

**PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIOPLASTICOS A PARTIR DE MICROALGAS
Y MATERIALES QUE CONTIENEN ALMIDON, PARA SU POSIBLE
APLICACIÓN EN COLOMBIA**

LIZBETH YESENIA HOLGUIN CASTAÑEDA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, Julio 02 del 2021

**PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIOPLASTICOS A PARTIR DE MICROALGAS
Y MATERIALES QUE CONTIENEN ALMIDON, PARA SU POSIBLE
APLICACIÓN EN COLOMBIA**

LIZBETH YESENIA HOLGUIN CASTAÑEDA

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIER(A)O QUÍMIC(A)O**

Director: ALEXANDER LUNA CÓRTEZ
Ingeniero Químico Msc

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, Julio 02 del 2021**

Dedicatoria

A Dios por llenarme de fortaleza en los momentos difíciles y llenarme de fuerza para no desistir y cumplir una de las metas propuesta en mi vida. También dedico de forma especial a mi hija Mariana Figueroa Holguin por su comprensión y paciencia en todo este tiempo que no estuve presente para ella, pero con su amor fue un motorcito para darme impulsos y poder culminar. También de forma especial a mi nana María que aunque partió a la paz del Señor siempre estuvo orgullosa de mí, por último pero no menos importantes, a mis padres Roosevelt Holguin y Esperanza Castañeda y a mis amigos que siempre me han brindaron apoyo moral.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por concederme bienestar y salud. También agradezco a mis padres por su esfuerzo y apoyo para poder culminar mis estudios, a la Universidad de Pamplona por ser las aulas de mi formación profesional y al cuerpo de docentes de Ingeniería química por la enseñanzas y aportes que fortalecieron mis conocimientos para ser quien soy ahora. A mis compañeros y amigos que a lo largo del tiempo se convirtieron en una familia que cada momento compartido será siempre recordado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1 . PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo general	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. METODOLOGIA	14
4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE.....	15
4.1 Bioplástico: Definicion, Tipos y producción	17
4.1.1Definición	17
4.1.2 Tipos de bioplástico	17
4.1.2Producción de bioplástico.....	20
5. MICROALGAS	22
5.1 Aplicaciones de las microalgas	23
5.1.1 PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE MICROALGAS.....	24
5.1.1.1 Especies de microalgas	24
5.1.1.2 Tecnologías para la obtención de bioplásticos.....	26
5.1.1.3 Propiedades mecánicas de los Bioplásticos a partir de las microalgas	29
6. ALMIDÓN.....	38
6.1 Aplicaciones del almidón	38
6.1.1 Obtención de Bioplástica a partir de almidón.	39
6.1.1.1 Materiales contenidos de almidón	39
6.1.1.2 Agentes de refuerzo	41
6.1.1.3 Tecnologías para la obtención de bioplástico a base de almidón	41
6.1.1.4 Propiedades Mecánicas del Bioplástico a partir de almidón	41

7. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LAS BIOMASAS ESTUDIADAS QUE SE APLICAN A NIVEL LATINOAMÉRICA Y EXTERIOR.....	50
8. FACTIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE LAS BIOMASAS ESTUDIADAS PARA APLICAR EN COLOMBIA.....	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Caracterización y ejemplos de materiales bioplásticos en función de su origen y biodegradabilidad.</i>	18
Tabla 2. <i>Resumen de los métodos utilizados por mezclas de microalgas y polímeros.</i>	27
Tabla 3. <i>Comparación de las propiedades mecánicas de los bioplásticos a base de la microalga Spirulina.</i>	32
Tabla 4. <i>Las propiedades mecánicas tales como resistencia a la tracción y alargamiento de las películas de mezcla de Chlorella / PVA.</i>	35
Tabla 5. <i>Comparación de las propiedades mecánicas de bioplástico Chlorella reportados.</i> .	36
Tabla 6. <i>Resultado de las propiedades mecánicas de la biopelícula.</i>	42
Tabla 7. <i>Resultados de las propiedades mecánicas del bioplásticos-composición del Oxido de Grafeno.</i>	43
Tabla 8. <i>Comparación de las propiedades mecánicas de bioplástico a partir de Yuca.</i>	44
Tabla 9. <i>Resultados de las propiedades mecánicas de tensión y alargamiento del bioplástico.</i>	46
Tabla 10. <i>Comparación de las propiedades mecánicas de los bioplásticos a partir de la semilla de aguacate.</i>	48
Tabla 11. <i>Propiedades del bioplástico producido por la industria Biofase.</i>	52
Tabla 12. <i>Propiedades mecánicas del bioplástico producido en la empresa ecobioplast</i>	52
Tabla 13. <i>Comparación de las características de las biomásas estudiadas.</i>	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Actividades para la realización del trabajo.....	14
Figura 2. Esquema de Tipos de Bioplásticos	18
Figura 3. Esquema de productos obtenidos de las Microalgas.	24
Figura 4. Esquema general de la producción de bioplásticos a partir de la mezcla de microalgas y polímeros.....	27
Figura 5. Resistencia a la tracción de la película bioplástica con diversos contenidos de glicerol.	30
Figura 6. Alargamiento de la película bioplástica con diversos contenidos de glicerol.	30
Figura 7. Efecto de la compatibilización sobre las propiedades de tracción de bioplásticos de PBS/ Spirulina. a) Resistencia a la tracción b) módulo de elasticidad c) alargamiento a la rotura. El contenido compuesto es 6% PBS-MAH.	31
Figura 8. Curvas de tensión-deformación de muestra de gluten plastificante con glicerol(A) y 1,4-butanodiol (B) con 0, 10, 20 y 30 % de biomasa de microalga <i>Spirulina plantensis</i>	32
Figura 9. Efecto de la compatibilización en propiedades mecánicas para la resistencia a la tracción.....	35
Figura 10. Efecto compatibilizador en propiedades mecánicas para alargamiento.	35
Figura 11. Esquema general del proceso para la obtención de bioplásticos a partir del almidón.	41
Figura 12. Efecto del PCC sobre las propiedades mecánicas de los composites. (a) resistencia a la tracción, (b) módulo de tracción y (c) deformación.....	43
Figura 13. El efecto del MCC de las fibras de la palma de azúcar y la adición de glicerol sobre la resistencia a la tracción de los bioplásticos.....	46
Figura 14. El efecto de MCC de la adición de fibra de palma de azúcar y glicerol sobre el alargamiento a la rotura de bioplásticos.....	46
Figura 15. El efecto de la variación del quitosano y del plastificante de etilenglicol sobre las propiedades bioplásticas de elongación en la rotura.....	47
Figura 16. El efecto de la variación del quitosano y plastificante de etilenglicol en bioplástico de módulo de elasticidad.....	48
Figura 17. Diseño del proceso para la producción de bioplástico a partir del almidón de Yuca.	50

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Cultivo de mircoalgas.	15
Imagen 2. Estructura del almidón	16
Imagen 3. Mecanismo de producción de microalgas.....	22
Imagen 4.Vista microscópica de algunas especies de microalgas A y B)Scenedesmus almeriensis(medio dulce); C) Chlorella vulgaris (medio dulce); D)Isochysis galbana(medio salino); E) Nannochloropsis gaditana(medio salino); F)Spirulina(medio dulce)	23
Imagen 5.Biomasa de microalga Spirulina vs Chlorella.....	24
Imagen 6. Microalga Chlorella.	25
Imagen 7. Microalga <i>Spirulina</i>	25
Imagen 8.Proceso de producción de Bioplástico a partir de microalgas de forma intracelular.	29
Imagen 9.Estructura molecular del almidón en 3D.	38
Imagen 10. Almidón de yuca.	39
Imagen 11.Almidón de la semilla del aguacate.	40
Imagen 12. Productos basadas en almidón de yuca.....	51

INTRODUCCIÓN

Los bioplásticos han logrado aumentar su tendencia de producción en las industrias de plástico y en la investigación con el paso de los años (Pizá et al., 2017). Debido a que el plástico proveniente de petróleo es un material con descomposición a muy largo plazo se estima de 150 hasta más de 1000 años (Santillán, 2018), sin considerar que la dependencia de una economía a base del petróleo tiene debilidades por la incertidumbre del precio y su suministro, esto hace que muchas empresas se inclinen por buscar alternativas. Los bioplásticos brindan esa posibilidad porque se producen en su mayor parte de recursos renovables de origen animal o vegetal, que a diferencia de los plásticos convencionales, su estructura química permite que sea degradable por ambientes biológicos activos (Bioplastics, 2016).

Actualmente, debido a la pandemia del COVID-19 se ha disparado de manera inusual el uso de plástico desechable en comparación de los años anteriores, como millones de guantes, mascarillas, desechos médicos y empaques de comida que han causado el colapso del sistema de reciclaje de algunos países (Editorial La República S.A.S., 2020). Según el programa de Naciones Unidas Para El Medio Ambiente (PNUMA), América Latina y el Caribe es una región que produce 541.000 toneladas de residuos plásticos diarias, de las cuales más del 90% no son recicladas. Para el organismo internacional, se estima que va a aumentar la producción de residuos plásticos hasta un 25% para 2050 (Naciones Unidas, 2021).

Por eso esta razón, se busca encontrar una solución técnica y medioambientalista que mitigue este problema. Aunque el reciclado es una de las soluciones para tratar los desechos plásticos no es del todo una alternativa efectiva. Los bioplásticos, suponen una solución porque son biodegradables y a base de materiales renovables (Curcio, 2015).

Los bioplásticos pueden ser procesados mediante tecnologías de los materiales termoplásticos convencionales como extrusión, inyección o soplado (Valero-Valdivieso et al., 2013). Pero los prototipos varían de acuerdo al objetivo principal de cada una de las investigaciones, por esta razón el documento se basa en el estudio actual de los científicos, que usaron materias primas como: microalgas (de los géneros *Spirulina* y *Chlorella*) y almidón extraído de productos agrícolas (como la yuca y la semilla de aguacate), para la obtención de un bioplástico dando a conocer la características y propiedades mecánicas.

1 . PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

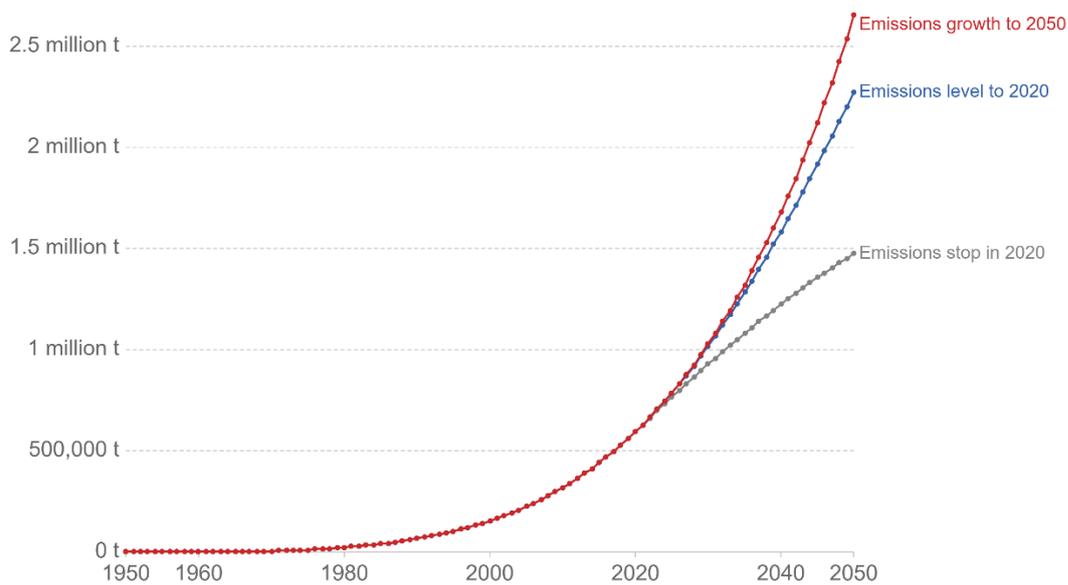
Los plásticos que se producen a partir del petróleo u otros componentes de orígenes no biológicos, causan una gran problemática debido al tiempo que se requiere para su degradación, por ejemplo, una bolsa de plástico común tarda aproximadamente 150 años y una botella PET “*Tereftalato de polietileno*” 1000 años para poder degradar sus componentes, lo que ha conllevado un gran impacto ambiental (Santillán, 2018). Esto se debe principalmente a la gran acumulación de plástico, que se encuentran desde los rellenos sanitarios hasta en los mares y océanos, trayendo consigo enfermedades y miles de muertes de especies marinas. Según Crawford (2017), hay apropiadamente 150 millones de toneladas de plásticos en el océano y 8 millones de toneladas de plásticos que ingresan anualmente en él. Se estima con los datos anteriores que esta última cifra aumentaría hasta 16 millones de toneladas para el año 2030 y aproximadamente a 32 millones de toneladas para el año 2050, en términos críticos nos indica que habría más plástico que peces, no más la cantidad de microplástico en el océano global se puede observar en el grafico 1.

En Colombia se ve la contaminación por acumulación de plástico en los Manglares del Caribe, de acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, este es considerado el eslabón entre la vida marítima y la vida terrestre, cuya importancia ecológica se debe a que protegen, refugian y albergan un gran número de especies (Ambiente, 2019).

