

infoANALÍTICA

infoANALÍTICA

ISSN: 2602-8344

ISSN: 2477-8788

revistainfoanalitica@gmail.com

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Ecuador

Jiménez-Ramos, Iliana; Bermúdez de Ramírez, Maidys; Rojas
de Gáscue, Blanca; Prin, José Luis; Rojas de Astudillo, Luisa
CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA, MORFOLÓGICA Y POR MICROANÁLISIS
DE LA BIOMASA DE LOS CLADODIOS DE OPUNTIA CARACASANA SALM- DYCK
infoANALÍTICA, vol. 10(1), 2022, pp. 143-154
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Ecuador

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



**CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA,
MORFOLÓGICA Y POR MICROANÁLISIS DE LA BIOMASA
DE LOS CLADODIOS DE *OPUNTIA CARACASANA* SALM-
DYCK**

**SPECTROSCOPIC, MORPHOLOGICAL AND MICROANALYSIS
CHARACTERIZATION OF THE BIOMASS OF *OPUNTIA
CARACASANA* SALM-DYCK CLADODES**

Iliana Jiménez-Ramos^{1*}, Maidys Bermúdez de Ramírez¹, Blanca Rojas de Gáscue², José Luis
Prin² & Luisa Rojas de Astudillo³

Recibido: 4 de noviembre 2021 / Aceptado: 14 de enero 2022

DOI 10.26807/ia.v10i1.227

Palabras clave: biomasa, fibra lignocelulósica, *O. caracasana* Salm-Dyck, pectina.

Keywords: biomass, lignocellulosic fiber, *O. caracasana* Salm-Dyck, pectin.

RESUMEN

En esta investigación se caracterizó espectroscópicamente, morfológicamente y por microanálisis la biomasa seca de los cladodios de la cactácea *Opuntia caracasana* y un material resultante después de su tratamiento con KOH (MVT). Los resultados del análisis por FTIR indicaron que la biomasa seca contiene grupos funcionales que señalan la presencia de lignina, celulosa, hemicelulosa y pectina en los cladodios de la cactácea. Además, en el material tratado con KOH se identificaron señales intensas correspondientes al éter glicosídico de la celulosa presente en la fibra. La morfología de la biomasa seca se determinó mediante Microscopía Electrónica de Barrido acoplado a un detector de Energía Dispersiva de Microanálisis de Rayos X, observándose la presencia de cristales aglomerados en la superficie del material vegetal y en el material MVT se determinó la presencia de cavidades y fibras. Por medio del microanálisis de la biomasa seca, el calcio fue detectado como elemento mayoritario y fue también detectado

¹ Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre "Clodosbaldo Russián", Cumaná, Venezuela. (* correspondencia: jimenez.1809@gmail.com, maidysbdr01@gmail.com)

² Universidad de Oriente, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas "Dra. Susan Tai", Cumaná, Venezuela. (blanca.gascue@gmail.com, joseluis_prin@hotmail.com)

³ Universidad de Oriente, Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Cumana, Venezuela, (lrojas40@yahoo.com)

en el material MVT. Los resultados obtenidos permiten inferir que la biomasa seca y el material MVT de *O. caracasana* tienen potencialidades para el desarrollo de materiales sustentables que pueden ser usados en la industria alimenticia, farmacéutica y como adsorbentes de contaminantes en medios acuosos.

ABSTRACT

In this investigation, the biomass of *Opuntia caracasana* and a resulting material after treatment with KOH (TVM) were characterized spectroscopically, morphologically and by microanalysis. The results of the FTIR analysis indicated that the dry biomass contains functional groups that indicate the presence of lignin, cellulose, hemicellulose and pectin in the cladodes of the cactus. In addition, strong signals corresponding to the glycosidic ether of cellulose were identified in the material TVM. The morphology of the dry biomass and the material TMV were determined by Scanning Electron Microscopy coupled to an X-Ray Microanalysis Energy Dispersive Detector (SEM-EDS), the agglomerated crystals were observed on the surface of the dry biomass and the presence of cavities and fibers in the material TVM. By means of microanalysis, calcium was detected as the majority element in the dry biomass and was also detected in the material TVM. The results obtained allow us to infer that the dry biomass and the MVT material of *O. caracasana* have potentialities for the development of sustainable materials that can be used in the food and pharmaceutical industries and as adsorbents for pollutants in aqueous media.

