



# Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica: *Eichhornia crassipes* (Lechuguines) para la obtención de bioplástico

Use of lignocellulosic biomass: *Eichhornia crassipes* (Lechuguines) to obtain bioplastic.

<sup>1,a,\*</sup> Andy David Zambrano Saltos

<sup>1,b</sup> Edison Josue Zambrano Bravo

<sup>1,c</sup> Segundo Alcides García Muentes

<sup>1,d</sup> Gabriel Alfonso Burgos Briones

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

<sup>1</sup> Egresado de la carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

### Correspondencia:

\* azambrano4378@utm.edu.ec

<sup>a</sup> ORCID: 0000-0002-1250-2871

<sup>b</sup> ORCID: 0000-0003-0709-6271

<sup>c</sup> ORCID: 0000-0002-8152-3406

<sup>d</sup> ORCID: 0000-0002-1291-4083

**Palabras clave:** Almidón, Biodegradabilidad, Celulosa, Hidrólisis básica.

**Keywords:** Starch, Biodegradability, Cellulose, Basic hydrolysis.

### Información adicional

**Presentado:** 26/03/2022

**Aprobado:** 17/07/2022

## RESUMEN

Con el fin de mitigar el fenómeno de la eutrofización en los cuerpos de agua dulce y darle un valor agregado a la especie acuática *Eichhornia crassipes* (Lechuguines), se la trató para ser empleada en el campo de la biorrefinería, como alternativa a los plásticos convencionales. El objetivo de esta investigación fue aprovechar la biomasa lignocelulósica de los lechuguines para obtener bioplástico. La biomasa utilizada provino de la represa Poza Honda, donde se sintetizó el contenido lignocelulósico para la obtención de la celulosa. La metodología de la investigación se dio en tres procesos: extracción de la celulosa, almidón y obtención de bioplástico. Se aplicó la hidrólisis alcalina en la extracción de la celulosa e hipoclorito de sodio como agente de blanqueamiento. Se aplicó el método vía húmeda para la sedimentación y obtención de almidón. En la caracterización del producto obtenido resultó una humedad de 19 %, 7,13 % de contenido volátil, la absorción de agua se dio de manera creciente 31,05 %, el grado de biodegradabilidad fue 66,33 %. En conclusión, la biomasa de *E. crassipes* es una fuente significativa para la producción de bioplástico. La biodegradabilidad en las biopelículas obtenidas es muy satisfactoria estando dentro del rango de las normas internacionales ASTM D-6400.

## ABSTRACT

In order to mitigate the phenomenon of eutrophication in freshwater bodies and give added value to the aquatic species *Eichhornia Crassipes* (Lechuguines), it was treated to be used in the field of biorefinery, as an alternative to conventional plastics. The objective of this research was to take advantage of the lignocellulosic biomass of lechuguines to obtain bioplastic. The biomass of the research came from the Poza Honda dam, where the lignocellulosic content was synthesized to obtain the cellulose. The research methodology consists of three processes: extraction of cellulose, starch and obtaining bioplastic, applying alkaline hydrolysis in the extraction of cellulose and sodium hypochlorite as a bleaching agent, the wet method was applied for sedimentation and obtaining starch. In the characterization of the product obtained, the humidity was 19 %, the volatile content 7.13 %, the water absorption was increasing 31.05 %, the degree of biodegradability 66.33 %. In conclusion, the biomass of *Eichhornia Crassipes* is a significant source for the production of bioplastic, the biodegradability of the biofilms obtained is very satisfactory, being within the range of international standards ASTM D-6400.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales que presenta los cuerpos de aguas dulces en el Ecuador, es la eutrofización. Esta se presenta por la excesiva carga de los macronutrientes principalmente de nitrógeno (N) y fósforo (P) produciendo el crecimiento masivo de algas y de otras formas de vida vegetal. Esto provoca la disminución del oxígeno disuelto estimulado por una reducción de la penetración de luz solar a los cuerpos de agua (Zhang *et al.*, 2016).

