención de los mucílagos, otra porción de las pencas cortadas fue licuada con agua tibia (1:6) y dividida en tres fracciones. La fracción M1 fue macerada en baño termostatzado, la M2 fue sometida a agitación a 6000 rpm, ambos procedimientos se realizaron por 1 h a 80°C, se filtraron y precipitaron con etanol (1:3). La fracción M3 partió de la misma técnica de M1, con una centrifugación previa a la precipitación. Los productos se secaron en estufa a 40 °C, se pulverizaron y caracterizaron por espectroscopía IR. Se cuantificó el contenido de clorofilas y se determinaron los atributos de color (CIELAB). Se calculó la capacidad de retención de agua (CRA) y la solubilidad en distintos sistemas de solventes. Por último, se prepararon suspensiones (1% p/v) para medir pH, actividad secuestrante de radicales libres con DDPH e irritabilidad *in vitro* mediante la técnica HET-CAM. El contenido de agua superó el 90%. Los rendimientos de extracción fueron 1,15% (M1), 1,18 % (M2) y 0,49% (M3). Los espectros IR mostraron bandas típicas de polisacáridos. El contenido de clorofila fue superior en M1, mientras que resultó más bajo en M3. La CRA para los tres mucílagos fue cercana a 1 g/g. M3 mostró mejor solubilidad

en los distintos sistemas solventes. Todos los mucílago presentaron un ángulo de tono (h^*) amarillo-verdoso y alta luminosidad. Los valores de pH de las suspensiones estuvieron entre 5,07 y 6,50. Si bien todos mostraron capacidad antioxidante, M2 presentó la mayor actividad de depuración. Ninguno resultó irritante. La agitación contribuyó a mejorar la actividad antioxidante y la centrifugación previa a la precipitación aumentó la solubilidad. Por lo tanto, en futuras extracciones se implementará una combinación de ambas técnicas.

PALABRAS CLAVE: antioxidante, capacidad de retención de agua, color, espectro IR, formulación, polisacáridos.

ABSTRACT

Opuntia mucilage is an attractive phytoingredient due to its ability to retain water and modify properties such as viscosity, elasticity and texture. The aims of this work were to evaluate the physicochemical characteristics, the antioxidant activity, and the potential toxicity of mucilages obtained from *Opuntia ficus indica* for its possible use in phytocosmetics. The cladodes were washed, de-stoned, cut, and put into a stove to constant weight. To obtain the mucilage, another portion of the cut cladodes was liquefied with warm water (1:6) and divided into three fractions. The M1 fraction was macerated in a thermostatic bath, the M2 was stirred at 6000 rpm, both procedures were performed for 1 h at 80°C, filtered and precipitated with ethanol (1:3). For the M3 fraction the same technique was used as for M1 but with a centrifugation before precipitation. The products were dried in an oven at 40 °C, powdered and characterized by IR spectroscopy. Chlorophyll content was quantified and color attributes (CIELAB) were determined. Water holding capacity (WHC) and solubility in different solvent systems were calculated. Finally, suspensions (1% w/v) were prepared to measure pH, free radical scavenging activity with DDPH, and irritability *in vitro* by HET-CAM method. The water content was over 90%. The extraction yields were 1.15% (M1), 1.18% (M2) and 0.49% (M3). IR spectra showed typical polysaccharide bands. The chlorophyll content was higher in M1, while it was very low in M3. The WHC for the three mucilages was close to 1 g/g. M3 showed better solubility in the different solvent systems. All mucilages had a yellow-green tone angle (h^*) and high brightness. The pH values of the suspensions were between 5.07 and 6.50. Although all showed antioxidant capacity, M2 presented the highest radical scavenging activity. None of them were irritating. Agitation contributed to improve antioxidant activity and centrifugation prior to precipitation increased solubility. Therefore, a combination of both techniques will be implemented in future extractions.

KEY WORDS: antioxidant, water retention capacity, color, IR spectrum, formulation, polysaccharides.

INTRODUCCIÓN

Opuntia ficus-indica (L.) Mill. f. ficus-indica, comúnmente conocida como nopal, es una planta arbustiva perteneciente a la familia Cactaceae. Sus propiedades le son atribuidas desde antes del descubrimiento de nuestro continente, los nativos la usaban como alimento, hierba medicinal, fuente de agua y como barrera o cerca protectora (Ochoa y Barbera, 2018). Es una de las Cactáceas más estudiadas debido a su gran versatilidad de transformación para el consumo humano, su uso como forraje y a sus posibilidades industriales, las cuales hacen aún más interesante su cultivo y explotación.

Los nopales contienen sustancias viscosas generalmente conocidas como mucílago o hidrocoloide, el cual contiene principalmente dos polímeros naturales orgánicos: la amilasa y la amilopectina (Rodríguez Henao, 2017). La primera se encuentra formando una cadena helicoidal que, en solución, tiene la capacidad de formar películas delgadas que al secar presentan alta rigidez (Masschelein-Kleiner, 1995), la amilopectina como todo compuesto de alto peso molecular, presenta viscosidad elevada en estado puro, pero es altamente soluble en agua.