La problemática sobre la acumulación de plástico que cada día se encuentra más en aumento, se debe tomar ciertas medidas como la implementación alternativa de un material más ecológico y con un menor impacto ambiental, por esta razón es necesario dar a conocer en un estudio bibliográfico de los procesos más novedosos que se están realizando para la producción de bioplásticos, identificar las tecnologías que se están implementando y la posibilidad de su aplicación en Colombia. Principalmente, se contextualiza en procesos de biomásas que se están investigando por su potencial para producir bioplásticos como son las microalgas que ofrecen ventajas debido a su elevado contenido de lípidos, proteínas, carbohidratos así como su velocidad de crecimiento relativamente alta, además no requieren suelo fértil o de calidad, es decir, no compiten con las actividades agrícolas lo que las hacen una materias prima muy favorable por sus características para ser objeto de estudio en la obtención de bioproductos (Palomino et al., s. f.). De igual forma se ha centralizado en el uso del almidón como materia

prima debido a su disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económica en relación al petróleo (Chariguamán C. et al., 2015).

El propósito de este estudio colectivo es lograr que en Colombia se investiguen y que el lector tenga un conocimiento sobre los procesos de producción de bioplástico, pero sobre todo se logre una sensibilización del uso moderado de plástico convencional, para que se le dé más importancia a esta problemática, que se tome el bioplástico biodegradable como una alternativa de solución que mitigaría el daño al medio ambiente.



Source: Lebreton et al. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean.

CC BY

Gráfico 1. Microplásticos en la superficie de Océano global.

Fuente:(Lebreton et al., 2019)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio colectivo de los procesos recientes, para la obtención de bioplásticos a partir de distintas biomásas y su posible aplicación en Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar las propiedades mecánicas reportadas de los bioplásticos obtenidos a partir de las microalgas *Spirulina*, *Chlorella* y de almidones de yuca y semilla de aguacate, definiendo cuál tiene mejores propiedades.
- Identificar cuáles de los procesos para obtener bioplásticos en base a las biomásas estudiadas, se han venido ejecutando industrialmente en países del exterior y Latinoamérica .
- Determinar cuáles de las tecnologías de obtención de bioplásticos mencionadas sería más factible su práctica en Colombia.

3. METODOLOGIA

Se realiza una investigación colectiva en las revistas que publican investigaciones originales sobre todos los aspectos de la ciencia, la ingeniería y la tecnología de los polímeros como: Macromolecular Research, Journal of Engineering Science and Technology, International Journal of Biological Macromolecules, Journal of Polymers and the Environment, Carbohydrate Polymers, Food Science and Technology, entre otras, para el estudio de las tecnologías de obtención de bioplásticos a partir de las biomásas que son microalgas *Spirulina*, *Chlorella* y materiales agrícolas que contienen almidón como la yuca y la semilla del aguacate.

Para llevar a cabo la investigación se tuvo en cuenta cuatro actividades que son las siguientes:



Se realiza una revisión bibliográfica en la base de datos de Google Scholar y la biblioteca virtual de la Universidad de Pamplona, que permite acceder a Springerlink, y ScienceDirect, que provee 1.390 y 6.025 artículos respectivamente sobre el tema.



La investigación se limita a la búsqueda teniendo en cuenta los objetivos planteados, con el fin de tener sólo la información de mayor interés.



La recolección de información de una manera organizada, utilizando el programa Mendeley, que permite llevar un orden y gestionar las citas bibliográficas de forma más eficaz.



Se analiza la información recolectada y se redacta el documento final, el cual consiste en cuatro secciones Marco teórico, Microalgas, Almidón, Procesos industrializados y factibilidad de la aplicación en Colombia.

Figura 1. Actividades para la realización del trabajo.

4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

Los plásticos convencionales forman parte de numerosos productos de nuestra vida cotidiana, como por ejemplo polipropileno(PP) que se deriva a partir del gas propileno se usa para la fabricación de maletas, envases de alimentos, piezas de automóviles, electrodomésticos entre otros(Posada Bustamante, 2018). Pero a medida que, se va incrementando la conciencia social y demanda en nuestra sociedad de productos sostenibles con menor impacto medioambiental, los plásticos de origen natural o sostenible se están convirtiendo en el material de elección para un número cada vez mayor de compañías en todo el mundo. Cuando se habla de bioplástico, el prefijo BIO hace referencia a la biodegradabilidad y la posibilidad de la recuperación orgánica de los residuos. Se prevé que el mercado mundial de bioplásticos crecerá en más del 15% en los próximos cinco años, . Los biopolímeros como polipropileno(PP) y polihidroxicanoatos (PHAs) están impulsando este crecimiento (AIMPLAS,2020). Según Vicenti, M.(2021) «esta tendencia es posible gracias a la creciente demanda de productos sostenibles por parte de los consumidores y las marcas por igual, y los continuos esfuerzos de la industria de los bioplásticos para desarrollar materiales innovadores con mejores propiedades y nuevas funcionalidades.



Imagen 1. Cultivo de mircoalgas.

Fuente: (Peinaso.2016)

Las microalgas actualmente se estudia su cultivo (ver Imagen 1),porque son una fuente potencial, ya sea utilizándolas como biomasa directa o secundaria en donde por ejemplo, el estudio realizado por A. Rahman, C.D. Miller (2017), describe que los bioplásticos producidos a partir de microalgas tienen características similares a los plásticos a base de petróleo y, por lo tanto, pueden incorporarse a la infraestructura y las aplicaciones existentes. Además, los bioplásticos derivados de microalgas también pueden ser biodegradables, lo que también los hace amigables con el medio ambiente.

El uso de materiales contenidos de almidón (se muestra su estructura molecular en la Imagen 2), como biomasa se han venido desarrollando nuevas tecnologías como por el ejemplo, el uso de extracto de almidón con nanocompuestos, los cuales consisten en unas matrices que contribuyen al mejoramiento de la resistencia mecánica y física del material, para mejorar el bioplástico que se produce a partir del almidón también se implementan partículas de arcilla como montmorillonita (MMT), la hectorita, la saponita y la laponita, las cuales mejoraron significativamente la características mecánicas del bioplásticos debido a que estas se agregan como plastificante, el cuál forma una barrera que permite al bioplástico producido por almidón de maíz, tenga mayor resistencia a la humedad y menos fragilidad (Mose & Maranga, 2011).

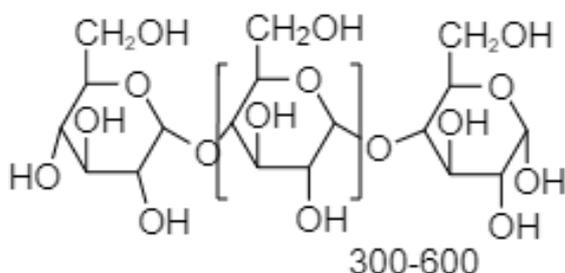


Imagen 2. *Estructura del almidón*

Fuente: Elaboración propia.

Los bioplásticos al ser una fuente posible de desarrollo sostenible por el uso de recursos renovables para su producción y la biodegradabilidad de los plásticos, constituyen la oportunidad estratégica para la exigencia medio ambiental gestada durante estos últimos años, debida a la acumulación de materiales sintéticos (Coppola et al., 2021). Es común escuchar que los bioplásticos de fuente renovable representan una amenaza a la seguridad alimentaria global. Sin embargo, aunque este si es un factor a tener en cuenta en la medida que la demanda de plásticos bio-basados aumente (Karan et al., 2019), en la actualidad la proporción de tierra utilizada para la producción de estos es aún marginal (0,02% del total de tierras agrícolas a nivel global); además, se han desarrollado plásticos renovables de segunda y tercera generación que utilizan fuentes no alimentarias (Gonzáles, 2020).

4.1 BIOPLÁSTICO: DEFINICION, TIPOS Y PRODUCCION

4.1.1 Definición

Actualmente, la que comúnmente es aceptada, es que es un material de origen biológico o biodegradable, o se considera que es un biopolímero o polímero de base biológica, aunque puede haber una gran variedad de materia biológica para su obtención. La biomasa puede, o bien extraerse directamente de las plantas (como el almidón y la celulosa) o estar producidas por microorganismos en procesos fermentativos (Labeaga, 2018). Por esta razón, se considera que es un material capaz de ser descompuesto de forma aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismo en las condiciones que se encuentra en la biosfera (Meza, 2016).

4.1.2 Tipos de bioplástico

No obstante, se considerar que hay dos tipos de bioplásticos que son :

- Polimeros basados en recursos renovables
- Polimeros biodegradables que cumplen criterios de compostaje y biodegradabilidad.

El primer grupo no suele ser precisamente biodegradables o de compostaje, aunque en su gran mayoría lo sean. Los del segundo no necesariamente provienen de materias primas renovables para que estos cumplan con las normas de biodegradabilidad EN 13432 (Europea), AS 4736 (Australia), ISO 17088 (Internacional) y ASTM D6400. De hecho, son producidos de industrias petroquímicas, los cuales lo certifican de biodegradables o compostables, según porque el termino de biodegradabilidad se relaciona es con la estructura química y no con el origen de las materias primas (Ventures, 2007).

Para resumir y con el fin de contextualizar se muestran los tipos de bioplásticos en el siguiente esquema, donde se determinan algunas de las biotecnologías para su obtención:

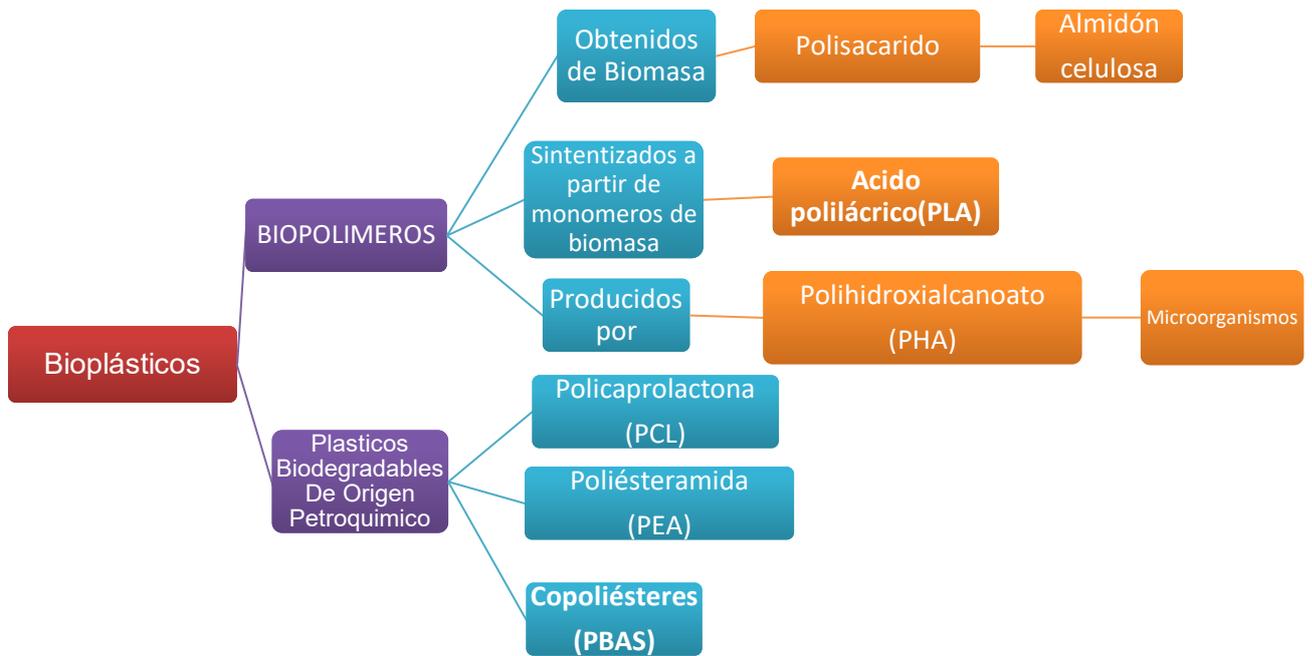


Figura 2. Esquema de Tipos de Bioplásticos

Fuente:(Fernandez&Vargas, 2015).

Los plásticos pueden estar hechos de materiales de base biológica o fósil y pueden ser biodegradables o no biodegradables, pero cómo saber cuales son compostables o degradables. Por esta razón hay que saber la clase de plásticos degradables tanto de base biológica como fósil. La Tabla 1 resume los tipos de bioplásticos.

Tabla 1.Caracterización y ejemplos de materiales bioplásticos en función de su origen y biodegradabilidad.

	Base Biológica	Base de petróleo
Biodegradable	Bioplástico. Ejemplos:Ácido poliláctico, polihidroxialcanoatos, alcanoatos, celulosa, almidon, Carbono, entre otros.	Bioplásticos -P.ej: Polibutileno, succinato Polibutileno, Adipar tereftalato, Policaprolactona.
No biodegradable	Bioplásticos -P.ej: Biopolipropileno, Biopolietileno,	Plástico convecional -P.ej: Polipropileno, Polietileno, Poliestireno, Cloruro polivinilo.

	cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), entre otros.	
--	---	--

Fuente:(Sidek et al., 2019).