Esta problemática es provocada por plantas acuáticas denominadas como invasoras, por su poder de crecimiento y extenderse por los cuerpos de agua. Una de las especies más invasoras en los afluentes del Ecuador es el lechuguin (*Eichhornia crassipes*), catalogado dentro de las 100 malezas más invasoras del mundo por su capacidad adaptiva y reproductiva (Tejada *et al.*, 2018), precursora de la contaminación en los ríos, lagos embalses, entre otros (Guevara & Ramírez, 2015). Su crecimiento acelerado contribuye al fenómeno de eutrofización de los cuerpos de agua, y su lenta descomposición genera malos olores y bajos niveles de higiene, ocasionando que dichas aguas no sean aptas para el consumo debido a sus características deplorables (Gaertner *et al.*, 2019).

*Eichhornia crassipes*, la especie más abundante en los ríos del Ecuador, está ampliamente distribuida y ha sido reportada como una especie acumuladora de metales como el cadmio y arsénico (Syafri *et al.*, 2019). Cada año se reporta la acumulación de varias hectáreas de biomasa dispersa por la represa Poza Honda. En épocas de invierno su crecimiento ha llegado a ocupar alrededor de 60 hectáreas, provocando que la luz solar no penetre en el agua, desencadenando acumulación de nutrientes, entre otros. Como una forma de aprovechamiento de esta biomasa lignocelulósica se contempla su uso para ser incorporada a la biorrefinería especialmente en la elaboración de bioplástico (plástico biodegradable no originado de una fuente de petróleo), debido a su alto contenido en celulosa. Los bioplásticos se definen como aquellos materiales cuyo polímero base está constituido por recursos renovables o son biodegradables, cumpliendo con todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para su biodegradabilidad (Sánchez, 2020).

La importancia de los bioplásticos radica en que es una alternativa frente a los plásticos convencionales, aquellos que son obtenidos del petróleo. Los bioplásticos son obtenidos de fuentes naturales renovables, provocando un sinnúmero de beneficios al medio ambiente, ya que se pueden descomponerse en materiales orgánicos a través de mecanismos microbianos y se mezclan de manera inofensiva al suelo (Ghada, 2021).

Los lechuguines se contemplan dentro de la materia prima de segunda generación para la elaboración de bioplásticos debido a sus capacidades lignocelulósicas cuyo contenido es de 43 % de celulosa, 29 % de hemicelulosa y 7 % de lignina (Mero, 2019), siendo las hojas las que poseen mayor cantidad de celulosa, seguida de los tallos. Se han reportado estudios similares para la obtención de bioplástico a partir de lechuguines como es el caso de Pratama *et al.* (2020) quienes obtuvieron plásticos biodegradables a partir de una matriz de 3 % y 5 % de mezcla de almidón de tapioca y celulosa. Mientras que Durin *et al.* (2021) obtuvieron bioplásticos a partir de la masa de los lechuguines aplicando almidón de maíz como agente espesante.

En el Ecuador existen pocas industrias asociadas a la generación de plásticos biodegradables a partir de materiales no asociados al petróleo, y no se registra proyectos asociados en la extracción de celulosa de la biomasa *Eichhornia crassipes* para la elaboración de plásticos. Con el fin de aprovechar esta gran biomasa, se recurrirá a la elaboración de películas de bioplástico, el cual tendrá como composición celulosa, agua, glicerina, un tipo de ácido (ácido acético) y un aditivo espesante como en este caso va a ser el almidón a partir de las cáscaras de *Manihot esculenta* (yuca), para aprovechar este residuo dándole un valor agregado, dado que la yuca tiene gran porcentaje de este carbohidrato y se encuentra en gran abundancia en el Ecuador.

El objetivo de este trabajo de investigación fue aprovechar la biomasa lignocelulósica de lechuguines para la elaboración de bioplásticos, usando como aditivo almidón proveniente de las cáscaras de yuca.