Combinadas y encontrándose en solución acuosa, ambas pueden formar capas con diferentes propiedades mecánicas. El mucílago, en solución acuosa, ofrece características de cohesión, las cuales han sido aprovechadas para unir diferentes materiales (Rodríguez Henao, 2017).

Se conoce que los principales compuestos presentes en el mucílago de *Opuntia ficus indica* son: L-arabinosa (24,6-42%), D-galactosa (21-40,1%), L-ramnosa (7-13,1%), D-xilosa (22-22,2%) y ácido D-galacturónico (8-12,7%) (Martínez, 2010). La proporción de estos monómeros varía según la edad de la planta, las condiciones ambientales del cultivo, el momento del día donde se realiza su recolección y la estructura empleada para la extracción del mucílago pudiendo ser el fruto, la cáscara o el cladodio. Debido a su composición, tiene una gran capacidad para ligar o retener agua, de manera similar a las pectinas, las gomas y algunos polisacáridos de algas. A causa de esta gran capacidad de absorción de agua, el mucílago puede encontrar aplicaciones como aditivo en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, en los que puede disolverse, dispersarse y formar coloides (Del Valle *et al*, 2005; Abraján Villaseñor, 2008).

Teniendo en cuenta las posibles aplicaciones en la industria farmacéutica y cosmética y, con el propósito de revalorizar la flora de la provincia del Chaco (Argentina), los objetivos de este trabajo fueron evaluar las características fisicoquímicas, la actividad antioxidante y la irritabilidad *in vitro* de mucílagos de *Opuntia ficus indica* cultivadas en localidades del sudoeste del Chaco, para una potencial aplicación como fitoingrediente.

MATERIALES Y METODOS

Extracción del mucílago: para la extracción de mucílago se utilizaron los cladodios maduros frescos de plantas de dos años de edad recogidos por la mañana. Después del lavado y despinado, los cladodios frescos se cortaron, se llevaron a una licuadora con un volumen de agua tibia (45 °C) y luego se dividieron en tres fracciones. Las fracciones 1 (M1) y 3 (M3) se colocaron en un baño termostático a 80° C por una hora para la liberación de mucílago en el agua. La fracción 2 (M2) fue sometida a maceración a 80° C pero con agitación constante a 6000 rpm, durante una hora. Posteriormente, los tres macerados se filtraron al vacío, M1 y M2 directamente se concentraron en estufa durante 24 horas a 60 °C, mientras que el filtrado obtenido para M3 fue centrifugado y el

sobrenadante fue llevado a estufa para su concentración. Finalmente, todos los concentrados se trataron con etanol al 96 % para favorecer la precipitación del mucílago, el cual fue separado por centrifugación y secado en estufa para obtener los mucílagos M1, M2 y M3 de cada tratamiento.

Cálculo del rendimiento de extracción: se calculó mediante la relación de los gramos de mucílago obtenidos por cada 100 gramos de cladodios frescos.

Evaluación de la actividad antioxidante: Se utilizó la técnica del radical DPPH°. Previamente, se preparó una suspensión al 1% de cada mucílago en agua y se los mantuvo en agitación durante una hora y media. A 1 ml de la suspensión de mucílago se le adicionó 750 µL de la solución del radical DPPH° (300 mM) y se dejó en incubación durante 2 horas. Finalmente se leyó la absorbancia de cada muestra a 514 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Shimadzu Ultimate 1800). La actividad antioxidante fue expresada como porcentaje (%) de depuración del radical usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de depuración (\%)} = 100 \times \frac{(\text{Absc} - \text{Absm})}{\text{Absc}}$$

Siendo Absc la absorbancia de la solución de DPPH sin antioxidante y Absm la

absorbancia de la solución de DPPH con el mucílago.

Caracterización química de los mucílagos: para identificar los grupos funcionales de los mucílagos extraídos se utilizó la espectroscopía IRTF en el rango de 4000-400 cm^{-1} empleando un espectrómetro Nicolet Summit (Thermo Fisher Scientific, USA).

Determinación de pH: las mediciones fueron realizadas usando un pH-metro digital (Oakland) por inmersión del electrodo en 50 ml de la suspensión de cada mucílago.

Determinación de clorofila: A 0,1 g de muestra de mucílago se le añadió 5 ml de metanol, se homogeneizó y posteriormente se centrifugó durante 25 minutos. Luego se leyó el valor de absorbancia a 663 nm y 646 nm. Los cálculos se realizaron con las fórmulas descritas a continuación:

$$\text{Clorofila a: } Ca = 2,21 A_{663} - 2,81 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b: } Cb = 20,13 A_{646} - 5,03 A_{663}$$

$$\text{Clorofila total: } Ca + Cb$$

Los resultados se expresaron en mg de clorofila por gramo de mucílago.