- De base biológica y biodegradable

Los bioplásticos pertenecientes a esta categoría podrían producirse a partir de biomasa vegetal, productos de fermentación microbiana y polímeros de origen animal para emular el ciclo de vida de la biomasa que produce CO₂ y agua conservando los recursos fósiles.(Bioplastics, 2016). Las materias primas de origen vegetal (que incluyen aceite vegetal, almidón de trigo, arroz, cebada, avena y soja, fibras obtenidas de piña, yute, cáñamo, hojas de henequén y tallo de plátano, etc.) se utilizan para extraer almidón termoplástico, lignina., caucho, celulosa, etc. necesarios para la producción de bioplásticos (Jabeen et al., 2015).

Los bioplásticos derivados de fuentes microbianas son principalmente poliésteres [por ejemplo, poli (ácido 3-hidroxi-butírico)] que son polímeros de almacenamiento producidos enzimáticamente por ciertos microbios para apoyar su supervivencia y crecimiento cuando se someten a diferentes estresores ambientales y de nutrientes Dado el alto costo de producción y recuperación, el uso de fermentación microbiana para la producción de bioplásticos es todavía muy limitado (Sudesh, K., Abe, H., & Doi, Y. 2000).

- De base biológica y no biodegradable

Los productos bioplásticos como el ácido poliláctico (PLA), los almidones termoplásticos (TPS), los polihidroxicanoatos basados en materias primas naturales o renovables siguen el mismo camino, tecnología, equipos y maquinaria que sus homólogos convencionales. Por lo tanto, son esencialmente una copia "bio-similar" de los plásticos convencionales (basados en fósiles) y no son biodegradables ni compostables (Abu-sharkh & Al-harhi, 2011).

También se les conoce como 'drop-ins' en ocasiones pueden contener almidón u otros componentes biodegradables en cantidades más pequeñas para acelerar su fragmentación. Como consecuencia, una vez fragmentados en microplásticos, estos

bioplásticos tienen esencialmente el mismo impacto ambiental que los plásticos de origen fósil (Greene & Tonjes, 2014).

Un ejemplo digno de mención es "Plantbottle", un material lanzado en 2009 por la empresa Coca-Cola, en el que el ingrediente a base de combustible fósil utilizado para fabricar un ingrediente clave en el plástico PET, fue reemplazado por materiales renovables de plantas. (30% a base de plantas). Coca-Cola informó que "Plantbottle" ha ayudado a prevenir 365.000 toneladas métricas de emisiones potenciales de CO₂ desde su introducción. Aunque la botella vegetal es reciclable, las propiedades del producto son idénticas a sus versiones convencionales (no biodegradable, ni compostable), aunque la hoja en su diseño sugiere lo contrario. La advertencia aquí es que su éxito se basa en una tasa de reciclaje del 100%; de lo contrario, las botellas de plantas podrían producir microplásticos similares a las botellas de plástico convencionales (The Coca-Cola Company, 2019).

- A base de fósiles y biodegradable

Algunos polímeros de origen fósil utilizados para la producción de bioplásticos poseen inherentemente una cierta cantidad de biodegradabilidad, incluidos poliésteres alifáticos como succinato de polibutileno (PBS), policaprolactona (PCL), ácido poliglicólico (PGA) y alcohol polivinílico (PVOH); poliésteres aromáticos como tereftalato de polibutileno (Tabla .1). Los estudios de degradación de polímeros sugieren que las características de la cadena como hidrofiliidad, reactividad, estabilidad del grupo funcional; y las propiedades mecánicas como el peso molecular (MW) y la elasticidad generalmente dictan la biodegradabilidad, no el origen de las materias primas (James.M&Matthet.S,2012).

Por ejemplo, el PCL, que no es de base biológica, puede degradarse completamente después de solo seis semanas en condiciones de compost que utilizan lodos activados, dado que no hay aditivos presentes (E-caprolactone, 2000).

4.1.2 Producción de bioplástico

Según un estudio de Plastics Europe (2020) ,actualmente los bioplásticos representan el 1% de la producción anual de plástico en el mundo. Pero a medida que aumenta la demanda, y con la aparición de biopolímeros, aplicaciones y productos más sofisticados, el mercado de los bioplásticos crece y se diversifica continuamente.

Según los últimos datos de mercado recopilados por European Bioplastics en cooperación con el Nova-Institute, se prevé que la capacidad mundial de producción de bioplásticos aumente de alrededor de 2,11 millones de toneladas en 2020 a aproximadamente 2,87 millones de toneladas. en 2025.

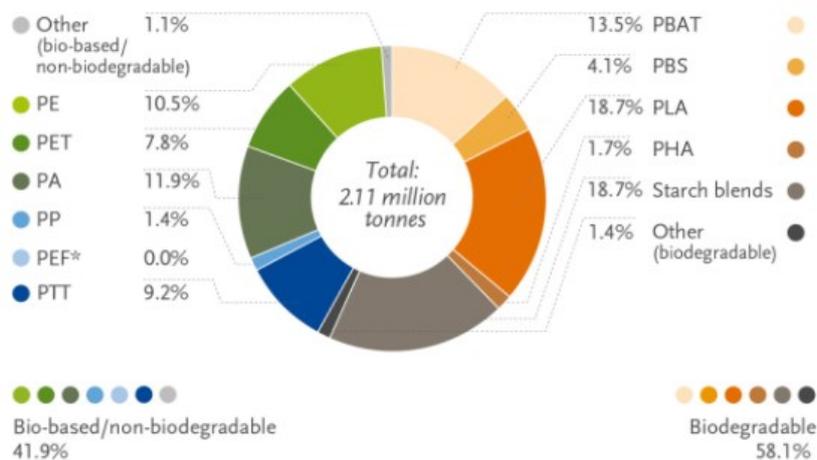


Grafico 2. Capacidad de producción de bioplástico a nivel mundial (2020) (por tipo de material).

Fuente: Europa Bioplastic,(Nova-Institute, 2020)

5. MICROALGAS

Son microorganismos (2-200 μm) unicelulares y multicelulares simples, ya sean procariotas (cianobacterias) o eucariotas (también llamadas microalgas en un sentido más estricto) que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis, es decir genera biomasa a partir de nutrientes , CO_2 y luz, además usa el agua como portador de electrones y de esta forma oxidándola para la obtención de O_2 . Aunque estos dos géneros biológicamente son diferentes, las cianobacterias entran al grupo de microalgas, es porque son capaces de realizar la fotosíntesis, pero a diferencia de las microalgas es que ellas si fijan el N_2 . Pero no son tan utilizadas porque su estructura es muy simple, a causa de ser procariotas y no poseer núcleo como las microalgas, por lo tanto, se obtienen variedad de productos de mayor interés.

Las microalgas tienen altas tasas de crecimiento y eficiencias fotosintéticas (ver Figura 3), debido a sus estructuras simples. Se estima que la productividad de la biomasa de las microalgas podría ser 50 veces mayor que la del pasto varilla, que es la planta terrestre de más rápido crecimiento.(Romero et al., 2017)

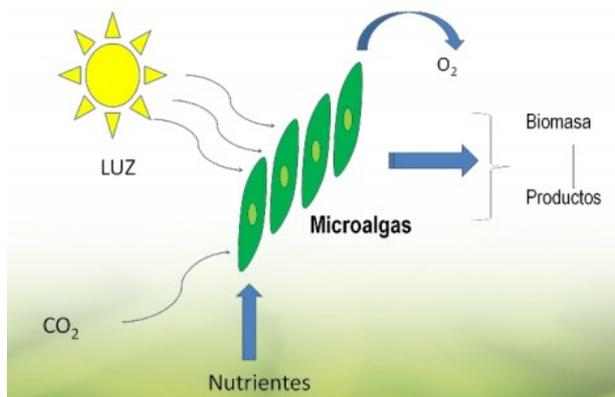


Imagen 3. Mecanismo de producción de microalgas.

Fuente: (García Pérez, 2016).

Las microalgas son extensas e inexploradas existen una gran variedad de grupos de estos organismos, gracias a su capacidad de adaptación se estiman que hay 30.000 especies catalogadas, pero van en aumento porque cada vez se descubre una especie diferente. La realidad es que no existe una economía para lograr explotar y estudiar todas las especies, solamente 100 han sido investigadas y 10 utilizadas industrialmente.(González Céspedes, 2015). En la Imagen 4, se observa la vista microscópica de algunas especies de microalgas.

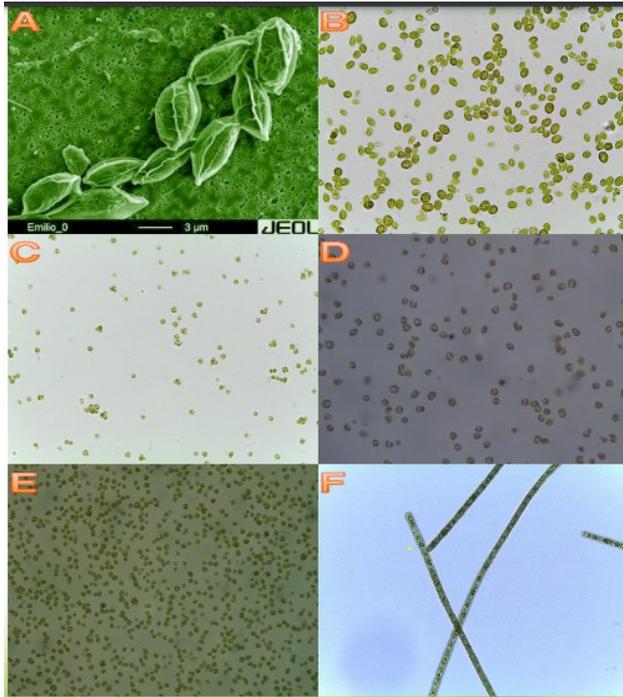


Imagen 4. Vista microscópica de algunas especies de microalgas A y B) *Scenedesmus almeriensis* (medio dulce); C) *Chlorella vulgaris* (medio dulce); D) *Isochysis galbana* (medio salino); E) *Nannochloropsis gaditana* (medio salino); F) *Spirulina* (medio dulce)

Fuente: Estación experimental Cajamar, Las Palmerillas.

5.1 APLICACIONES DE LAS MICROALGAS

Los avances en la ingeniería que se han dado en los últimos tiempos han permitido que las microalgas sean utilizadas para distintos fines como en industrias de cosméticos, salud humana, purificación de agua residuales, prevención de la contaminación acuática, industrias farmacéuticas, acuicultura, producción de pigmentos, antibióticos, industrias de alimentos, entre otros. Debido a que la biomasa de las microalgas contiene proteínas, lípidos esenciales, pigmentos, carbohidratos, minerales y vitaminas, lo que la hace poseer cualidades para la obtención de productos biológicos. Esto genera grandes líneas de investigación para los científicos, pero se debe tener en cuenta que son muy pocas las especies estudiadas y para los empresarios posibilidades de negocio debido a su variedad de aplicación (Santo.A et al, 2014). En la figura 3 se puede ver la variedad de productos obtenidos de las microalgas.



Figura 3.Esquema de productos obtenidos de las Microalgas.

Una de las aplicaciones más novedosas y de investigación que tiene como objeto esta monografía es el uso de microalgas para la obtención de bioplásticos, teniendo en cuenta que las microalgas pueden participar de forma directa en indirecta en la producción de estos.

5.1.1 PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE MICROALGAS.

5.1.1.1 Especies de microalgas

Como se menciona anteriormente existen una gran variedad de especies de microalgas, pero las más investigadas en la producción de bioplásticos por mezcla de polímeros se centra en la especie de género de algas verdes *Chlorella* y la cianobacteria *Spirulina*, en la imagen 5 se puede ver sus biomazas.



Imagen 5.Biomasa de microalga *Spirulina* vs *Chlorella*.

Fuente: *Revista Gastronómica*

- ***Chlorella***

Es un género de algas verdes como se observa en la imagen 6, que se puede encontrar en agua dulce y contiene alrededor del 58% (en peso) de proteína. Tiene una mayor resistencia al agrietamiento debido a sus densas paredes celulares y una mayor estabilidad térmica en comparación con la *espirulina*. Esta especie se utiliza a menudo en mezclas de biomasa-polímero. Según Zeller et al. (2013), después de comparar la producción de bioplásticos a partir del 100% de biomasa de microalgas y mezclas que contienen aditivos y polímeros, se encontró que la mezcla es necesaria para aplicaciones comerciales. (Zeller et al. 2013)

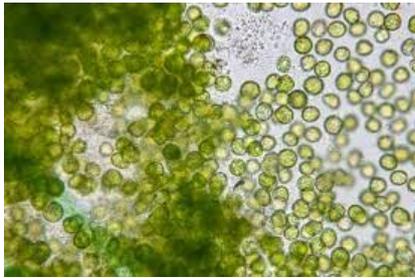


Imagen 6. Microalga *Chlorella*.

Fuente: (Marcus, 2020).