## METODOLOGÍA

### Selección de la materia prima

La biomasa de *Eichhornia crassipes* (lechuguines) fue recolectada en la represa Poza Honda del cantón Santa Ana de la provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1), las mismas que fueron llevadas al laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



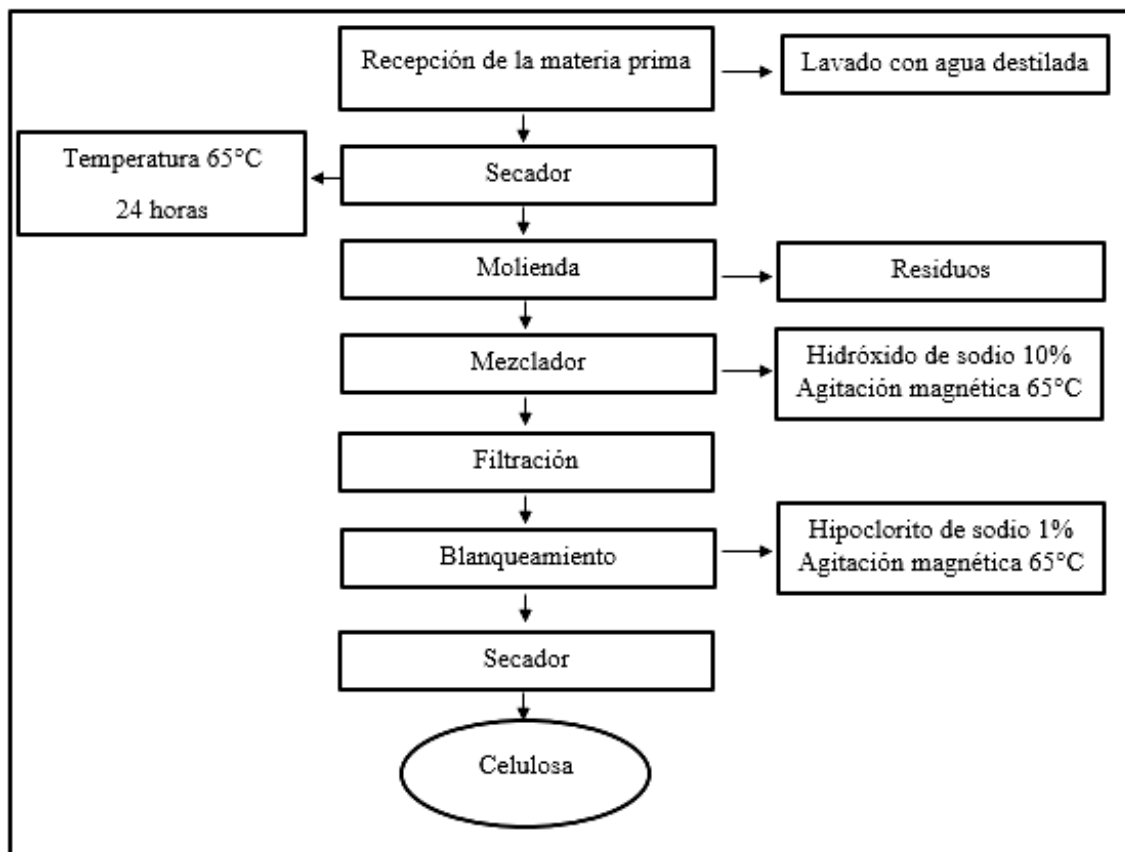
**Figura 1.** Vista panorámica de la represa Poza Honda.

### Extracción de la celulosa de Lechuguines

La biomasa fue lavada con agua purificada y destilada para eliminar impurezas. Luego se separaron las hojas y el tallo de la planta acuática para posteriormente disminuir la humedad de 93,22 a 39,64 %, durante 24 horas con una temperatura de 65 °C en un horno de secado y posteriormente fue analizado con el detector de humedad BOECO BMA I50. Se llevó a molienda con ayuda de un molino eléctrico, luego se le aplicó el tamizaje a través de la malla mesh #60 para obtener un tamaño de partícula entre 0,1 a 0,3 mm. Se tomaron 20 gramos del pulverizado de las hojas y 14 gramos del tallo, para luego añadir 200 ml y 140 ml de NaOH al 10 % a 0,02 N. La mezcla se llevó a una placa calefactora con agitación constante (Thermo Scientific) a 65 °C durante 10 minutos. Se dejó enfriar y se lavó repetidamente y se filtró.