Determinación del color: los mucílagos deshidratados fueron tratados mecánicamente con un mortero con la

finalidad de reducir el tamaño de sus partículas y homogeneizar el material. La evaluación del color fue realizada utilizando un espectrofotómetro UV-Visible con esfera integradora (EVO600PC, Thermo Fisher Scientific, USA). La escala de color CIELab fue empleada para medir la luminosidad (L^*) y los parámetros cromáticos (a^* y b^*), utilizando un iluminante D_{65} y un ángulo de observación de 10° . Las medidas fueron realizadas por triplicado. El croma (C^*) y el tono (h°) se calcularon a partir de las coordenadas a^* y b^* utilizando un convertidor de parámetros de color en línea (ColorMine.org)

Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA): cada muestra de mucílago (0,5 g) se colocó en un tubo de centrífuga y se registró su peso (tubo + muestra). Se añadieron 50 mL de agua destilada y las suspensiones se mantuvieron a temperatura ambiente durante 1 h con agitación durante 5 segundos cada 15 minutos. Después de 20 minutos de centrifugación a 5000 rpm, se descartó el sobrenadante (líquido no absorbido) y se inclinó el tubo a un ángulo de 45° en un papel de filtro; luego de escurrir durante 30 min se pesó el tubo. La CRA se registró y se calculó como la relación entre el peso del tubo al drenar el

agua no retenida y el peso del tubo con el mucílago seco.

Determinación de la solubilidad: Se trabajó con cuatro sistemas de solventes de uso farmacéutico: agua-etanol (1:1), agua-propilenglicol (2:1), agua-glicerina (2:1) y aceite de almendras. Se pesaron 0,01 gr de cada muestra para 3 ml de cada sistema solvente, se colocaron en tubos de ensayo y se agitaron con agitador Vortex durante 1 minuto, cada 30 minutos, durante 3 h. Se observó el resultado a las 3 y 24 horas. Se seleccionaron estos sistemas porque son componentes que se usan en formulaciones farmacéuticas tópicas.

Determinación de irritabilidad dérmica in vitro para suspensiones de mucílagos de O. ficus indica: Para este ensayo se realizó la prueba de HET-CAM (Harnoss *et al*, 2019). Se utilizaron huevos de gallinas *Gallus gallus domesticus* suministrados por un productor de la localidad de Juan José Castelli (Chaco). Los huevos fueron incubados durante 10 días a 37° C con 65% de humedad y circulación de aire. Al noveno día se controló la viabilidad de los huevos con ayuda del ovoscopio. Pasado este tiempo se procedió a la realización del ensayo usando 200 µl de la suspensión al 1% del mucílago y 200 µl de laurilsulfato de sodio al 1% y polietilenglicol (PEG),

como controles positivos y negativos, respectivamente. Se utilizaron dos huevos para cada uno. Los productos fueron aplicados en la membrana corioalantoidea para evaluar las lesiones de lisis, hemorragia y coagulación, a los 300 segundos. Se halló el potencial de irritación de los tres compuestos aplicando la siguiente fórmula (Inocente Camones *et al*, 2013):

$$I.I. = ((301-TH)/300) \times 5 + ((301- TL)/300) \times 7 + ((301- TC)/300) \times 9$$

Donde:

I.I. = Índice de irritación, TH = Tiempo de aparición de hemorragia, TL = Tiempo de aparición de lisis y TC = Tiempo de aparición de coagulación.

RESULTADOS

El contenido de agua de las pencas superó el 90%. Los rendimientos de extracción en cada caso fueron 1,15% (M1), 1,18 % (M2) y 0,49% (M3).

Los espectros IR se muestran en la Figura 1. Todos mostraron una banda entre 1300 y 1000 cm⁻¹ típica de polisacáridos, y a 890 cm⁻¹ la correspondiente a uniones α-glucosídicas (Cai, 2008). Presentaron también una banda asociada con el estiramiento del carboxilato simétrico y antisimétrico, típico de las sales de ácido carboxílico presentes en los mucílagos comprendida entre 1423 y 1625 cm⁻¹ (Rodríguez-Gonzalez *et al*, 2014).