- ***Spirulina***

La spirulina o espirulina (*Arthrospira*) es una bacteria perteneciente al grupo Cyanobacteria, como se observa en la imagen 7. Se trata de organismos unicelulares y fotoautótrofos, a pesar de ser unicelulares se agrupan formando tricomas o formas filamentosas. La espirulina es un alga fotosintética pluricelular, minúscula, de color verde azulosa, de apenas medio milímetro de longitud. La palabra en Latín *spirulina* significa espiral pequeña, referida a la forma de su estructura. Debe el color verde a la clorofila, y el azul a la ficocianina, que se utiliza durante muchos años en la industria alimentaria como fuente de proteínas, es conocida por su potencial de adaptación a entornos extremos (Fernández & Alvítez, 2019).

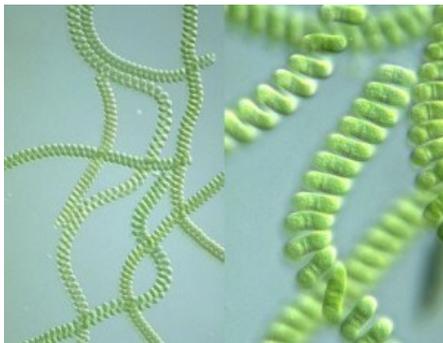


Imagen 7. Microalga *Spirulina*.

Fuente: (Alonso, 2018)

5.1.1.2 Tecnologías para la obtención de bioplásticos.

Las técnicas que se han venido implementando para la producción de bioplásticos a partir de microalgas todavía se realiza en escala de laboratorio y se centran en la viabilidad de los diseños, estos procesos se distinguen en la utilización de las microalgas si es de forma directa o indirecta (Cinar et al., 2020).

- **Uso directo de las microalgas.**

La técnica más implementada es la compresión, donde ya obtenida la mezcla de microalgas con polímeros y aditivos se comprime a elevadas temperaturas y presiones durante un corto periodo (Cinar et al., 2020). Los parámetros de compresión varían significativamente en la literatura, es decir temperaturas entre 130 a 160 °C, la presión de compresión entre 20 KPa a 10 MPa, mientras que el tiempo de moldeo entre 3 a 20 minutos (Jabeen et al., 2015). Sin embargo, antes del proceso de moldeo se debe haber mezclado de forma uniforme las microalgas con los polímeros, al igual que el proceso de moldeo hay variaciones entre una publicación y otra, por causa a que aún no hay valores estandarizados. Por ejemplo en la investigación de Fabra et al, (2018), la cual consiste en la mezcla de películas de almidón de maíz con tres distintas microalgas (*annochloropsis* , *Spirulina* y *Scenedesmus*), realizaron la homogenización en un mezclador interno Plastograph de Brabender a 130 ° C y 60 rpm durante 4 minutos antes del moldeo por compresión. Además del moldeo por compresión, algunos estudios adaptaron variaciones excluyendo el elemento de presión. El método utilizado en el estudio de Dianursanti & Khalis (2018), que consiste en la mezcla de la microalga *Chlorella vulgaris* con PVA(*alcohol de polivinilo*), realizaron un calentamiento a la mezcla que fue fundida en moldes en hornos sin compresión.

Las técnicas de moldeo produjeron prototipos de diferentes formas y tamaños, dependiendo de las dimensiones del molde utilizado. Los prototipos pueden tener la forma de películas (Fabra et al., 2018) , losas (Ciapponi et al., 2019) , huesos de perro o barras flexibles rectangulares (Zeller et al. 2013). El propósito del estudio determina las formas necesarias. Por ejemplo, (Fabra et al, 2018) estaban interesados en desarrollar envases biodegradables mientras que Zeller et al. (2013) tienen un enfoque más amplio en términos de aplicación de productos, incluidos los productos hortícolas.

La fundición con disolventes es otra vía de producción de prototipos que se utiliza para películas. Aquí, la biomasa, los polímeros y los aditivos de una formulación se disuelven en un

disolvente, se vierten sobre las superficies y se secan para formar películas. Los parámetros también varían de una publicación a otra. En un estudio produjeron películas de microalgas *Chlorella* con PVA dispersando los componentes en agua, vertiendo la mezcla sobre placas de vidrio y secando al aire por 24 horas . (Sabathini et al., 2018). En el esquema 4, se puede observar las tecnologías para la obtención de bioplásticos a partir de las mezclas de las microalgas con los polímeros.



Figura 4.Esquema general de la producción de bioplásticos a partir de la mezcla de microalgas y polímeros.

La mayoría de las publicaciones se centran en probar la viabilidad del diseño de mezclas y optimizar la concentración de los componentes. Los métodos de producción empleados suelen ser a escala de laboratorio. Sin embargo, también se implementaron métodos más escalables, como el moldeo por inyección y la extrusión de doble tornillo. Para preparar prototipos de biomasa residual de microalgas obtenida como subproducto del proceso de biodiesel (RMB) en una mezcla con PBAT (poli (adipato-co-tereftalato de butileno)), (Torres et al., 2015) utilizaron una combinación de extrusión de micro tornillos gemelos a 140 ° C, 100 rpm durante 2 min y posterior moldeo por inyección a 30 ° C.

Por lo general, los parámetros no varían dentro de cada estudio, ya que el enfoque principal de la investigación suele ser la optimización de la concentración de componentes dentro de la mezcla.

Tabla 2.Resumen de los métodos utilizados por mezclas de microalgas y polímeros.

Componentes de la mezcla	Métodos de producción	Cita
<i>annochloropsis</i> , <i>Spirulina</i> y <i>Scenedesmus</i> en- películas de almidón de maíz y aditivos	Derretir mezcla, moldeo por fundición y fundición solvente.	Fabra et al., (2018).

<i>Chlorella vulgaris</i> -PVA y aditivos	Derretir mezcla y moldeo caliente	Dianursanti & Khalis, (2018).
<i>Spirulina platensis</i> (SP) - gluten de trigo y aditivos.	Moldeo por compresión.	Ciapponi et al., (2019)
<i>Chlorella</i> y <i>Spirulina</i> -mezclas termoplásticas	Moldeo por compresión.	Zeller et al. (2013)
<i>Chlorella</i> -PVA	Fundición solvente	Sabathini et al., (2018)

- **Uso indirecto de las microalgas**

Esta producción consiste en la modificación de las células de microalga de tal forma que se obtenga el bioplástico de forma intracelular o por medio de un proceso fermentativo usando biomasa de microalgas. Las investigaciones se centran principalmente en la obtención de Polihidroxibutirato (PHB), por la gran cantidad de microbios que los sintetizan de forma natural. Algunas investigaciones se centraron más en métodos y parámetros de cultivo. (Troschl, 2018) probó un fotobiorreactor a escala piloto utilizando *Synechocystis sp.* Donde utiliza la estrategia de cultivo en dos etapas en la que se prioriza el crecimiento durante la primera etapa con los nutrientes disponibles y la producción de PHB se induce en la segunda etapa cuando los nutrientes se agotan. En un estudio emplearon una estrategia de cultivo de dos etapas, primero fototrófico seguido de heterotrófico, de cianobacterias para la producción de PHB (Monshupanee et al., 2016).

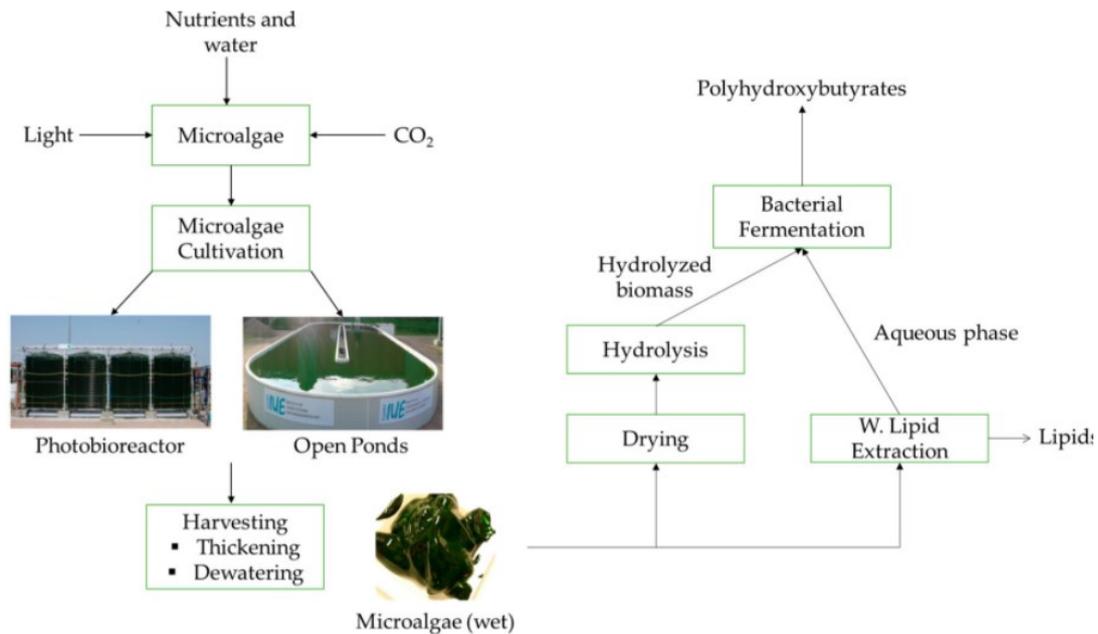


Imagen 8.Proceso de producción de Bioplástico a partir de microalgas de forma intracelular.
Fuente: (.A Rahman,2017)

5.1.1.3 Propiedades mecánicas de los Bioplásticos a partir de las microalgas

Las propiedades mecánicas de la película bioplástica que se analizaron fueron la resistencia a la tracción y el alargamiento según ASTM D882. La resistencia a la tracción es la carga máxima donde la muestra puede mantener su forma antes de fallar. El alargamiento es la relación entre la longitud máxima de la muestra antes de la falla y su resistencia inicial La resistencia a la rotura incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.(Dianursanti et al., 2018)

- **Bioplástico a partir de la microalga *Spirulina***

Resultados de los ensayos de tensión en los distintos estudios de los bioplásticos partir de la *Spirulina*:

1. Dianursanti et al., (2018).

En la **Figura 4** muestra que, en esta investigación, la concentración de plastificante es inversamente proporcional a la resistencia a la tracción de la película bioplástica. La resistencia a la tracción de la película bioplástica mostrada es 30,8 kgf / cm² (15% en peso), 29,6 kgf / cm² (20% en peso), 28,3 kgf / cm² (25% en peso) y 27,7 kgf / cm² (30% en peso). Un aumento del 5% del contenido de plastificante disminuyó la resistencia a la tracción de la película bioplástica en 1,2 kgf / cm². Con un aumento del 10% del contenido de plastificante,

la resistencia a la tracción de la película bioplástica disminuyó en 2,5 kgf / cm². Al agregar el contenido de plastificante en un 15%, la resistencia a la tracción de la película bioplástica disminuyó en 3,1 kg / cm².

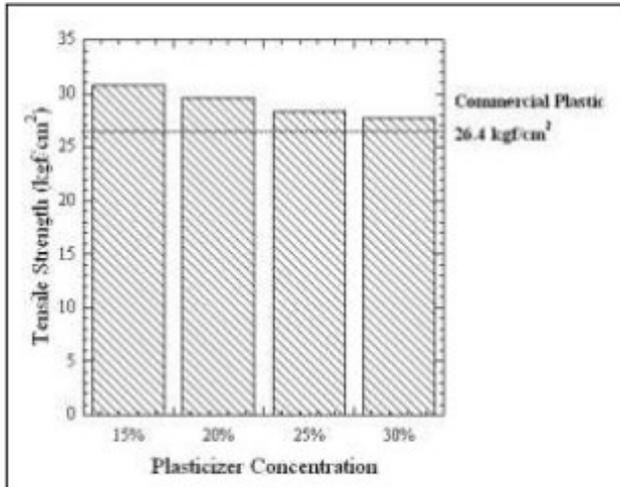


Figura 5. Resistencia a la tracción de la película bioplástica con diversos contenidos de glicerol.

Fuente:(Dianursanti et al., 2018)

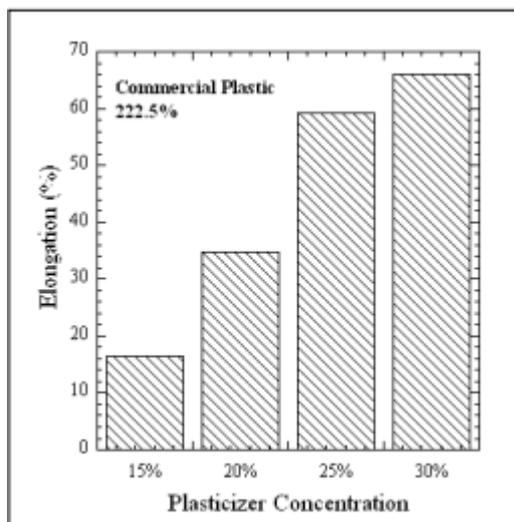


Figura 6. Alargamiento de la película bioplástica con diversos contenidos de glicerol.