A la mezcla filtrada se le agregó hipoclorito de sodio al 1 % con un volumen de 200 ml y 140 ml para las hojas y tallos respectivamente, se llevó a placa calefactora a 65 °C por 10 minutos donde se blanqueó. Se lavó repetidamente hasta obtener un pH neutro. Se llevó al horno durante un periodo de impregnación de 14 horas a 60 °C y se obtuvo el producto final. El porcentaje de rendimiento de la celulosa obtenida en las hojas y tallos se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de la celulosa obtenida (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad \text{Ec.1}$$



**Figura 2.** Resumen del proceso para obtener celulosa.

### Extracción del almidón

Se procedió al pesado, pelado y lavado de las cáscaras de *Manihot esculenta* (yuca), para luego rallarla de manera que se libere el almidón. En un recipiente con agua, se lavó la ralladura de yuca que forma una lechada de almidón en el agua, se dejó reposando por 5 horas, se filtró las fibras y proteínas que las raíces contienen. La lechada de almidón pasó a otro recipiente con malla para retener impurezas y el almidón en el agua se separó por sedimentación, en los cuales los gránulos de diversos tamaños sedimentaron en el fondo, seguidamente se secó en la estufa a 45 °C por 24 horas (Montoya, 2007).

### Producción de Bioplásticos

De acuerdo a la metodología experimental propuesta por Ortega (2019), para la elaboración de bioplásticos. Se produce mezclando insumos y aditivos: polímeros (celulosa y almidón), plastificante (glicerina), un disolvente (agua) y un ácido (ácido acético).

### Elaboración de biopelículas

Para la elaboración de las biopelículas se aplicó la metodología Schon & Schwartz (2013). Se disolvió el almidón extraído en agua destilada, se mezcló con ácido acético al 5 % y se adicionó glicerina. La mezcla fue llevada a placa calefactora a 60 °C en agitación magnética, lentamente se añadió la celulosa en suspensión. Luego, se vertió en placas Petri y se llevó al horno a una temperatura de 65 °C durante un periodo de 3 horas. Las proporciones de las biopelículas mostradas en la Tabla 1 fueron basadas en un estudio similar propuesto por Ortega (2019) en el cual estipulan un porcentaje en peso de componentes el mismo que rige en los dos procesos (tanto en hojas como en tallos); ya que, se obtuvieron cantidades de celulosa diferente en ambos procesos.

**Tabla 1**

*Composición de biopelícula.*

Componentes	Porcentaje	Hojas de los lechuguines	Tallos de los lechuguines
Celulosa	6 %	4,250 gramos	3,17 gramos
Almidón	15 %	10,625 gramos	7,995 gramos
Glicerina	10%	7,083 gramos	5,327 gramos
Ácido acético	5 %	3,542 gramos	2,635 gramos
Agua	64 %	45,333 gramos	34,127 gramos

*Fuente:* Ortega, 2019.

### Humedad

Mediante el equipo BOECO BMA I50 se detectó la humedad del bioplástico obtenido.

### Absorción de agua

Se colocaron muestras de bioplásticos a la estufa por 4 horas a una temperatura de 100 °C. Se pesaron después de ser retiradas de la estufa y se colocaron en desecadores condicionados a una humedad relativa cercana de 100 % aplicando agua destilada, el incremento del peso se midió de manera diaria (García, 2020).

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{[\text{Masa final}-\text{Masa inicial}]}{\text{Masa inicial}} \times 100 \quad \text{Ec.2}$$

### Contenido en material volátil

Se pesaron tres crisoles, luego se le agregaron tres gramos de bioplásticos a cada crisol. Se llevó a mufla a una temperatura de 550 °C durante un periodo de 45 minutos. Trascurrido el tiempo de calcinación, los crisoles fueron trasladados al desecador, posteriormente se le tomó la lectura del peso y se aplicó la ecuación 3.