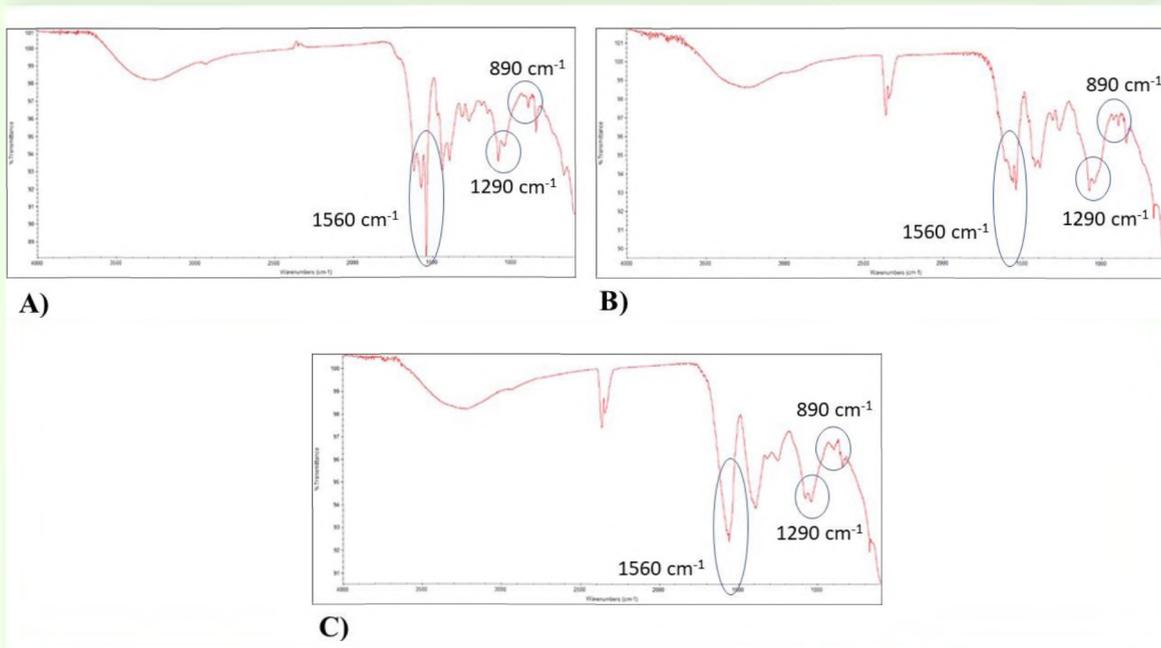


Figura 1. Espectros IR de los mucílago obtenidos A) M1, B) M2 y C) M3.
Figure 1. IR spectra of the mucilages A) M1, B) M2 and C) M3.

El contenido de clorofila fue 58,9 $\mu\text{g/g}$ (M1), 11,58 $\mu\text{g/g}$ (M2) y 5,07 $\mu\text{g/g}$ (M3). Los resultados del análisis de color se muestran en la Figura 2. Los valores de luminosidad L^* mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los mucílago obtenidos. El valor osciló entre 75 y 85, valores que son altos considerando que la escala es de 0 a 100, por lo que los mucílago tienden a ser claros. En lo que concierne al valor de a^* , M1 y M2 tienden al verde, mientras que M3 tiende al rojo. Los tres mucílago

tuvieron un valor de b^* positivo, lo que muestra una tendencia al amarillo. En lo que respecta al ángulo de tono (h^*) M1 y M2 se encontraron en el área correspondiente a los tonos amarillo-verdosos, mientras que M3 mostró un valor en el rango del amarillo-rojizo. El croma representa la saturación relativa de un color y comienza en 0, donde 0 indica color insaturado (matiz) y 100 indica pureza del color (brillo), por lo que M2 resultó ser el más saturado.