Fuente:(Dianursanti et al., 2018)

La **figura5** muestra que, en esta investigación, la concentración de plastificante es proporcional al alargamiento de la película bioplástica. El alargamiento de las películas bioplásticas es del 16,4% (15% en peso), 34,8% (20% en peso), 59,2% (25% en peso) y 66% (30% en peso). Un aumento del 5% del contenido de plastificante aumentó el alargamiento de la película

bioplástica en un 18,4%. Con un aumento del 10% del contenido de plastificante, el alargamiento de la película bioplástica aumentó en un 42,8%. Y el aumento del 15% del contenido de plastificante aumentó el alargamiento de la película bioplástica en un 49,6%. Esto muestra que, con la adición de 1,2 ml de glicerol, el alargamiento de la película bioplástica aumentó drásticamente.

2. Zhu et al., (2017)

En la **Figura 6**. Se tenía en cuenta que, el PBS puro tenía una resistencia a la tracción de 38,1 MPa, un módulo de Young de 91 MPa y un alargamiento a la rotura de 1000%. Después de la incorporación de *Spirulina*, todos los compuestos exhibieron un módulo de Young mucho más alto, una tasa de alargamiento más baja y una resistencia a la tracción más baja. Con la adición del compatibilizador PBS-g-MAH, la resistencia a la tracción y el módulo de Young de todos los compuestos aumentaron, mientras que el alargamiento a la rotura se redujo en comparación con los compuestos no compatibles. La máxima mejora de la resistencia a la tracción se observó para el compuesto con 50% de carga de espirulina, que mostró un Aumento del 69,1% Figura 6 (a). Además, el módulo de Young de compuestos compatibilizados exhibió un grado más alto aumento en comparación con los composites no compatibles con un contenido creciente de espirulina Figura 4 (b) lo que indica que el compatibilizador mejora. Sin embargo, el alargamiento a la rotura mostró una reducción, y se observa una reducción máxima para el compuesto con una carga de espirulina del 30% Figura 4 (c).

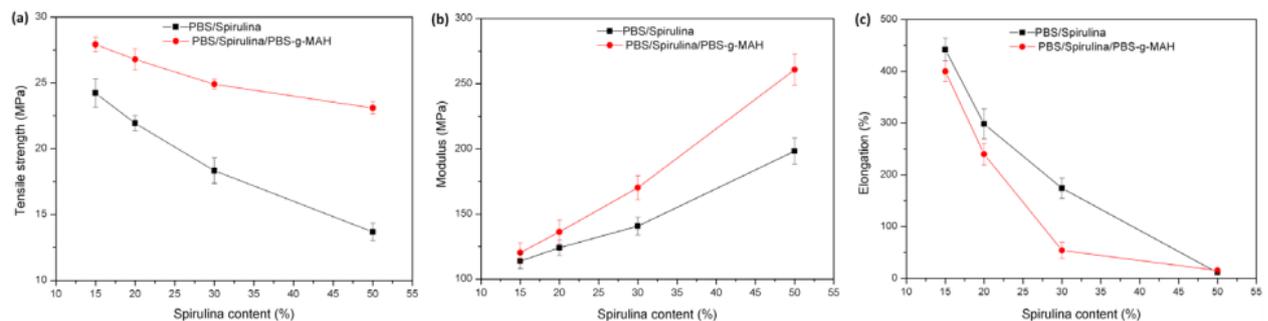


Figura 7. Efecto de la compatibilización sobre las propiedades de tracción de bioplásticos de PBS / Spirulina. a) Resistencia a la tracción b) módulo de elasticidad c) alargamiento a la rotura. El contenido compuesto es 6% PBS-MAH.

Fuente: Zhu et al., (2017).

3. Ciapponi et al., (2019):

La **figura 7**. Muestra que, la adición de biomasa de microalgas aumentó significativamente el módulo elástico y la resistencia a la tracción de los compuestos de gluten plastificados, mientras

que disminuyó progresivamente su alargamiento a la rotura. Por otro lado, la introducción del plastificante, que era necesaria para permitir un procesamiento termoplástico del compuesto, dio lugar a un material sin relleno muy blando y con propiedades mecánicas bastante pobres. El aumento de la cantidad de biorelleno provocó un aumento del módulo de tracción (E_t) y la resistencia a la tracción (σ_B), mientras que el alargamiento a la rotura (ϵ_B) se redujo, con una diferencia significativa para muestras con 30% de biomasa de microalgas. La tenacidad, estimada por el área bajo la curva, no tuvo una tendencia clara, sin embargo, en algunos casos, especialmente con el plastificante 1,4-butanodiol, aumentó con respecto al material sin relleno (como BU35SP10 y BU35SP20).

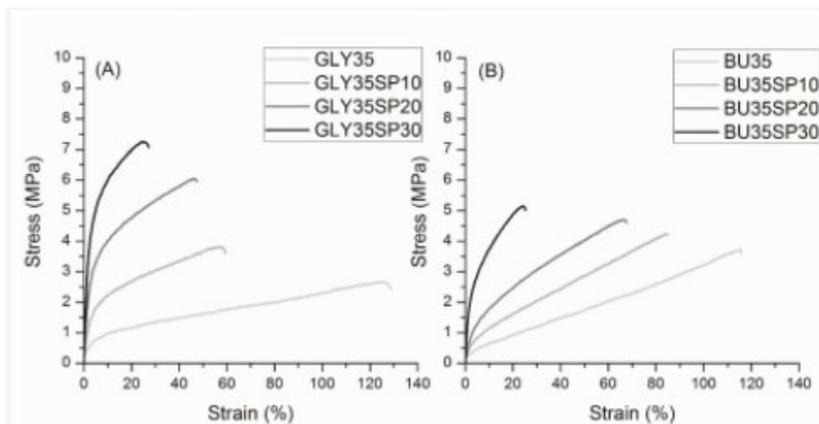


Figura 8.Curvas de tensión-deformación de muestra de gluten plastificante con glicerol(A) y 1,4-butanodiol (B) con 0, 10, 20 y 30 % de biomasa de microalga *Spirulina plantensis*.

Fuente: Ciapponi et al., (2019)

Tabla 3.Comparación de las propiedades mecánicas de los bioplásticos a base de la microalga *Spirulina*.

Muestra	Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento a la rotura (%)	Módulo de elasticidad MPa	Cita
S.platensis / Glicerol / polivinilo y anhídrido	2.7	66	No reporta	(Dianursanti et al., 2018)
poli (succinato de butileno) (PBS) / <i>espirulina</i> 15%/ anhídrido maleico(MAH)	24,9	450	154	(Zhu et al., 2017)
glicerol / 1,4-butanodiol/ <i>espirulina</i> 20%/glúteo de trigo	4,9	60,7	273,1	(Ciapponi et al., 2019)
S.platensis / Glicerol / polivinilo y anhídrido	2,77	59,16	No reporta	(Dianursanti et al., 2019)

Con base a la tabla 3, se realiza una descripción analítica de cada uno de los estudios realizados para la microalga de género *Spirulina*. En la investigación de Dianursanti et al.,(2018), se estudiaba la obtención de un bioplástico con propiedades mecánicas que lograrán imitar a las de bolsas plásticas convencionales, de acuerdo a los valores reportados el bioplástico obtenido tiene alta resistencia a la tracción, pero su valor bajo en la propiedad de alargamiento no permite que se logre usar como plástico para bolsas, sin embargo para productos que no requiere un gran alargamiento como materiales de envasado, farmacia y cosméticos si logra ser útil. Mientras que en el estudio realizado por Zhu et al.,(2017) se quería mejorar la propiedades del PBS-Espirulina, así que le añadieron anhídrido maleico para mejorar la compatibilidad de la mezcla PBS-Espirulina, se obtuvieron mejoras en el bioplástico con respecto a las propiedades de tracción y módulo elástico, pero su valor de alargamiento se disminuyó. Por último, la investigación de Ciapponi et al., (2019) la microalga *Spirulina* se usa como relleno en el termoplástico de gluten de trigo plastificado, lo que mejora las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, igualmente el módulo elástico, pero el alargamiento disminuye. En las

tres investigaciones de obtención se puede ver una problema en común y es la mejora del alargamiento que aún sigue siendo un caso de estudio, pero también se puede concretar que la biomasa a base de la cyanobacteria mejora las propiedades de resistencia a la tracción de los bioplásticos.

- **Propiedades Mecánicas de *Chlorella***

Resultados de los ensayos de tensión en los distintos estudios de los bioplásticos partir de la *Chlorella*:

1. Dianursanti & Khalis, (2018):

La **Figura 8** Se observa que las muestras sin usar compatibilizador muestran el valor de resistencia a la tracción más alto. Sin embargo, después de la adición del 2% de anhídrido maleico, el valor de la resistencia a la tracción tiende a disminuir. Se sospecha la aparición de una caída en la resistencia a la tracción después de la adición de anhídrido maleico como compatibilizador o el compuesto de conexión porque la *Chlorella* termoplástica (TPC) en el control de la muestra (sin compatibilizador) no se ha homogeneizado completamente con PVA o no ha formado una unión entre el TPC y el polímero PVA. Por tanto, el plástico resultante tiende a ser rígido, duro y todavía quedan gránulos. Mientras tanto, después de la adición del 2% de compatibilizador se asume que se ha producido la reacción de polimerización entre TPC (biopolímero) y PVA (polímero), caracterizada por una disminución en el valor de la resistencia a la tracción. Entonces, el valor de la resistencia a la tracción continúa aumentando a medida que se agrega maleico anhídrido 4% y 6% respectivamente.

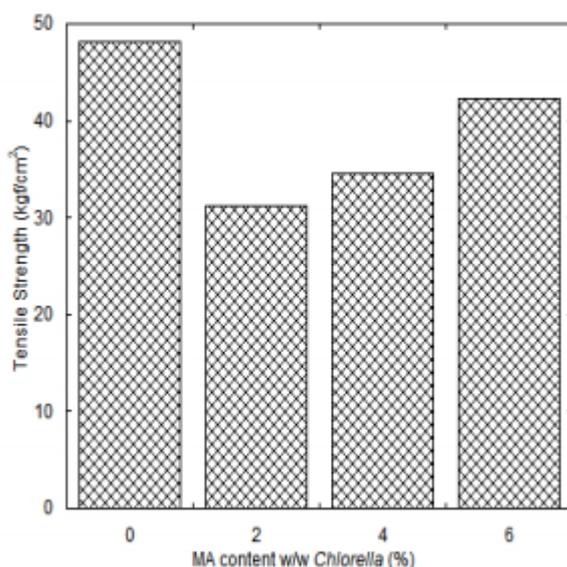


Figura 9. Efecto de la compatibilización en propiedades mecánicas para la resistencia a la tracción.

Fuente: Dianursanti & Khalis, (2018).

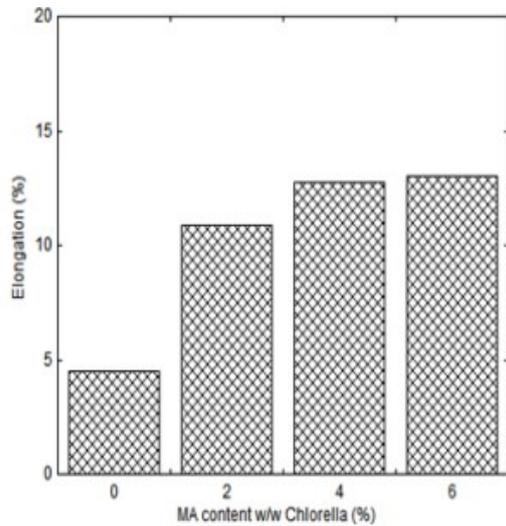


Figura 10. Efecto compatibilizador en propiedades mecánicas para alargamiento.

Fuente: Dianursanti & Khalis, (2018).

La figura 9. Muestra que, el aumento de la concentración de compatibilizador del 2% al 6% también causa de manera significativa alargamientos crecientes de la película del 10,86% al 13,0%. El aumento del valor del porcentaje de alargamiento debido a la presencia de anhídridos maleicos provocó mezclas de polímeros con diferentes propiedades PVA / Chlorella para volverse más homogéneo, por lo que podría aumentar la flexibilidad o elasticidad y disminuir la rigidez de la mezcla de película formada.

2. Sabathini et al., (2018)

Tabla 4. Las propiedades mecánicas tales como resistencia a la tracción y alargamiento de las películas de mezcla de Chlorella / PVA.

Muestra	Chlorella condición del ultrasónico		Resistencia de tensión (Kgf/cm ²)	Alargamiento (%)
	Chlorella:Radio agua.	Temperatura (°c)		
c/W 1:3:25	1:03	25	32,9	92,2
c/W 1:5:25	1:05	25	35,1	127,5

c/W 1:10:25	1:10	25	20,8	159,6
c/W 1:3:25	1:03	50	23,8	132,9
c/W 1:5:25	1:05	50	28,8	149,9
c/W 1:10:25	1:10	50	15,2	210,9
Control Chlorella	No Sonicación	No Sonicación	19,8	27,87

Fuente: Sabathini et al.,(2018).