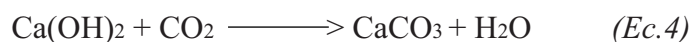
$$\% \text{cenizas} = \frac{[(\text{Perisol}+\text{ceniza}) - (\text{Perisol})]}{[(\text{Perisol}+\text{bioplástico}) - (\text{Perisol}+\text{cenizas})]} \times 100 \quad \text{Ec.3}$$

### Biodegradabilidad

La determinación de la biodegradabilidad del biopolímero se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por García (2015), la que consistió en determinar la cantidad de CaCO<sub>3</sub> formado por 15 días de acuerdo a la reacción química (Ec.4), para lo cual se utilizaron recipientes herméticamente cerrados. En tres recipientes se agregaron 25 ml de Ca(OH)<sub>2</sub> al 0,025 N. En un recipiente se agregó 150 gramos de tierra abonada más 50 ml de agua potable (blanco), en otro recipiente se agregaron 150 gramos de tierra abonada más 50ml de agua potable y plástico (polietileno), y en el otro recipiente 150 gramos de tierra abonada, 50 ml de agua y bioplástico. Todas los recipientes fueron conectados por una manguera con los recipientes que contienen Ca(OH)<sub>2</sub> (Figura 3). Pasado el tiempo se tituló con HCl para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> generado. Se tamizó la muestra que contenía el bioplástico. Por medio de la diferencia de masa (Ec.5) se



conoció el porcentaje de biodegradación.



$$\% \text{ de biodegradabilidad} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100\% \quad (\text{Ec. 5})$$



**Figura 3.** Caracterización de biodegradabilidad.

## RESULTADOS

En lo que a rendimientos corresponde se obtuvo un valor muy bajo para el almidón, pero es aceptable porque se realizó por el método de vía húmeda y gran parte se diluye en el agua. Los lechuguines en su composición constan mayormente de agua, por lo que es evidente que los rendimientos son también muy bajos debido que al someterlos al calor pierden considerablemente su masa inicial y principalmente los tallos que tienen más cantidad de humedad en relación a las hojas.

**Tabla 2**

*Rendimientos de componentes*

Componentes	Rendimientos
Almidón	5,9%
Lechuguines (hojas)	12%
Lechuguines (tallos)	10%

Una vez obtenido el producto se detectó una humedad de 19,1 % lo cual es favorable debido a que se logró extraer gran cantidad de agua mediante los varios procesos de secado. La cantidad de material volátil fue baja lo cual es favorable ya que indica que existe muy poca carga de materia inorgánica. Por otra parte, el porcentaje de biodegradabilidad resultó exitoso ya que en muy poco tiempo se logró degradar gran parte del producto (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Caracterización del bioplástico.*

Caracterización del producto obtenido	
Humedad	19,1 %
Material volátil	7,13 %
Biodegradabilidad	66,33 %

En la Tabla 4 se aprecia el porcentaje de absorción en cada uno de los periodos de tiempo que fue controlado el bioplástico al ser sometido a una humedad relativa cercana al 100 % para su correcto análisis. Se puede deducir que la masa de agua absorbida en cada periodo es mínima, por ende, los porcentajes no fueron muy elevados. Esto indica que el producto tiene buena dureza y aspectos mecánicos excepcionales.

**Tabla 4**

*Absorción de agua de bioplásticos en función del tiempo.*

Periodo	Masa	Masa (g)	Porcentaje de absorción
Periodo inicial	Masa inicial	1,001	0,0 %
24 horas	Masa final	1,140	13,8 %
48 horas	Masa final	1,193	19,8 %
72 horas	Masa final	1,261	25,97 %
96 horas	Masa final	1,312	31,05 %

## DISCUSIÓN

Los bioplásticos actualmente son alternativas viables para reducir el uso indiscriminado de los plásticos convencionales que afectan significativamente el bienestar medioambiental. A su vez se puede contemplar como una alternativa bioeconomica debido a que en nuestro medio abunda materia prima (biomasa) para la creación de bioplásticos; y por el contrario, cada día disminuye la disponibilidad de petróleo al ser un recurso no renovable.

El rendimiento de la masa en el proceso de secado fue de 12 % en hojas y 10 % en los tallos. Esto se debe a que la biomasa dentro de su parte composicional se forma por 93,22 % de agua y 6,78 % de masa seca. Al ponerlo en el horno en una temperatura de 65 °C en un periodo de 24 horas la mayor parte del agua se evaporó, llegando a tener una humedad de 51,2 % cuyo porcentaje de rendimiento es inferior a lo reportado por Muñoz & Zapata (2019).