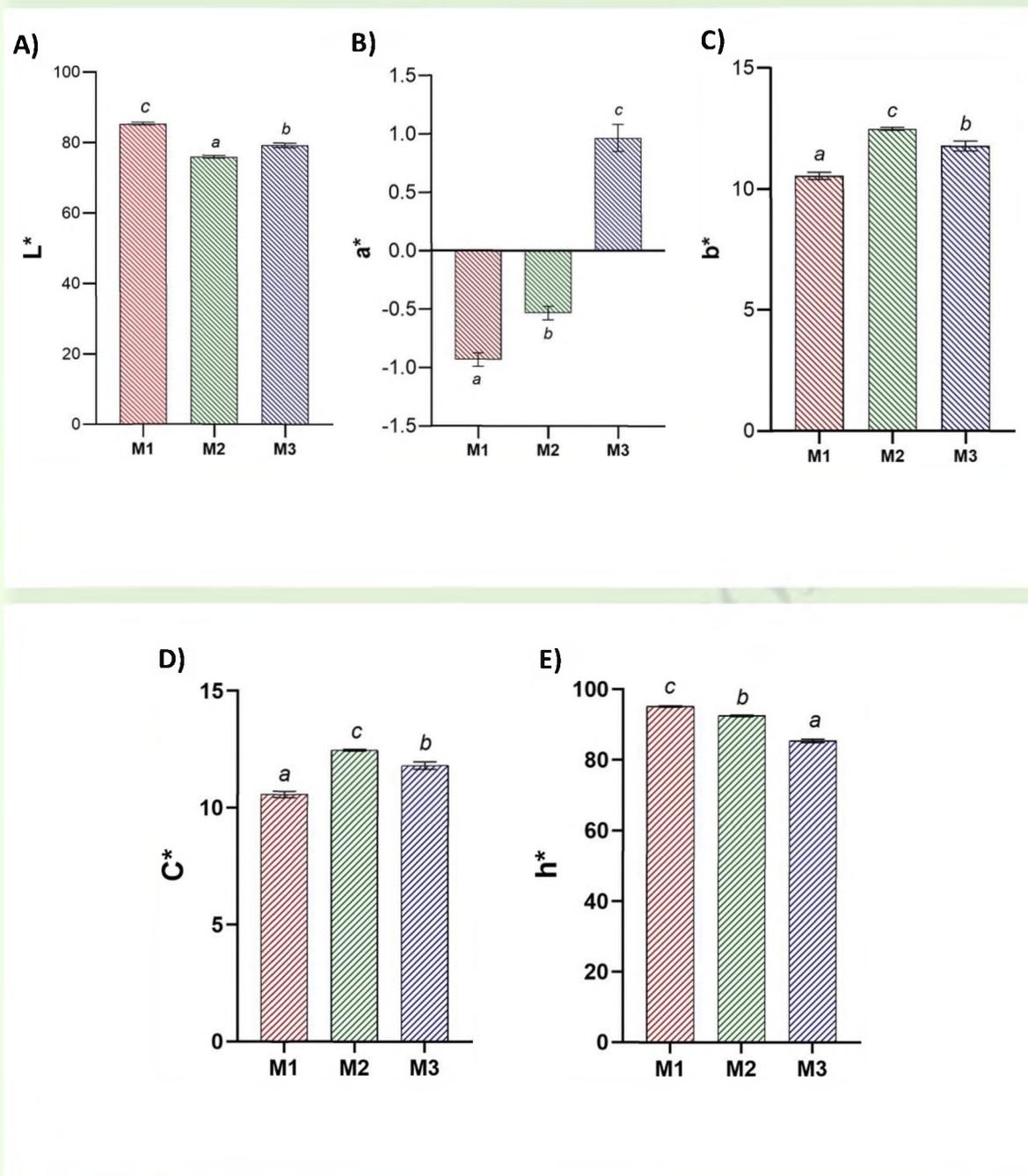


Figura 2. Análisis de color de los mucílago en polvo. A) Luminosidad (L), B) Tendencia al rojo o al verde (a) C) Tendencia al amarillo o al azul (b), D) Tono (h), e) Cromo (C).

Letras iguales indicarían que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figure 2. Colour analysis of powdered mucilages A) Luminosity (L), B) Tendency to red or green (a) C) Tendency to yellow or blue (b), D) Tone (h), e) Chroma (C).

Equal letters would indicate that there are no statistically significant differences ($p < 0.05$).

Los valores de pH de las suspensiones fueron de 5,07 (M1), 6,50 (M2) y 5,55 (M3). Estos resultados muestran que todas las suspensiones son ligeramente ácidas.

En lo que respecta a la actividad atrapadora de radicales libres, los valores se muestran en la Figura 3. Si bien todos mostraron capacidad antioxidante luego

de 2 horas de reacción, M2 presentó la mayor actividad de depuración con un 40,27% a una concentración de 4 mg/ml.

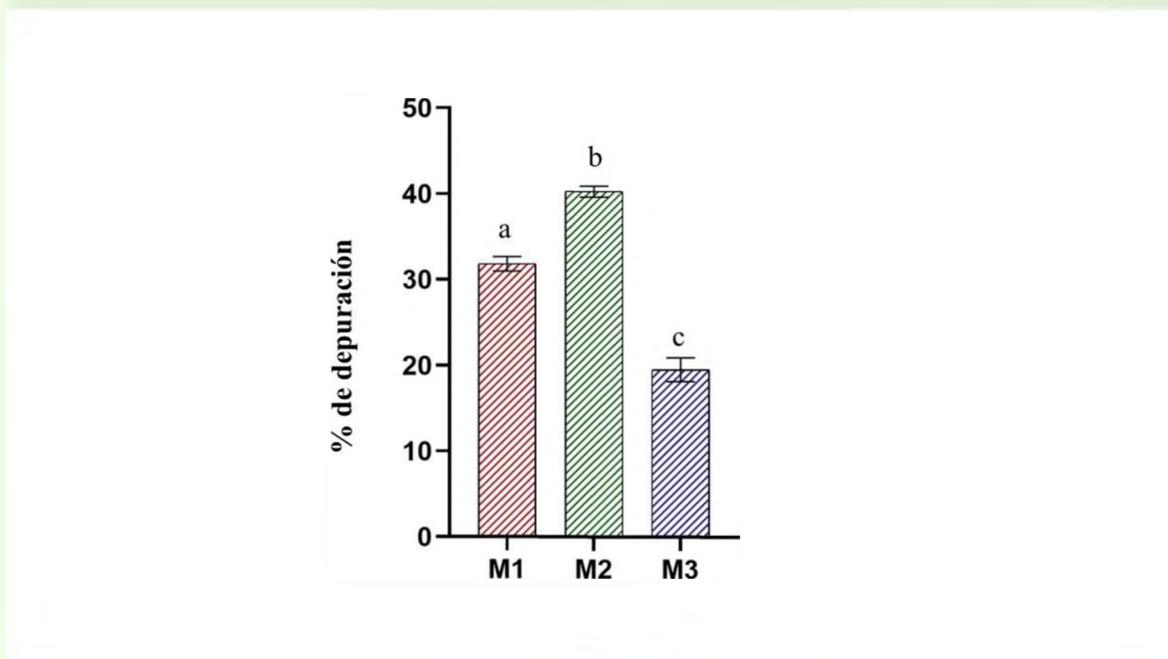


Figura 3. Actividad depuradora del radical DPPH por parte de los tres mucílagos. Letras iguales indicarían que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).
Figure 3. Scavenging activity of the DPPH radical by the three mucilages. Equal letters would indicate that there are no statistically significant differences ($p < 0.05$).