En la tabla 4, la investigación muestra que la concentración de microalgas de 1 g / mL en el tratamiento de sonicación resulta en una tasa de extracción de almidón de 93,8%. Cuanto mayor sea la temperatura, más débil será la unión del polímero, por lo que será más fácil que la molécula de agua intervenga en la cadena del polímero. El pico de las propiedades de resistencia a la tracción se encuentra en la relación Chlorella: agua de 1:5 con la temperatura de 25 °C. El resultado de comparar la película bioplástica basada en Chlorella-PVA con el pretratamiento ultrasónico con la película bioplástica basada en Chlorella-PVA sin pretratamiento ultrasónico muestra que aumenta la resistencia a la tracción de la película hasta 1,8 veces y aumenta el porcentaje de elongación.

Tabla 5. Comparación de las propiedades mecánicas de bioplástico Chlorella reportados.

Muestra	Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento a la rotura (%)	Cita
Chlorella / Vinilacrilico(PVA)/ Anhidrato maleico	4,1	13	(Dianursanti & Khalis, 2018)
Chlorella/PVA ultrasónico.	3,4	99,63	(Sabathini et al., 2018)

En la investigación realizada por Dianursanti & Khalis, (2018) que estudiaba obtener la mejor concentración del anhídrido maleico con el fin de mejorar la homogeneidad, de la mezcla entre la microalga *Chlorella* con el PVA. Se obtuvo bioplástico con mayor resistencia a la tracción y mayor flexibilidad en comparación con la mezcla PVA-*Chlorella* sin el aditivo. Mientras que la investigación de Sabathini et al., (2018) utilizaron un homogenizador sónica que resulta en una mayor cantidad de alteración celular y partículas más dispersas que permiten que el agua intervenga la cadena del polímero, lo que resulta en película bioplástica más flexible pero con menor resistencia a la tracción. Es decir que de acuerdo con los valores de la tabla, hay mayor resistencia a la tracción cuando se agrega un aditivo al bioplástico obtenido de la mezcla microalga-PVA pero con menor alargamiento.

6. ALMIDÓN

El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis y sirve como reserva de energía. Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D- (1,6), aproximadamente entre 0,3 a 0,5% del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes.(Ortiz Ramírez, 2019)

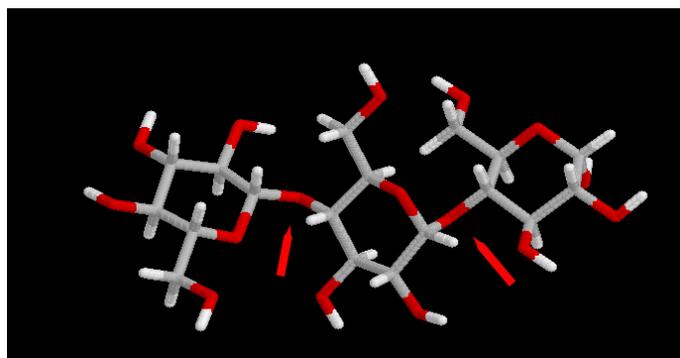


Imagen 9.Estructura molecular del almidón en 3D.

Fuente: *BIOQUÍMICA DE LOS ALIMENTOS.*

6.1 APLICACIONES DEL ALMIDÓN

La diversidad de propiedades funcionales específicas de los almidones necesarias para la industria alimenticia es casi ilimitada. El almidón también presenta una gran variedad de aplicaciones que dan valor agregado en las industrias no alimenticias, y cada aplicación exige características funcionales muy particulares. De igual manera hay una gran cantidad de almidones para aplicaciones no alimenticias y estas son un importante indicador de la economía de los países, una economía activa necesita materiales de construcción para hacer edificios, fábricas, vivienda y papel para la administración, para envolver y envasar productos diversos, así como adhesivos. Además, la exigencia de productos que sean biodegradables aumentará el volumen, ya que el almidón se utiliza en las películas y hojas de plástico, así como en las fórmulas de fibras naturales que irán reemplazando a las espumas de plástico.(Garcia, 2014)

6.1.1 Obtención de Bioplástica a partir de almidón.

Hay una gran variedad de componentes para la extracción de almidón y que se investigan para la producción de películas bioplásticas, pero se optó estudiar la producción de bioplásticos a base de alimento y un residuo agrícola.

6.1.1.1 Materiales contenidos de almidón

- **Almidón de Yuca**

La yuca (*Manihot esculenta*), también llamada mandioca, es uno de los cultivos alimentarios más importantes, siendo particularmente adecuado para condiciones de baja disponibilidad de nutrientes y capaz de sobrevivir a la sequía. La yuca ocupa un lugar destacado entre los cultivos que convierten la mayor cantidad de energía solar en carbohidratos solubles por unidad de área. Entre los alimentos básicos con almidón, la yuca produce carbohidratos que es aproximadamente un 40% más alta que el arroz y un 25% más que el maíz, con el resultado de que la yuca es la fuente de calorías más barata tanto para la nutrición humana como para la alimentación animal. Una composición típica de la raíz de yuca es humedad (70%), almidón (24%), fibra (2%), proteína (1%) y otras sustancias, incluidos minerales (3%) (García Mendoza et al., 2021).



Imagen 10. Almidón de yuca.

Fuente: (Vargas, 2020)

El uso de almidón de yuca, ha generado gran interés en la búsqueda de darle buen aprovechamiento con valor agregado (Trujillo Rivera, 2014).

- **Almidón de la semilla del aguacate**

El aguacate (*Persea americana* Mill.), también conocido como peracocodrilo, se caracteriza por la presencia de una sola semilla, que está envuelta en una cáscara dura y corresponde al 16% del peso del fruto. El contenido de almidón de una semilla de aguacate puede alcanzar hasta el 74,47% de su peso seco, dependiendo de la variedad. Es una de las mejores fuentes de

fibra y almidón, además contiene importantes compuestos como ácidos grasos, polifenoles, esteroides, antioxidantes y potasio (Barbosa-Martín et al., 2016).

Algunos estudios han demostrado que las semillas de aguacate se pueden utilizar como materia prima para la producción de aceite y pigmentos; sin embargo, normalmente se descartan en el medio ambiente como subproductos. (Silva et al., 2017)



Imagen 11. Almidón de la semilla del aguacate.

Fuente: *Food News Latam.*

6.1.1.2 Agentes de refuerzo

El refuerzo de materiales de base biológica ha sido un tema de interés para la comunidad científica en las últimas décadas, esto se ha evidenciado en la existencia de numerosos estudios, en los cuales, se ha analizado el efecto de diversos agentes de refuerzo o comúnmente se le conoce como rellenos, sobre las propiedades y características de películas bioplásticas de diferente origen. En los últimos años, el uso de rellenos biológicos y de tamaño nanométrico ha sido vastamente empleado en las investigaciones realizadas. Las ventajas que presenta el uso de rellenos incluyen su carácter renovable, baja densidad, gran abundancia, alta resistencia específica, excelentes propiedades mecánicas, biodegradabilidad, bajo costo, baja naturaleza abrasiva y superficie reactiva para una fácil modificación (Agustin et al., 2014).

Algunos de los agentes de refuerzo comunes son arcilla, talco, sílice, fibra de vidrio, negro de carbón y fibras derivadas de la biomasa. El uso de estas fibras de celulosa ha demostrado otorgar una mejora en cuanto a las propiedades mecánicas de las películas bioplásticas, así como una disminución en la densidad y absorción de agua (Maulida et al., 2016). De igual manera la arcilla por su carácter polar, presenta una mejor dispersión que el resto de alternativas en la matriz polimérica de almidón, obteniendo mejores propiedades: Tensión de rotura, menor tasa de transmisión de vapor de agua y mejor estabilidad térmica. La arcilla más utilizada de estas es la Montmorillonita (MMT) (Jaimes, 2013).

6.1.1.3 Tecnologías para la obtención de bioplástico a base de almidón

La producción de polímeros de almidón comienza con la extracción del almidón del grano mediante una molienda vía húmeda. Tomando como ejemplo el maíz, los granos se maceran en una disolución ácida diluida, se muelen y se elimina el germen que contiene aceite. Una molienda más fina separa la fibra del endospermo, el cual es posteriormente centrifugado para separar la proteína, menos densa que el almidón. El lodo de almidón posteriormente se lava en una centrífuga, se concentra y seca para su extrusión o paletización (Garcia et al, 2019).



Figura 11. Esquema general del proceso para la obtención de bioplásticos a partir del almidón.

De esta forma se obtienen polímeros de almidón puro que han de someterse a un proceso de extrusión y/o mezcla para obtener material termoplástico. Para la fabricación de este se debe destruir su estructura cristalina mediante presión, calor o por medios mecánicos. El almidón por sí sólo presenta aplicaciones limitadas ya que es muy soluble en agua, difícil de procesar y frágil por esta razón la adición de agentes plastificantes (agua, glicerol, poliéter, urea...), permite su procesamiento por extrusión, inyección o moldeo, ya que reduce su temperatura de transición vítrea y disminuye considerablemente la degradación, pudiéndose obtener de este modo materiales blandos o rígidos en función del nivel de plastificación (Collins et al., 2019).

6.1.1.4 Propiedades Mecánicas del Bioplástico a partir de almidón

- **Propiedades mecánicas del bioplástico a partir del almidón de Yuca**

La resistencia a la tracción se probó de acuerdo con el método de prueba estándar ASTM D 638(E.E.UU) y ASTM D822-02.

Resultados de los ensayos de tensión en los distintos estudios de los bioplásticos a partir del almidón de yuca:

1. Oluwasina et al., (2019)

En la tabla 6. Se observa que la adición del almidón oxidado tenía una influencia en el aumento de la resistencia a la tracción de las películas. La biopelícula (película 0) tiene el valor más bajo, mientras que otras biopelículas tenían aproximadamente el doble de resistencia a la tracción que la película 0. El resultado del alargamiento en la rotura fue similar al de la resistencia a la tracción, hay un aumento en el valor a medida que aumenta la cantidad de almidón oxidado añadido. La biopelícula (película 0) tiene el valor más bajo (0,220%), mientras que la película 60 tiene un valor de altura de 0,4500%. El resultado del módulo joven mostró una diferencia estadísticamente significativa entre la biopelícula (película 0) y el resto, mientras que aquellas biopelículas con almidón oxidado agregado no muestran diferencia estadísticamente significativa, aunque tienen valores registrados diferentes.

Tabla 6. Resultado de las propiedades mecánicas de la biopelícula.

Muestras	resistencia a la tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)
Película 0	1,14	10,51	0,22
Película 20	1,76	14,56	0,3
Película 40	1,88	16,5	0,43
Película 60	1,88	16,68	0,45

Fuente: Oluwasina et al., (2019)

2. Syafri et al., (2017)

La **Figura (2 a)** muestra un aumento en la resistencia a la tracción de 1,65 MPa a 3,38 MPa con la adición de PCC hasta un 4% (p / p). El módulo de elasticidad (**Figura 2 b**) aumentó de 174,61 MPa para el bioplástico puro hasta 645,15 MPa con la adición de 4% de PCC. Este

aumento en la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad está relacionado con el enlace de hidrógeno que se produce entre el PCC y la matriz de almidón de yuca. La adición de 4% P/P de CaCO_3 afectó significativamente las propiedades de la cepa de los compuestos bioplásticos / PCC, la cepa disminuyó del 53,14% al 39,91% (**Fig. 2c**). Lo mismo pasa para todas las adiciones de CaCO_3 , el valor más bajo del 26,5% ocurre para la adición de 8% de CaCO_3 . Este resultado puede atribuirse a una interacción reducida entre el CaCO_3 y la matriz de tapioca cuando el exceso de CaCO_3 no puede ser absorbido por la matriz.

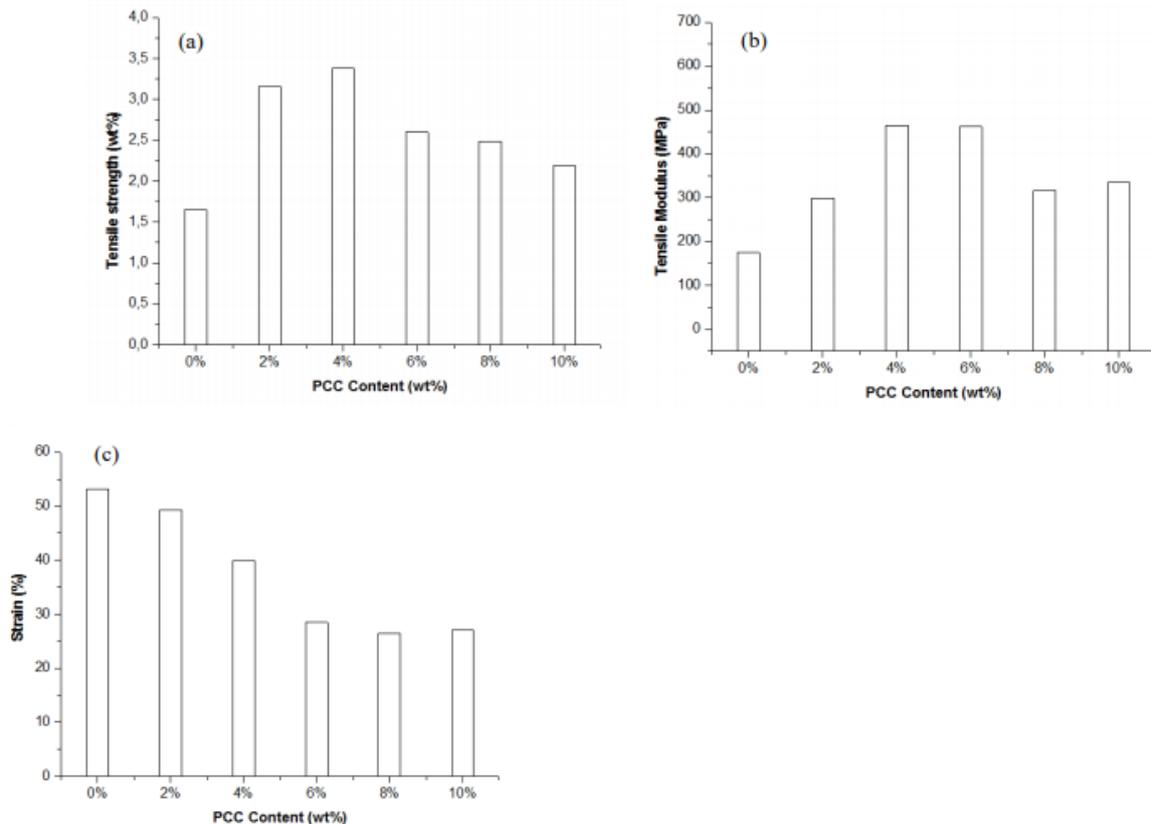


Figura 12. Efecto del PCC sobre las propiedades mecánicas de los composites. (a) resistencia a la tracción, (b) módulo de tracción y (c) deformación.