El rendimiento en la obtención del almidón mediante vía humedad fue de 5,9 %, lo cual es aceptable debido a que la materia prima es la cáscara de yuca la cual obtiene menos cantidad de almidón. Dicho valor es semejante al reportado por Mina (2019) extraída directamente de la pulpa de la yuca 6,6 %, pero por debajo a lo reportado por Muñoz & Riera (2020) quienes obtuvieron un valor de 9,7 %; mientras que, Hernández-Medina *et al.* (2008) reportaron 10,63 %. La hidrólisis alcalina o básica permitió concentrar la mayor parte de celulosa de la biomasa extraída, debido a que la masa tratada se sometió a NaOH eliminó completamente la lignina y disminuyó 6 % de hemicelulosa propiamente del contenido lignocelulósico.

La humedad del producto obtenido fue 19,1 %, esto debido a que el proceso incluía varias exposiciones al calor en el cual se perdía gran cantidad de humedad. El valor fue similar a lo reportado por Rosales (2016) en la elaboración de bioplástico a partir de la yuca el cuál es 18,1 %, mientras que Morocho *et al.* (2021) obtuvieron una humedad de 33,37 % y 34,8 % en el trigo y la cebada respectivamente.

En virtud de que el contenido de material volátil fue 7,13 %, evidencia una leve presencia de compuestos inorgánicos (cloruros o carbonatos). También que la mayor parte del producto está compuesto de agua y sustancias orgánicas. En investigaciones previas García (2020) obtuvo un 27,01 % de bioplástico a partir de coco y papaya.

A partir de los 15 días se procedió a valorar la cantidad de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que había quedado en la trampa de captación de  $\text{CO}_2$ . Al titularla no se notó un cambio en la coloración al agregar el indicador. Se evidenció un precipitado blanco lo que indica la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en el proceso de degradación. En virtud de la masa de bioplástico obtenido (1,01 gramos), el porcentaje de biodegradación fue satisfactorio puesto que las normas ASTM D-6400 (ASTM, 2019), señalan que para que un plástico sea biodegradable debe degradarse en 6 meses por acción microbiana, y el bioplástico obtenido solo a los 15 días se degradó un 66,33 %, valor superior a lo reportado por Ledesma *et al.* (2019) (50 % en 60 días en bioplástico de quinua), Meza *et al.* (2019) reportaron un valor de 50,6 % - 64,21 % durante 60 días, mientras que Riera (2020), en 42 días de experimentación reportó 89,42 %.

## CONCLUSIONES

La biomasa *Eichornia crassipes* es una potencial fuente para la obtención de celulosa, aplicada en la elaboración de bioplástico, pese a que su rendimiento no es tan alto, puesto que la composición de la planta presenta gran cantidad de humedad, y el almidón obtenido mediante el método húmedo presentó un bajo rendimiento. Son materiales que no tienen ningún otro tipo de aporte, es mas en el caso de los lechuguines tienen varios impactos negativos sobre el medio ambiente tanto como para la humanidad.

Mediante el estudio y la práctica de campo se pudo determinar que los lechuguines y la cáscara de yuca son posibles candidatos a futuro en la elaboración de bioplástico, ya que el producto final obtenido se logró degradar un 66,33 % en un período de 15 días, lo cual está dentro de la normativa ASTM D-6400, la cual estipula que un bioplástico para ser biodegradable debe degradarse completamente por la acción microbiana durante un lapso de seis meses.

## REFERENCIAS

- ASTM - American Society for Testing Materials. (2019). ASTM D6400 - 19 Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. En *Annual Book of ASTM Standards*. <https://doi.org/10.1520/D6400-12.2>
- Duruin, A. A., Lalantacon, X. F., Leysa, J. G., Obena, R. A., Sapal, A., Leysa, M.,... & Abusama, H. (2022) Potential Production of Bioplastic from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*). *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(2), 139-142.
- Gaertner, M., Larson, B.M.H., Irlich, U.M., Holmes, P.M., Stafford, L., Van Wilgen, B., Richardson, D. (2016). Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town, South Africa. *Landscape and Urban Planning*. 151(1), 1–9. ISSN 0169-2046.
- García O. R., Pinzón M. I., & Sánchez L, T. (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @*Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13-21. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>