En el análisis de la CRA, los tres mucílagos mostraron un valor cercano a 1 g de agua/g de mucílago seco, siendo para M1 1,04, M2 0,97 y M3 0,99 g de agua/g mucílago.

En la prueba con los sistemas de solventes, M3 mostró mejor solubilidad en todos los sistemas.

En el ensayo HET-CAM como prueba *in vitro* de irritabilidad dérmica, los mucílagos no mostraron signos de lisis, coagulación o hemorragia en el tiempo del ensayo al igual que el PEG usado como

control negativo. El lauril sulfato de sodio, mostró un índice de irritación de 11,09, siendo un irritante severo.

DISCUSION

Los rendimientos de extracción de las fracciones M1 y M2 fueron cercanos al 1,2%, similar al obtenido por Dick *et al* (2019) y mayores a los informados por Espino-Díaz *et al* (2010). Estos valores, expresados con respecto al peso en fresco, resultaron inferiores a los obtenidos por Sepúlveda *et al* (2007), que obtuvieron un

1,5% para el mucilago de *O. ficus indica*. Esta variación observada en los rendimientos puede explicarse tanto por las diferencias relativas al material vegetal utilizado para la extracción (condiciones de cultivo, estado de desarrollo, etc.), condiciones climáticas en el momento de la recogida de los cladodios (invierno, frío y lluvia), así como por el método aplicado para el aislamiento del mucilago (procedimientos de separación, purificación y secado) (Dick *et al*, 2019). Sin embargo, comparando el rendimiento de los tres mucílagos obtenidos en nuestro laboratorio, el porcentaje de extracción de M3 fue mucho menor, probablemente debido a las modificaciones en el proceso de extracción original, el cual evidentemente influye negativamente en el resultado.

El objetivo de modificar el procedimiento original de extracción (M1), fue obtener un producto lo más blanco posible, lo cual se analizó evaluando los parámetros de color de los tres mucílagos. Las hipótesis que se tenían para justificar el aspecto heterogéneo y verdoso del mucilago obtenido por el método tradicional eran que se debía a la presencia de la clorofila o a una oxidación enzimática de los polifenoles presentes en la penca. Por eso se estudió la conveniencia de adicionar algunos pasos más al proceso. Los valores negativos de a^* y los valores positivos de

b^* son característicos del color verde-amarillo debido al contenido de clorofila del mucilago en M1 y M2. Esto se condice con los resultados obtenidos en el contenido de clorofila de los tres mucílagos, donde M1 y M2 fueron los que presentaron mayor cantidad del pigmento verde. Dicha observación nos permite inferir que la incorporación de la centrifugación, como paso previo en la precipitación del mucilago M3, ayuda en la obtención de un polvo más homogéneo, claro y con menor tendencia al verde por la separación de la clorofila del mucilago. Al observar los resultados de la actividad antioxidante, M2 fue el más activo. Esto demuestra que la agitación favorecería la extracción de componentes con actividad antioxidante. Los resultados para este mucilago son cercanos a los obtenidos por Bayar *et al* (2016) quienes obtuvieron 50% de depuración con 4,6 mg/mL de mucilago, pero inferiores a los hallados por Messina *et al* (2020). Estas diferencias podrían deberse a la metodología de extracción usada, la edad de los cladodios y a la época de recolección de los mismos. La actividad secuestradora de radicales libres se da porque los carbohidratos también tienen actividad antioxidante, debido a sus grupos reductores (Kardosová & Machová, 2006), los cuales son capaces de contrarrestar los radicales libres (Salehi *et al*, 2019). Esto también

puede deberse a la composición química de las células mucilaginosas, entre ellas, carotenos y componentes fenólicos. Estos posiblemente tienen un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos que conforman al mucílago de nopal (Luna-Sosa *et al*, 2019; Messina *et al*, 2020). El intento de purificación del mucílago para obtener un polvo más homogéneo influiría negativamente en esta actividad biológica, probablemente por el efecto antioxidante que tiene la clorofila y que podría contribuir potenciando la actividad secuestradora de radicales (Pérez-Gálvez *et al*, 2020).

Como se mencionó al inicio, el mucílago es un polisacárido que contiene una estructura molecular de hasta 30.000 azúcares diferentes, con residuos de arabinosa, galactosa, ácido galacturónico, ramnosa y xilosa (Medina-Torres *et al*, 2006, Ginestra *et al*, 2009). Debido a la alta concentración de grupos hidroxilos, el polisacárido se hidrata formando puentes de hidrógeno, forma una red tridimensional en contacto con el agua, atrapándola y dando lugar a soluciones con alta viscosidad. Esta característica hidrocoloide es tan particular en los mucílagos que posee una medida propia, el Índice de Hinchamiento o CRA, que es usado como referencia para los controles de calidad (Serván Alcántara, 2018). La CRA influye en la formación de

soluciones viscosas que pueden facilitar los procesos industriales. Analizando la CRA, los tres mucílagos mostraron valores menores a los informados por otros autores para otras especies de *Opuntia* (Monrroy *et al*, 2017). La diferencia podría deberse al contenido de oxalato de calcio en los mucílagos. El ión calcio existe en el mucílago del cactus como oxalato de calcio y tiene un fuerte efecto en la conformación molecular que a su vez conduce a una mejora en la capacidad de retención de agua del mucílago (Gebresamuel & Gebre-Mariam, 2012). El contenido de calcio aumenta con la edad de los cladodios (Sepúlveda *et al*, 2007). En este ensayo se usaron cladodios jóvenes, lo cual puede ser la causa de las discrepancias con los otros resultados informados. En próximos estudios se prevé el uso de cladodios con más de 2 años de edad y el análisis del contenido de calcio para mejorar la CRA y tener mayor información de este parámetro.