Fuente: Syafri et al., (2017).

3. Amri et al.,(2018)

Tabla 7. Resultados de las propiedades mecánicas del bioplásticos-composición del Oxido de Grafeno.

Concentración de GO	Tiempo (minutos)	Muestra	Resistencia a la tracción(Mpa)	Alargamiento (%)	Modulo elastico (Mpa)
0%	30	1	1,38	28,09	4,88

	60	2	2,25	25,03	9
5%	30	3	2,55	20,62	12,36
	60	4	2,65	18,9	13,99
10%	30	5	2,74	15,35	17,88
	60	6	2,84	14,96	19
15%	30	7	3,63	13,45	26,95
	60	8	3,92	13,22	29,66

Fuente: Amri et al.,(2018).

En la **tabl 7**,se puede ver que cuanto mayor es la concentración de óxido de grafeno, mayor será la resistencia a la tracción y el módulo de Young, mientras que los alargamientos disminuyen. La tendencia similar también se muestra por el aumento del tiempo de agitación. Este fenómeno indicó que existe una fuerte influencia del óxido de grafeno en la matriz compuesta. Las propiedades mecánicas más altas las exhibe la muestra sintetizada usando óxido de grafeno hasta en un 15aa% con 60 minutos de tiempo de agitación, es decir, resistencia a la tracción de 3.92 Mpa, valor de alargamiento de 13.22 Mpa y valor de módulo joven de 29.66 Mpa.

Tabla 8. Comparación de las propiedades mecánicas de bioplástico a partir de Yuca.

Muestra	Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento a la rotura (%)	Módulo de elasticidad (MPa)	Cita
Almidón de Yuca/Almidón oxidado	1,88	0,45	16,68	(Oluwasina et al., 2019)
Almidón de Yuca/ (PCC)	3,38	No reporta	465,15	(Syafri et al., 2017)
Almidón de Yuca/óxido grafeno 15%	3,92	13,22	29,66	(Amri et al., 2018)

Almidón de yuca/Oxido zinc/Glicerol	218,68	198,4	No reporta	(Harunsyah et al., 2017)
-------------------------------------	--------	-------	------------	--------------------------

Para el estudio realizado por (Oluwasina et al., 2019) le adicionaron almidón oxidado a la película plastificada de almidón a base de yuca, la cual mejoró la resistencia a la tracción, aumento el espesor de la película y prolongo su biodegradabilidad. Solo que su módulo de elasticidad es baja, lo que indica la rigidez de la película bioplástica a la extensibilidad. En el estudio de Syafri et al., (2017) para mejorar la película de almidón de yuca, se añadió carbonato de calcio aumentando la resistencia de tracción, pero se obtuvo un bioplástico hidrófilo, es decir, que absorbe agua con facilidad. lo que le da fragilidad al biomaterial.. Por último el estudio (Amri et al., 2018) tuvo un aumento en todas las propiedades mecánicas en la resistencia a la tracción, en el módulo de elasticidad al agregarle óxido de grafeno, en comparación a las otras investigaciones tuvo un mejor bioplástico.

- **Propiedades mecánicas del bioplástico a partir del almidón de la semilla de aguacate.**

Resultados de los ensayos de tensión en los distintos estudios de los bioplásticos partir del almidón de la semilla de aguacate:

1. (MAULIDA et al., 2018)

En la Figura 12, muestra que con el aumento de masa de MCC, aumenta la resistencia a la tracción de los bioplásticos. 7 g de MCC y 0,2 v / p de glicerol dieron la máxima resistencia a la tracción a 2,74 MPa. La adición de MCC en películas de almidón gelatinizado resultó en un enlace de hidrógeno intermolecular al grupo que causa que los enlaces moleculares entre la amilosa sean más compactos. Se muestra una disminución en el valor de la resistencia a la tracción para el bioplástico con 4 g de MCC para todas las variaciones de glicerol. También muestra que una mayor cantidad de glicerol provocó disminuciones en la resistencia a la tracción del bioplástico. Los altos valores de resistencia a la tracción se pueden atribuir al número de enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón que contribuyen a la cohesión y baja flexibilidad.

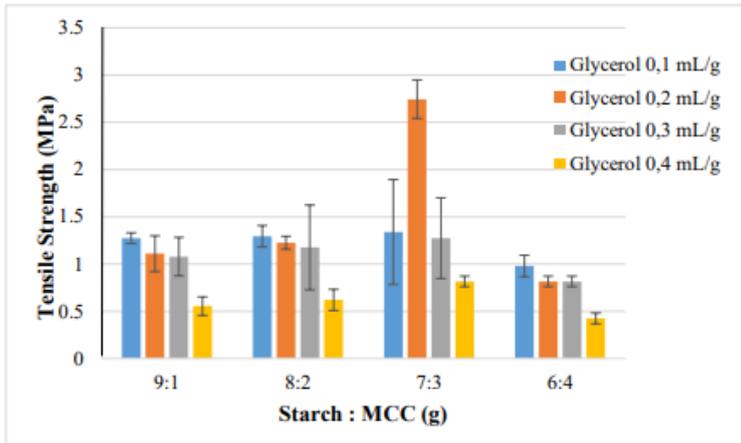


Figura 13. El efecto del MCC de las fibras de la palma de azúcar y la adición de glicerol sobre la resistencia a la tracción de los bioplásticos.

Fuente: (MAULIDA et al., 2018)

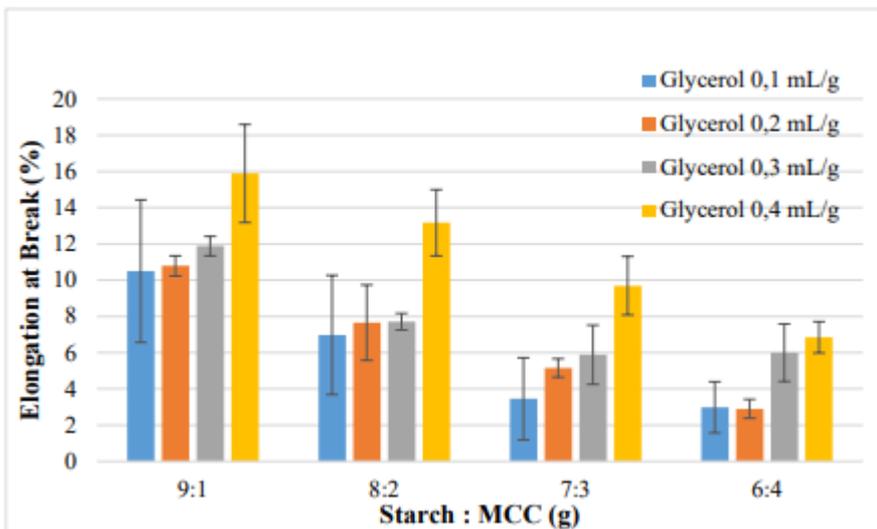


Figura 14. El efecto de MCC de la adición de fibra de palma de azúcar y glicerol sobre el alargamiento a la rotura de bioplásticos.

Fuente: (MAULIDA et al., 2018).

En la **figura 13**, muestra que el alargamiento en el valor de rotura disminuyó con la adición de contenido de MCC. Mientras tanto, la adición de plastificantes a los bioplásticos tiene el efecto contrario. La adición de cargas de MCC de 1 a 4g provocó una disminución del alargamiento en el valor de rotura del 15,88% al 2,90%. El bioplástico con un contenido de MCC de 1 g y 0,4 (v/p) de glicerol dio el valor máximo de alargamiento en la rotura al 15,88%.

2. JIMÉNEZ et al., (2021)

Tabla 9. Resultados de las propiedades mecánicas de tensión y alargamiento del bioplástico.

Prueba	T1	T2	p. valor
Esfuerzo en la fractura (MPa)	19,37	10,78	0,001
Alargamiento (%)	3,07	13,09	0,001

Fuente: JIMÉNEZ et al., (2021)

En la **tabla 9**, muestra que la resistencia a la tracción para T1=película sin plastificante que es de $19,37 \pm 5,31$ MPa y para T2 fue $10,78 \pm 1,07$ MPa; mientras que el alargamiento para T1 fue de 3,07% y para T2 fue de 13,09% con diferencia significativa entre ellos ($p < 0,001$).

3. (Ginting et al., 2018)

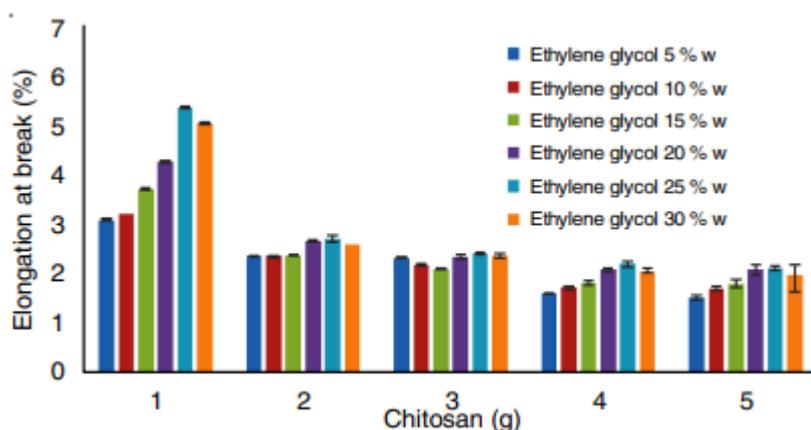


Figura 15. El efecto de la variación del quitosano y del plastificante de etilenglicol sobre las propiedades bioplásticas de elongación en la rotura.

Fuente: Ginting et al., (2018).

En la **Figura 14**, muestra un alargamiento fluctuante a la rotura. Alargamiento a la ruptura de la masa de quitosano de 1 a 5g. El alargamiento a la rotura del bioplástico más alto es de 5,370% en quitosano 1g y plastificante etilenglicol 25% en peso. La solución de quitosano con solución de almidón forma una estructura bioplástica compacta aumentando así la densidad y la resistencia a la tracción, disminuyendo de lo contrario el alargamiento a la rotura. La resistencia a la tracción es inversamente proporcional al alargamiento a la rotura. La adición de etilenglicol, lo que provoca un alargamiento creciente a la rotura del bioplástico.

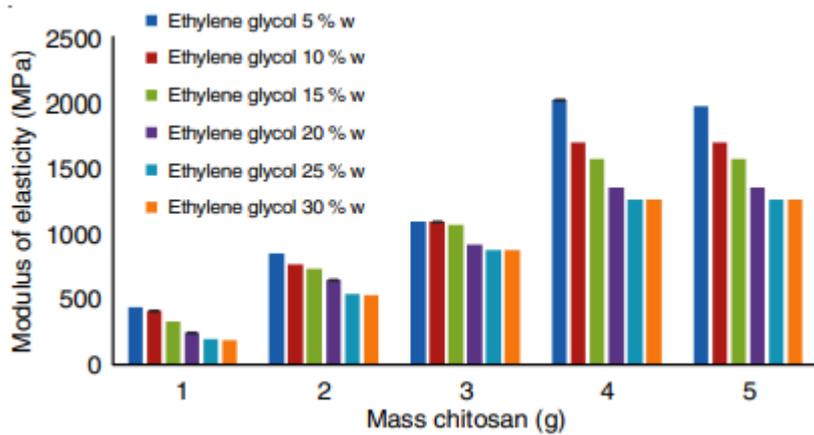


Figura 16. El efecto de la variación del quitosano y plastificante de etilenglicol en bioplástico de módulo de elasticidad.