- García, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. *Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE*. <https://doi.org/10.1142/S0217979211101259>
- Ghada, A., Abanoub, M., Christopher, C.P., Joseph, B. & Tuyet-Anh, T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Journal of Heliyon*, 7(9), September 2021, e07918
- Guevara, M. F. & Ramírez, L. (2015) *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 22(2), 5-11. ISSNp: 1390-3799, ISSNc: 1390-8596.
- Hernández-Medina, JG., Torruco-Uco, L., Chel-Guerrero & Betancur-Ancona. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 28(3), 718–726.
- Ledesma-Ugusiña, A., Dalgo-Flores, V., Flores-Fiallos, L. & Chango-Lescano, G. (2021) Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 39-56, Ago. 2021. ISSN 2477-8818. Disponible en: <<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2080>>.
- Schon, M. & Schwartz, P. (2013). Production of Bioplastic. *My Science Work*, pp. 1-5. Obtenido de <https://www.mysciencework.com/publication/download/production-bioplastic/f782131305fb90e8b9dd2d4078cd3c13>
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E. & Egas, F. (2019). Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia Crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río guayas (ecuador) y sus afluentes. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 35(3), 623-640. Epub 21 de agosto de 2019. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.03.09>
- Meza, P., Quipuzco, L. & Meza, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Rev. Del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 22, 67–80. file:///C:/Users/user/Downloads/16691-Texto del artículo-58242-1-10-20190911 (3).pdf
- Mina, C. (2019). *Diseño de un proceso de producción de almidón de yuca amazónica (Manihot esculenta)*. Proyecto de investigación previo a la obtención del título Ingeniera Agroindustrial. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador.
- Montoya H. (2007) *Industrialización de la Yuca: Obtención de Almidón Nativo y sus Aplicaciones*. Universidad del Valle. Canea-Colombia, 17-18.
- Morocho-Pilataxi, María Cruz et al. (2021) Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 623-637, ISSN 2477-8818. Disponible en: <<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2114>>. Fecha de acceso: 14 mar. 2022 doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2114>.
- Muñoz, J. & Zapata, D. (2019). *Evaluación de la obtención de celulosa partiendo del buchón de agua (Eichhornia crassipes) mediante la hidrólisis básica y el proceso enzimático del hongo Pleurotus ostreatus*. Fundación universidad de américa. Facultad de ingenierías, programa de ingeniería química. Bogotá, d. C.
- Muñoz, S.B., & Riera, M.A. (2020) Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos., *Avances en Química*. 15(1), 3-11.

- Ortega, M. (2019). *Elaboración de bioplásticos a partir de pajas y residuos de granos de arroz*. Facultad de Ingeniería. Universidad tecnológica del Perú. Arequipa, Perú.
- Pratama, J. H., Amalia, A., Rohmah, R. L., & Saraswati, T. E. (2020) *The extraction of cellulose powder of water hyacinth (Eichhornia crassipes) as reinforcing agents in bioplastic*. In AIP Conference Proceedings. 2219(1), 100003. AIP Publishing LLC.
- Riera, M. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Colón Ciencias, Tecnología Y Negocios*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo –Abril 2016*. Monografía para Optar al Título de Licenciada en Química Industria. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Departamento de Química. Universidad nacional autónoma de Nicaragua, Managua, UNAN-Managua
- Sánchez, J. & Aurelio, M. (2020). El surgimiento de los bioplásticos: Un estudio de nichos tecnológicos. *Acta universitaria*, 30, e2654. Epub 14 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2654>
- Syafri, E., Yulianti, E., Asrofi, M., Abrial, H., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., & Fudholi, A. (2019). Effect of sonication time on the thermal stability, moisture absorption, and biodegradation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) nanocellulose-filled bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) starch biocomposites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6223-6231.
- Tejada-Tovar, C., Paz-Astudillo, I., Villabona-Ortíz, A., Espinosa-Fortich, M. & López-Badel, C. (2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 211-221. Recuperado en 02 de septiembre de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212018000200003&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000200003&lng=es&tlng=es).
- Zhang-Zhiyong, Wang, Z., Zhang-Zhenhua & Zhang-Junqian (2016) Effects of engineered application of *Eichhornia crassipes* on the benthic macroinvertebrate diversity in Lake Dianchi, an ultra-eutrophic lake in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(9), 8388–8397. ISSN 0944-1344.