Cuando los hidrocoloides presentan carga son sensibles a los cambios de pH o a la concentración de electrolitos. En este caso, si el mucílago posee restos de ácido galacturónico, la interacción de los grupos ácidos con las moléculas presentes en el medio podría ser otro factor que afecte la CRA y en consecuencia la solubilidad (Abraján Villaseñor, 2008).

Los resultados de pH ligeramente ácidos coinciden con los encontrados por León-Martínez *et al* (2011). Según el valor hallado por diferentes investigadores, los cladodios se indicaron como un órgano de la planta con pH bajo (Samia El-Safy, 2013). Stintzing & Carle (2005) afirmaron que el jugo de los cladodios tenía típicamente un pH de 4,6. Gebresamuel & Gebre-Mariam (2012) reportaron valores de pH entre 5,57 y 6,43 en diferentes concentraciones (1-12%) de dispersiones del mucílago de *O. ficus indica*. La acidez del mucílago se explicaría por la presencia de ácidos glucurónicos (Vargas Mamani *et al*, 2019). Si bien los valores de pH de las suspensiones de mucílagos fueron ligeramente ácidos resultan aceptables para una formulación cosmética pues los valores son cercanos al pH de la piel (4,5-5,5).

De acuerdo con Vargas Mamani (2019) el mucílago es más soluble en agua y soluciones ácidas débiles, pero en solventes orgánicos y alcoholes provocan deshidratación del mucílago por lo que lo precipitan. Este podría ser el motivo por el cual los mucílagos no se solubilizaron en la mezcla agua-etanol (1:1) y tampoco en aceite de almendras. El mucílago M3 fue el más purificado, presentando mejor solubilidad en los distintos sistemas hidrofílicos evaluados. No alcanzó a solubilizarse completamente, pero se

observó que M3 se hidrató, gelificando y modificando la viscosidad del medio. Este comportamiento coincide con lo expresado en el trabajo de Kalegowda *et al*, (2016), quienes estudiaron el mucílago de *Opuntia dillenii* y encontraron que en agua fría forma soluciones viscosas. La mayoría de los trabajos expresan que los mucílagos en general son solubles en agua caliente (Kalegowda *et al*, 2016; Vargas Mamani, 2019). Posiblemente, haber estudiado la solubilidad a temperatura ambiente (27 °C) haya sido un factor influyente en la limitada solubilidad, a su vez, la presencia de clorofila y otras moléculas pudieron haber afectado la solubilidad de M1 y M2.

En lo que concierne a los resultados del estudio de irritabilidad *in vitro*, la ausencia de signos de hemorragia, lisis y coagulación darían un indicio de la seguridad de los mucílagos como fitoingredientes en formulaciones dermatológicas. Esta propiedad de los mucílagos se suma a su calidad para su uso como excipiente farmacéutico debido a su naturaleza menos ácida (Gebresamuel & Gebre-Mariam, 2012).

CONCLUSIONES

Los tres mucílagos presentaron bandas características en el espectro IR y CRA similares. Los valores de pH fueron aceptables para una formulación

cosmética. La agitación contribuyó a mejorar la actividad antioxidante y la centrifugación previa a la precipitación aumentó la solubilidad. Por lo tanto, en futuras extracciones se implementará una combinación de ambas técnicas para seleccionar la más apropiada.

Los mucílagos son prometedoras matrices naturales biodegradables con aplicaciones útiles en varios campos, especialmente en las industrias farmacéutica y cosmética. Su baja toxicidad y biocompatibilidad ofrecen varias ventajas sobre los

materiales sintéticos. Sin embargo, aún quedan muchos ensayos por realizar para revelar su compleja composición estructural y tener información más amplia para su caracterización como fitoingrediente.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Investigación, Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Chaco Austral (PI 90) y al CONICET. Al Consejo Interuniversitario Nacional por la beca EVC de la señorita L. B. Diez.

BIBLIOGRAFIA

Abraján Villaseñor, M. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España.

Bayar, N., Kriaa, M., Kammoun, R. 2016. Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes. *Int. J. Biol. Macromol.*, **92**: 441-450.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.042>

Cai, W., Gu, X., Tang, J. 2008. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. *Carbohydr Polym.*, **71**: 403-410.

Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., Galotto, M.J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.*, **91**(4): 751-756.

Dick, M., Dal Magro, L., Costa Rodrigues, R., de Oliveira Rios, A., Hickmann Flores, S. 2019.

Valorization of *Opuntia monacantha* (Willd.)