INTRODUCCIÓN

La familia de cactáceas constituye una de las familias de plantas vasculares más representativas de las regiones áridas y semiáridas del continente americano y el Caribe, siendo el género *Opuntia* el más representativo de esta familia, con cerca de 191 especies, ampliamente distribuidas en América (Varela et al., 2016).

Las especies del género *Opuntia* pueden tolerar la sequía prolongada, altas temperaturas, viento y suelos erosionados. Esto se debe principalmente a que son plantas con metabolismo ácido de crasulácea

(plantas CAM), una adaptación fotosintética al estrés ambiental. La fotosíntesis CAM reduce significativamente el consumo de agua de la planta al capturar el CO₂ durante la noche (Astello-García et al., 2015). Esta habilidad de tolerancia puede ser usada para disminuir la acumulación de CO₂ en la atmósfera y también como reserva de agua en zonas áridas y semiáridas. Además, las hacen ideales para el desarrollo de la agricultura en áreas afectadas por el cambio climático y la desertificación. Desde el año 2006, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha

exhortado a las naciones para formular estrategias globales de desarrollo y explotación integral del cultivo de plantas del género *Opuntia*, y elaborar programas específicos para cada región o país. (Ochoa & Barbera, 2018).

Por otra parte, en los últimos años, los materiales obtenidos a partir de la biomasa han recibido un gran interés a nivel industrial, esto es debido al deseo humano de consumir productos sostenibles y ecológicos (Mannai et al., 2020a). Una revisión realizada por Nharingo & Moyo (2016) destacó los numerosos usos de la especie *Opuntia ficus indica*, los cuales van desde aplicaciones farmacéuticas hasta tratamiento de agua. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones la reseña González et al. (2015), en ese estudio se comparó la efectividad de la *Opuntia ficus indica* y la *Opuntia wentiana* (*Opuntia caracasana*) como coagulantes en la clarificación del agua. También, la fibra celulósica presenta muchas ventajas interesantes, entre ellas, su abundancia, baja densidad, buenas propiedades mecánicas y biodegradabilidad (Mannai et al., 2020a). Por lo que el reciclaje de la biomasa procedente de residuos del cultivo de Opuntias y convertirla en subproductos de alto valor añadido, implica no sólo una reducción de los costes de gestión de los cultivos, sino que podría generar una diversificación de ingresos para los

agricultores que se dediquen a este tipo de cultivos (Procacci et al., 2021).

En Venezuela se conocen 40 especies de cactáceas con distribución geográfica bastante disímiles y, en este país, pese a su importancia ecológica y potencial uso económico, este tipo de plantas ha sido relativamente poco estudiadas. Actualmente se encuentran sometidas a diversas fuentes de impacto ambiental, tales como la erosión eólica e hídrica, sobreexplotación urbana y pérdida de vegetación perenne; y estos problemas atentan contra la biota de las zonas áridas y semiáridas del país (Nassar et al., 2013). En ese sentido, es importante realizar investigaciones que permitan fomentar la conservación, agricultura ecológica y uso sostenible de este tipo de plantas. Por lo que el propósito de esta investigación fue caracterizar la biomasa del cladodio de *Opuntia caracasana*, una planta autóctona y distribuida ampliamente en Venezuela, y por medio de la caracterización espectroscópica, morfológica y el microanálisis determinar algunas propiedades para fomentar su valoración como posible fuente para el desarrollo de materiales sustentables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procesamiento del cladodio de *Opuntia caracasana*

La recolección de un kilogramo de cladodios se realizó en el sector Las Charas, Cumaná,

Venezuela. Posteriormente, las muestras se trasladaron al laboratorio para remover las espinas y se realizó el lavado con agua desionizada. Después, se separó el mucílago de los cladodios para la extracción de pectina con ácido cítrico, usando la metodología sugerida por Maldonado et al. (2010), obteniéndose los mejores resultados de la hidrólisis ácida, utilizando ácido cítrico a 0,2 mol/L, a pH 3,88, a una temperatura de 80 °C, durante 50 minutos de agitación constante. El resto de los cladodios (biomasa) se secó a temperatura ambiente. Luego, se realizó la molienda de la biomasa, utilizando un molino manual de uso doméstico y siguiendo la metodología de Lárez-Velasquez et al. (2014). El polvo de la biomasa se secó en una estufa a 80 °C, durante 8 horas. De este polvo, se tomó 1 g para hacer caracterizaciones respectivas, y 5 g para el tratamiento alcalino con 15 mL de KOH al 20 % m/v, con agitación por 5 horas a temperatura ambiente, seguido del lavado con agua desionizada y filtrado con membranas de 0,45 micras, se verificó el pH del agua de lavado hasta que se obtuvo pH neutro. Finalmente, el material vegetal tratado con KOH (MVT) se colocó a secar en una estufa a 105 °C antes de la caracterización.

Caracterización de los materiales

El estudio de caracterización de los grupos funcionales presentes en los materiales (biomasa seca y MVT) se realizó mediante

espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) en un equipo Perkin Elmer modelo Spectrum Frontier. La preparación de la pastilla para el análisis de la muestra en el FTIR consistió en pesar por separado aproximadamente 0,015 g de biomasa seca y de MVT, seguido de 0,450 g de bromuro de potasio (KBr). Los materiales en estudio y el KBr se colocaron en una estufa a 60 °C para remover toda la humedad, luego cada material se mezcló con KBr y por compresión se realizó una pastilla para su posterior análisis en el espectrómetro FTIR. La morfología de ambos materiales, además de la composición elemental semicuantitativa, se determinó con un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca Hitachi modelo S2400, acoplado con un detector de Energía Dispersiva de Microanálisis de Rayos X (EDS), operado con un voltaje de aceleración de 20 KeV.

RESULTADOS

El análisis mediante FTIR permitió identificar los grupos funcionales presentes en la biomasa seca y en el MVT. En la Figura 1A correspondiente al espectro FTIR de la biomasa se observó una señal importante alrededor de los 3390 cm^{-1} , la cual se puede asignar a la vibración del enlace O-H presente en la estructura. En adición, a 2900 cm^{-1} se observa una señal que puede ser originada por la presencia de los enlaces H-C-H en la celulosa y hemicelulosa. También

se observa una señal significativa alrededor de 1620 cm^{-1} que se atribuye al estiramiento del enlace C=O en el anillo aromático presente en la lignina, en 1420 cm^{-1} apareció otra señal importante debido al acoplamiento entre la flexión O-H en el plano y el estiramiento del enlace C-O en los ácidos carboxílicos, esa señal también identifica al enlace H-C-H en la hemicelulosa. De igual manera cercano a 1300 cm^{-1} se observó una señal correspondiente al grupo C-O presente en el anillo aromático de los polisacáridos.

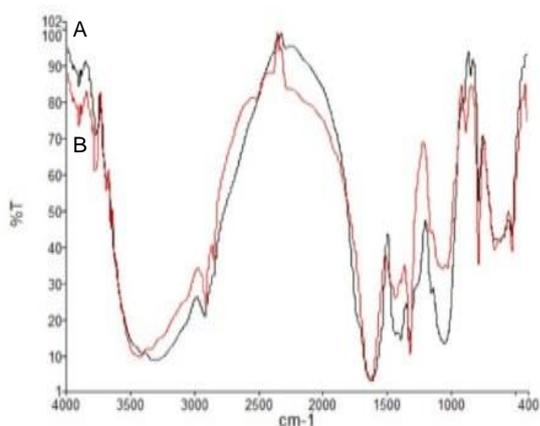
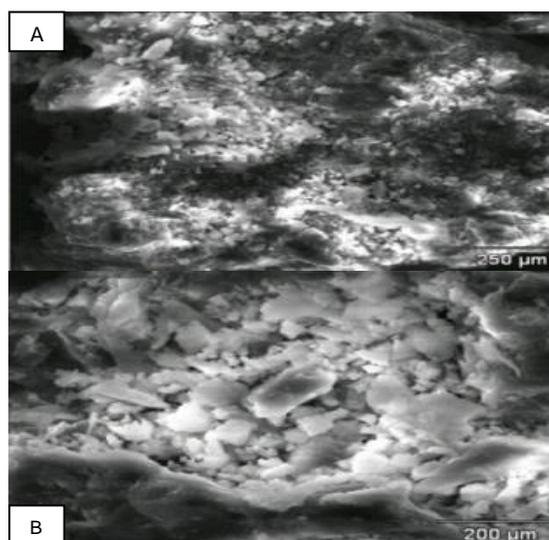