Haw cladodes to obtain a mucilage with hydrocolloid features: physicochemical and functional performance. *Int. J. Biol. Macromol.*, **123**: 900-909.

Espino-Díaz, M., de Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M.A., Santillán, C., Barbosa Cánovas, G.V., Zamudio-Flores, P.B., Olivas, G.I. 2010. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *J. Food Sci.*, **75**: 347-352.

<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01661.x>

Gebresamuel, N., Gebre-Mariam, T. 2012.

Comparative physico-chemical characterization of the mucilage of two cactus pears (*Opuntia* spp.) obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *J. Biomater. Nanobiotechnol.*, **3**: 79-86.

<http://dx.doi.org/10.4236/jbnt.2012.31010>

Ginestra, G., Parker, M.L., Bennett, R.N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Lo Curto, R., Bisignano, G., Faulds, C.B., Waldron, K.W. 2009. Anatomical, Chemical, and

- Biochemical Characterization of Cladodes from Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *J. Agric. Food Chem.* **57**:10323-10330. <https://doi.org/10.1021/jf9022096>
- Harnoss, J.C., Assadian, O., Koburger, T., Dissemond, J. 2019. Irritative potency of selected wound antiseptics in the hen's egg test on chorioallantoic membrane to predict their compatibility to wounds. *Wound Repair Regen.* **27**(2):183-189. <https://doi.org/10.1111/wrr.12689>
- Inocente Camones, M.A., Toscano Guerra, E.M., Castañeda Castañeda, B. 2013. Efecto irritante *in vitro* de formulaciones cosméticas con extracto de camu camu, mediante el método Het Cam. *Horizonte Médico.* **13**(2):12-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371637129003>
- Kalegowda, P., Chauhan, A.S., Mysore, S., Urs, N. 2016. *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydr. Polym.*, **157**: 1057-1064. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.070>
- Kardosová, A., Machová, E. 2006. Antioxidant activity of medicinal plant polysaccharides. *Fitoterapia*, **77**(5): 367-373.
- León-Martínez, F.M., Méndez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J. 2011. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on powder properties and characterization. *Carbohydr. Polym.*, **81**: 864-870.
- Luna-Sosa, B. 2019. Formulación y caracterización de películas comestibles de mucílagos hidropónicos de Nopal (*Opuntia* spp.) sobre manzanas golden (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. San Nicolás de los Garza, México.
- Martínez, R. 2010. Estabilizantes en las industrias lácteas. Recuperado de <https://www.portalechero.com/innovaportal/v/696/1/innova.front/estabilizantes-en-la-industria-lactea-.html>
- Masschelein-Kleiner, L. 1995. Ancient binding media, varnishes and adhesives. 2nd ed. ICCROM, Rome, Italy.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Gómez-Aldapa, C.A., Aragon-Piña, A., Toro-Vazquez, J.F. 2006. Structural characteristics of gels formed by mixtures of carrageenan and mucilage gum from *Opuntia ficus indica*. *Carbohydr. Polym.*, **63**(3): 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.04.022>
- Messina, C.M., Arena, R., Morghese, M., Santulli, A., Liguori, G., Inglese, P. 2020. Seasonal characterization of nutritional and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.] mucilage. *Food Hydrocoll.*, **111**. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106398>
- Monrroy, M., García, E., Ríos, K., García, J. 2017. Extraction and physicochemical characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. *J. Chem.*, article ID 4301901. <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2017/4301901/>
- Ochoa, M.J., Barbera, G. 2018. Historia e importancia agroecológica. En: Inglese P, Mondragon Jacobo C, Nefzaoui A, Sáenz C. Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas Roma. Revista ICARDA. https://agroavances.com/img/publicacion_documento/I7628ES.pdf
- Pérez-Gálvez, A., Viera, I., Roca, M. 2020. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants*, **9**, 505. <https://doi.org/10.3390/antiox9060505>
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H., Chávez-Moreno, C., Macías-Rodríguez, L.,

Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M., Chacón-García, L. 2014. Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *J Food Process. Eng.*, **37**: 285-292.

Rodríguez Henao, Y.C. 2017. Evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*) (Tesis de Grado). Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería. Bogotá, Colombia.

Salehi, E., Emam-Djomeh, Z., Askari, G., Fathi, M. 2019. *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. *Carbohydr. Polym.*, **206**: 565-572.

Samia El-Safy, F. 2013. Evaluation and utilization of cladodes flour in formulating functional sponge cake. *World Appl. Sci. J.*, **27**(4): 512-523. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.04.81117

Sepúlveda, E., Sáenz, E., Aliaga, E., Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.*, **68**(4): 534-545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>

Serván Alcántara, M.A. 2018. Interés Farmacéutico de los Mucílagos (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia. Sevilla, España. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82306/TFG%20terminado.pdf>

Stinzing, F., Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.*, **49**(2): 175-194. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071>

Vargas Mamani, J.J., Vera Vargas, G.V., Suppé Tejada, N.A. 2019. Caracterización fisico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos X del mucílago de cladodios de *Opuntia ficus indica* en la región alta de Tacna. *Rev. Soc. Quím. Perú*, **85**(3).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300003&script=sci_arttext