Figura 1. Espectro de infrarrojo de A) biomasa seca (Línea negra). B) MVT (Línea roja)

En la Figura 1B se presenta el espectro del material obtenido después del tratamiento con KOH, donde se evidenciaron cambios en algunas señales: específicamente disminuyó la intensidad de la señal en 1420 cm^{-1} , aumentó la señal cercana a 1300 cm^{-1} y la de 1150 cm^{-1} que corresponde al enlace del éter glicosídico de la celulosa. La técnica MEB permitió obtener información respecto a la morfología superficial, tanto de la biomasa

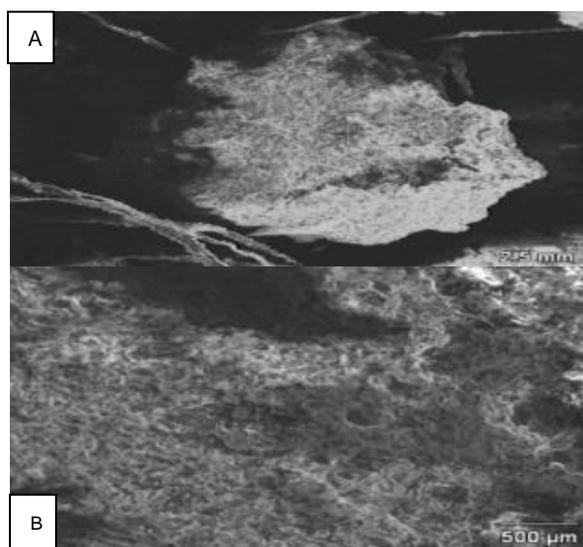
seca del cladodio molido de *O. caracasana*, como de los cambios que ocurrieron en el material (MVT) después del tratamiento con KOH, y el estudio mediante MEB-EDS permitió identificar de manera semicuantitativa la composición elemental de los materiales. En la Figura 2A se evidenció que las partículas de la biomasa del cladodio tenían forma heterogénea y estaban distribuidas de manera dispersa. También se pudo distinguir la textura rugosa del material vegetal, y unas partículas depositadas encima del tejido vegetal. En Figura 2B de mayor aumento, se observan varios cristales aglomerados, y el estudio mediante MEB-EDS reafirmó la presencia mayoritaria de C y O en la biomasa analizada, de igual manera se evidenció el contenido de otros nutrientes en la biomasa del cladodio como: Ca, Mg, Zn, Mo, K siendo el calcio el elemento mayoritario.



Element Line	Weight%
CK	66,19
OK	28,27
MgK	0,31
ClK	0,55
KK	0,72
CaK	3,56
ZnK	0,12
MoL	0,29

Figura 2. Micrografías de la biomasa seca de los cladodios y su microanálisis MEB-EDS

En la micrografía de material MVT, presentada en la Figura 3A, se observan algunas cavidades que indican mayor porosidad y área específica. El tratamiento alcalino con KOH favoreció la separación de las fibras presentes en la biomasa del cladodio (Figura 3B), debido a la solubilización de algunos componentes como la hemicelulosa y la pectina, manteniéndose como un material lignocelulósico. Otro aspecto importante es que después del tratamiento con KOH y el lavado con agua desionizada no fueron detectados los elementos K, Mg, Mn, Mo y Zn en el material MVT, solo se evidenció la presencia mayoritaria de carbono, oxígeno y un menor porcentaje de calcio (6,22 %).



Element Line	Weight%
CK	57,52
OK	36,26
CaK	6,22

Figura 3. Micrografías del material MVT obtenido después del tratamiento con KOH y su microanálisis MEB-EDS

DISCUSIÓN

La presencia del grupo funcional OH se encuentra en los ácidos carboxílicos, como el ácido galacturónico, que es uno de los componentes estructurales de la pectina (Belkheiri et al., 2021), un compuesto importante que también se ha reportado en las plantas del género *Opuntia* (Castellano et al., 2021) y que en este estudio se obtuvo con un rendimiento de 1,68 %, un porcentaje mayor al obtenido por Montilla et al. (2020) para otras especies autóctonas de Venezuela, *Opuntia elatior* (0,144 %), *Opuntia boldinguii* (0,131 %) y *Opuntia ficus indica* (0,153 %). La pectina es de gran interés para la industria de alimentos y para la síntesis de biopolímeros (Belkheri et al., 2021), con lo cual se abre la posibilidad de estudiar las posibles aplicaciones de la pectina de *O. caracasana* para obtener bioproductos. La presencia de los enlaces H-C-H en la celulosa y hemicelulosa, son indicadores de las unidades de glucosa que conforman la celulosa y en los demás carbohidratos que integran la hemicelulosa (xylosa, manosa, glucosa, galactosa) (Procacci et al., 2021). Los hallazgos obtenidos mediante la caracterización espectroscópica de la

biomasa seca de *O. caracasana* son similares a los reportados por Castellano et al. (2021) para las especies *Opuntia maxima* y *Opuntia dilenii* y a los reportados para la *Opuntia ficus indica* (Lárez-Velásquez et al., 2014; Nharingo & Moyo, 2016). En la Figura 1, se evidenciaron cambios en algunas señales: específicamente aumentó la intensidad de la señal cercana a 1150 cm^{-1} que corresponde al enlace del éter glicosídico de la celulosa. En la literatura consultada, específicamente Lima de Assis et al. (2019) indicó que el tratamiento de la holocelulosa de *Opuntia ficus indica* (material con celulosa y hemicelulosa) con KOH al 24 % permitió la separación y cristalización de las fibras de celulosa, ricas en grupos éteres C-O, que es lo que evidenció el incremento de la señal de 1150 cm^{-1} .

Con el estudio mediante MEB-EDS se detectó la presencia de los elementos en la biomasa del cladodio (Ca, K, Zn, Mg) y el calcio destacó como elemento mayoritario. En relación con la presencia de este elemento en las plantas de la familia *Opuntia* spp. se ha reportado que los cladodios de éstas cactáceas pueden acumular calcio, en algunas especies como la *Opuntia ficus indica* y la *Opuntia sheptacantha* Lemaire se ha reportado que pueden contener cristales de oxalato de calcio (Contreras-Padilla et al., 2015). Además, autores como Contreras-Padilla et al. (2011) también han reportado la presencia de otros compuestos como cloruro

de potasio y óxido de magnesio. En cuanto a la presencia de zinc en la biomasa del cladodio, le da un valor significativo, porque este elemento podría ser requerido para varias funciones biológicas, entre ellas para mantener saludable el sistema inmunológico y para construir proteínas (Bakari et al., 2017). Otro de los elementos detectados en la biomasa de la *O. caracasana* fue el magnesio, el consumo de este elemento permite relajar los músculos, contribuye en la conversión de la vitamina D en su forma activa y por tanto conduce a la formación de Trifosfato de adenosina (ATP) (Bakari et al., 2017). Por tanto, es importante continuar las investigaciones en *O. caracasana* para evaluar su contenido nutricional y su posible potencial farmacéutico, tal como ha sido encontrado en la *O. ficus indica* (Nharingo & Moyo, 2016).

El material MVT presenta alta porosidad y grupos funcionales oxigenados, estas propiedades son favorables para posibles aplicaciones como la adsorción de contaminantes en matrices acuosas (Nharingo & Moyo, 2016). El tratamiento alcalino con KOH favoreció la obtención de un material lignocelulósico, mostrando que esta base actúa sobre los componentes estructurales de las fibras naturales permitiendo su separación, por lo que el material MVT presentó características morfológicas similares a las observadas al de *Opuntia ficus indica* (Aquino et al., 2012) en

cuanto a la separación de la red lignocelulósica, y posiblemente puede competir con otras fibras naturales, también se abre la posibilidad de estudiar su aplicación como material de refuerzo para polímeros (Mannai et al., 2020a) y concreto (Aquilina et al., 2018). Otro aspecto importante es que después del tratamiento con KOH y el lavado con agua desionizada no fueron detectados los elementos K, Mg, Mn, Mo y Zn en el material MVT, solo se evidenció la presencia mayoritaria de carbono, oxígeno y un menor porcentaje de calcio (6,22 %). En relación con la presencia de calcio en biomateriales, Carballo-Meilan et al. (2020) señalan que la presencia de este elemento en un material que funciones como bioadsorbente puede intervenir en la captación de metales pesados mediante el proceso de intercambio iónico.

Es de resaltar que las fibras lignocelulósicas de las plantas *Opuntia* se consideran como uno de los materiales disponibles más fuertes y rígidos a partir de biomasa vegetal renovable. Por lo que los resultados alcanzados van acordes con las necesidades de realizar más investigaciones hacia la producción de fibras naturales (Mannai et al., 2020b).

CONCLUSIÓN

Mediante el microanálisis se detectó el calcio como elemento mayoritario, por lo que se sugiere evaluar sus propiedades nutricionales

para la formulación de alimentos y de productos farmacéuticos.

Este es el primer reporte de la presencia de pectina en cladodios de *O. caracasana*, compuesto de gran interés para la industria de alimentos y farmacéutica.

En cuanto al material MVT, posee grupos funcionales oxigenados de gran interés en materiales adsorbentes y el tratamiento alcalino con KOH propició cambios morfológicos en la biomasa del cladodio, destacando la presencia de cavidades y la separación de fibras celulósicas. Lo cual da un valor agregado a *O. caracasana*, siendo el primer estudio como materia prima para obtener fibras vegetales de gran interés científico y tecnológico.

En atención a la problemática mundial respecto al cambio climático, los resultados fomentan las investigaciones relacionadas con el uso sostenible de las especies autóctonas de las zonas áridas y semiáridas.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Prof. José Véliz, del Departamento de Biología de la Universidad de Oriente, Venezuela, por la identificación de la planta *Opuntia caracasana* Salm-Dyck.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aquilina, A., Borg, R. & Buhagiar, J. (2018). The application of natural organic additions in concrete: *Opuntia ficus indica*. *IOP Conference Series*:

- Materials Science and Engineering*, 442, 1-11. DOI:10.1088/1757-899X/442/1/012016
- Aquino, L., Rodríguez, J., Méndez, A. & Hernández, S. (2012). Extracción y caracterización de fibra de nopal. *Naturaleza y Desarrollo*, 10(1), 46-63.
- Astello-García, M., Cervantes, I., Nair, V., Santos-Díaz, M., Reyes-Aguero, A., Guéraud, F., et al. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, (43), 119-130. DOI: 10.1016/j.jfca.2015.04.016.
- Bakari, S., Daoud, A., Felhi, S., Smaoui, S., Ghaissallah, N. & Kadri, A. (2017). Proximate analysis, mineral composition, phytochemical contents, antioxidant and antimicrobial activities and GC-MS investigation of various solvent extracts of cactus cladodes. *Food Science and Technology*, 37(2), 286-293. DOI:10.1590/1678-457X.20116.
- Belkheiri, A., Forouhar, A., Ursu A., Dubessay, P., Pierre, G., Delattre, C., et al. (2021). Extraction, characterization, and applications of pectins from plant by products. *Applied Sciences*, 11, 2-15. DOI:10.5772/intechopen.85588.
- Carballo-Meilan, A., Hernández-Francisco, E., Sosa-Loyde, G., Bonilla-Cruz, J., Russell, P., et al. (2020). Biosorption of copper using nopal fibres: Moolorite formation and magnesium role in the reactive crystallization mechanism. *Cellulose*, (27), 10259-10276. DOI:10.1007/s10570-020-03449.
- Castellano, J., Marrero, M., Ortega, Z., Romero, F., Beritz, A. & Ventura, M. (2021). *Opuntia* spp. Fibre characterization to obtain sustainable materials in the composites field. *Polymers*, (13), 2-21. DOI: 10.3390/polym13132085
- Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández- Urbiola, M., Hernández-Quevedo, G., Del Real, A., et al. (2011). Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficus indica* var redonda) at different maturity stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, (24), 38-43. DOI: 10.1016/j.jfca.2010.03.028.
- Contreras-Padilla, M., Rivera-Muñoz, E., Gutiérrez- Cortez, E., Real, A. & Rodríguez- García, E. (2015). Characterization of crystalline structures in *Opuntia ficus indica*. *Journal of Biological Physic.* (41),

- 99-112. DOI:10.1007/s10867-014-9368-6.
- González, Y., Fuentes, L., Mendoza, I. & Caldera, Y. (2015). *Opuntia ficus-Indica* y *Opuntia wentiana*: Estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua. *Revista Tecnocientífica URU*. 9, 81-89.
- Lárez-Velásquez, C., Quiñonez, V., Suárez, D. & Santos, I. (2014). Preparación de un adsorbente basado en la ectodermis de los cladodios de tuna (*Opuntia ficus*) para la remoción del colorante safranina. *Química viva*, 3(10), 221-232.
- Lima de Assis, A., Pereira, L., Tavares, J., Albuquerque, A., Pinheiro, E., Pereira de Azevedo, E. Oshiro-Junior, J. & Goulart de Lima, B. (2019) *Opuntia ficus indica* L Miller (Palma Forrageira) as an alternative source of cellulose for production of pharmaceutical dosage forms and biomaterials: Extraction and characterization. *Polymers*, 11(7), 1-13. DOI: 10.3390/polym11071124.
- Maldonado, Y., Salazar, S., Millones, E., Torres, E., & Vásquez, C. (2010). Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de Maushan y Badillo. San Miguel de Soloco. *Revista Aporte Santiaguino*, 3(2): 177-184.
- Mannai, F., Elhleli, H., Dufresne, A., Elaloui, E., & Moussoui. (2020a). *Opuntia* (Cactaceae) fibrous network-reinforced composites: Thermal, viscoelastic, interfacial adhesion and biodegradation behavior. *Fibers and Polymers*, 21(10), 2353-2363. DOI: 10.1007/s12221-020-9675-4.
- Mannai, F., Khiari, R. & Moussaoui, Y. (2020b). *Novel trend in the use of Opuntia (Cactaceae) fibers as potential feedstock for material science applications*. En: Soto Hernández, M., Reyes-Rivera, J. y Maceda-Rodríguez, A. *Cactaceae-Current trends and future perspective*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.92112.
- Montilla, A., Tovar, I. & Pacheco, H. (2020). Cuantificación de pectinas en la pulpa del fruto de tres especies de tuna (*Opuntioideae*, Cactaceae). *La Técnica: Revista de la Agrociencia*, 23, 25-32.
- Nharingo, T. & Moyo, M. (2016). Application of *Opuntia ficus-índica* in bioremediation of wastewaters: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 166, 55-72. DOI:10.1016/j.jenvman.2015.10.005
- Ochoa, M. & Barbera, G. (2018). *Historia e importancia agroecológica y*

económica. En: Inglese, P., Mondragón, C., Nefzaoui, A. y Sáenz, C. Eds. *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/I7628ES>

Procacci, S., Bojórquez-Quintal, E., Platamone, G., Maccioni, O., Lo Vecchio, V., Morreale, V., Alisi, C., Balducci, R. & Bacchetta, L. (2021). *Opuntia ficus indica* pruning waste recycling: Recovery and characterization of mucilage from cladodes. *Natural Resources*, 12, 91-107. DOI: 10.4236/nr.2021.124008.

Varela, C., Torres, G. & Censore, K. (2016) Variación morfométrica y biomasa floral entre poblaciones naturales de *Opuntia caracasana* Salm-Dyck (Cactaceae) en zonas áridas de Venezuela. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 61(3), 68-84.