En la **figura 15**, muestra un aumento de quitosano de 1 a 4 g, lo que provocaba un aumento del módulo de elasticidad, cuando la adición de 5 g del módulo de elasticidad de quitosano disminuía. El bioplástico de módulo de elasticidad más alto fue 2031,326 MPa a 4g de quitosano y 5% de plastificante de etilenglicol. La adición de quitosano aumenta el módulo de elasticidad, esto hace que la densidad del bioplástico aumente y se formen enlaces de hidrógeno, por lo que los bioplásticos son fuertes y rígidos. Se utiliza plastificante porque tiene la capacidad de reducir el enlace de hidrógeno interno entre las cadenas de polímero y de aumentar el espacio molecular

Tabla 10. Comparación de las propiedades mecánicas de los bioplásticos a partir de la semilla de aguacate.

Muestra	Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento a la rotura (%)	Módulo de elasticidad (MPa)	Cita
Almidón de la semilla Aguacate/celulosa de Palma de azúcar/Glicerol	2,74	3,16	No reporta	(MAULIDA et al., 2018)

Películas almidón semillas aguacate	de de de	10,78	13,09	No reporta	(JIMÉNEZ et al., 2021)
Almidón aguacate /Quitosano	de	30,213	5,37	2031,23	(Ginting et al., 2018)

Con base a la tabla se puede analizar que, en la investigación (Lubis et al., 2016) usaron celulosa microcristalina de la palma de azúcar y glicerol como plastificante, evaluaron el efecto que le daría el glicerol a la película mostrando un aumento en su resistencia a la tracción y alargamiento de la rotura. Mientras que (JIMÉNEZ et al., 2021) investigó las propiedades de la semilla de aguacate como materia prima para obtener películas plásticas, donde indico su buen potencial para la aplicación. Por último la investigación (Ginting et al., 2018) se evalúa el efecto del etilenglicol como plastificante, en la película plástica de quitosano con relleno de almidón extraído de la semilla de aguacate, debida al refuerzo de almidón con el plastificante la película obtuvo una estructura compacta, lo que aumenta la densidad y su resistencia a la tracción de bioplástico.

7. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LAS BIOMASAS ESTUDIADAS QUE SE APLICAN A NIVEL LATINOAMÉRICA Y EXTERIOR.

Para los procesos de bioplásticos producidos por almidón de yuca y de la semilla de aguacate, que están aplicados en industrias de América Latina y del exterior, no se especifican detalladamente las tecnologías que usan, debido a que no es de divulgación pública. Pero el proceso bioplástico industrializado se simula en el esquema 4.

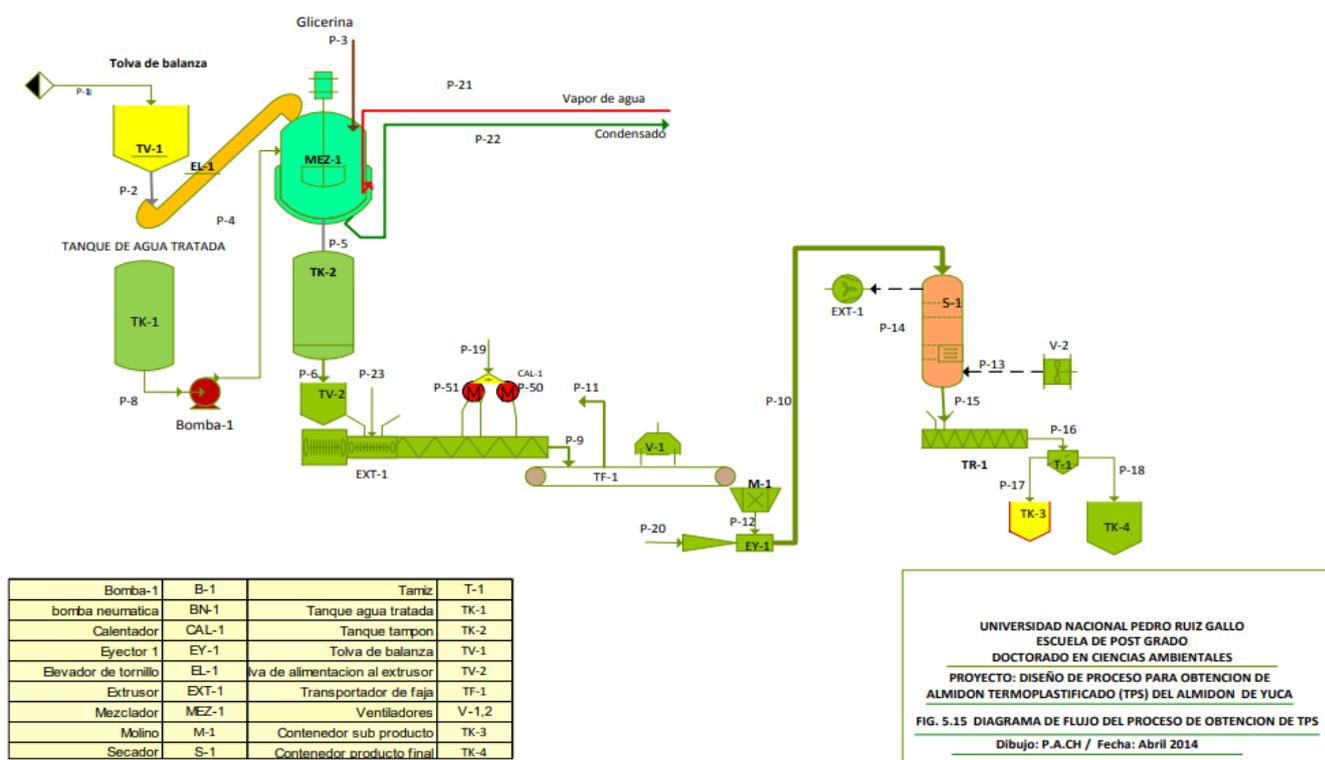


Figura 17. Diseño del proceso para la producción de bioplástico a partir del almidón de Yuca.

Fuente: (Angeles Chero, 2015)

Las industrias que producen bioplásticos a base de las biomásas estudiadas, se describen a continuación.

A nivel en el exterior

- **Avani Eco (Indonesia)**

Se estableció en el año de 2014, encabezada por personas que se esfuerzan por marcar la diferencia utilizando la tecnología como una solución conveniente que puede ser adoptada

fácilmente por empresas y consumidores finales. Avani ofrece una gama completa de envases sostenibles y productos de hostelería elaborados con ingredientes renovables y naturales que son totalmente compostables.



Imagen 12. Productos basadas en almidón de yuca.

Fuente: Avani Eco, www.avanieco.com/category-cassava-bag/.

A nivel Latinoamérica

- **La empresa BioFase(México)**

Es la única empresa comercializadora actualmente de bioplásticos a base de la semilla de aguacate. Fue creada en el año 2012 por un grupo de estudiantes, a través de una tecnología patentada. La composición de los productos de BIOFASE es de 60% biopolímeros de semilla de aguacate y 40% compuestos orgánicos sintéticos que ayudan a darle las excelentes propiedades mecánicas y físicas. Producen un biomaterial que permite producir diversos artículos biodegradables compostables como pitillos, cubiertos, platos, vasos, contenedores, cepillos de dientes, etc. Exportan sus productos a Canadá, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Nicaragua, República Dominicana, Colombia, Suriname, El Salvador, Costa Rica, Panamá, Ecuador, Perú, Chile, Uruguay, Inglaterra, Francia, España, Suecia, Bélgica, Holanda, Polonia, Alemania, Luxemburgo, Suiza, Emiratos Árabes. Actualmente cuenta con tres plantas de producción en Monterrey, Nuevo León y en Morelia, Michoacán . El plan para el 2021 es que la empresa pueda establecer su primera planta fuera del país, en Sudamérica, lo que permitirá reducir costos a nivel regional.(Barbosa-Martín et al., 2016)

Tabla 11. Propiedades del bioplástico producido por la industria Biofase.

Propiedad	Unidad	Método	BH-101 (Inyección)	BH-102 (termoformado)	BH-103 (Extrusión)
Índice de fluidez (190°C)	g/10 min	ASTM D 1238	4.585	4.500	1.646
Resistencia a la tracción	MPa	ASTM D638	11.025	87.000	5.650
Alargamiento a la rotura	%	ASTM D638	31.500	6.000	254.700
Módulo de elasticidad	MPa	ASTM D638	441.000	-	00000
Densidad	g/cm ³	ASTM D638	0,960	0,94	0,9
Temperatura de flexión a 0,46 MPa	°C	ASTM D638	90.000	200.000	80.000

Fuente: Biofase, biofase.com.mx/

- **La empresa ecobioplast (Colombia)**

La empresa colombiana de bioplásticos (ecoplast) se encuentra ubicada en Bogotá, la cual desarrolla bolsas plásticas innovadoras que se degradan en contacto con el agua. La materia prima la adquieren de origen local con el fin de hacer más eficiente la producción, reducir la huella ecológica de nuestros procesos y productos, y favorecer la actividad económica local.

El material denominado *biodegrplast* está compuesto mayormente de almidón de yuca o maíz y otras materias primas aceptadas por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los EEUU. Las propiedades mecánicas del material fueron identificadas en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes, las pruebas que se le hicieron fueron ensayos de tensión de acuerdo al estándar ASTM D882.

Tabla 12. Propiedades mecánicas del bioplástico producido en la empresa ecobioplast

Propiedad	Valor promedio	Desviación estándar
Esfuerzo a la ruptura (Dirección longitudinal)	13,2 MPa	1,8 MPa
Esfuerzo a la ruptura (Dirección transversal)	11,8 MPa	1,4 MPa

Elongación a la ruptura (Dirección longitudinal)	281%	31,2 %
Elongación a la Ruptura (Dirección transversal)	288%	34,2%
Módulo de elasticidad (Dirección longitudinal)	22 MPa	10,4 MPa
Módulo de elasticidad (Dirección longitudinal)	15,4 MPa	5,3 MPa

Fuente: *ecobioplast*, www.ecobioplast.com.co/wp/propiedades/

8. FACTIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE LAS BIOMASAS ESTUDIADAS PARA APLICAR EN COLOMBIA.

Para analizar cuál de las tecnologías sería más factible para producir acá en Colombia, es necesaria la comparación de las características que aportan cada biomasa y que soportan las investigaciones realizadas.

Tabla 13. Comparación de las características de las biomosas estudiadas.

Biomasa Características	Microalga Spirulina	Microalga Chlorella	Almidón de Yuca	Almidón de Semilla de Aguacate
Cuenta con bajo costo la biomasa	No	No	Si	Si
Competencia Alimenticia	No	No	Si	No
Su proceso ya cuenta con Escalamiento industrial.	No	No	Si	Si

Análisis de los criterios evaluados en la tabla 9.

1. Cuenta con bajo costo la biomasa

Con base a lo consultado, la microalgas ofrecen ventajas de adaptación a las condiciones expuestas y así mismo su producción de biomasa, pero el método de su cultivo no es recuperable lo que la hace actualmente costosa para su compra (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Sin embargo, en la Universidad nacional de Colombia (UNAL), realizan estudios desde hace diez años para la evaluación de cultivos de dos cepas de microalgas nativas, entre las que se encuentra la *Chlorella vulgaris*, con el propósito de obtener biodiésel de tercera generación (Hernández, 2019). En cambio, la obtención de Yuca en Colombia es económica ya

que ocupa el quinto lugar del producto agrícola más producido en el país. Se reporta que para 2019 la producción nacional de yuca alcanzó los 2,4 millones de toneladas al año y aumento sus áreas de cosecha de un 7 % con respecto al 2015 (Parra-Olarte, 2020). Mientras que el aguacate cuenta con 25.000 hectáreas sembradas de esta fruta, alcanzando una producción cercana a 150.000 toneladas cada año, generando esa misma cantidad en semilla. (ICA,2021).

2. Competencia Alimentaria

Ambas especies son utilizadas en la industria de alimentos como complementos alimenticios, es decir, como fuente de proteína, pero no hacen parte de la cadena principal de consumo humano aún se estudia su posibilidad (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Mientras que la uca es uno de los alimentos más preferidos de los colombianos después de la papa y solo el 12% de yuca se dispone como materia prima industrial, lo que la hace muy competente como alimento (Editorial La República S.A.S., 2019). Según la Corporación de Productores y Exportadores de Aguacate Hass de Colombia, el consumo de aguacate estimado de 6,3 kilogramos por persona, sin embargo la semilla de aguacate no se consume se considera un desecho agrícola. (Telemedellín, 2021)

3. Proceso fácil escalamiento

Las microalgas en Colombia hasta el momento se investiga su cultivo, aún no se cuenta con industrias productoras de Bioplástico a partir de ellas a nivel general, pero se siguen estudiando las tecnologías para reducir sus costos (Cinar et al., 2020). En Colombia ya se está industrializando el bioplástico a partir de almidón de yuca, la empresa ecobioplast que produce bolsas plásticas de yuca. En cambio, la obtención de bioplástico a partir de la semilla de aguacate, la única empresa hasta el momento es Biofase, ubicada en México, pero según el director en una entrevista piensa tener sedes en Sur América y entre los países seleccionados está Colombia.

CONCLUSIONES

- Se deduce a partir de las propiedades mecánicas de las microalgas , que el bioplástico de la Microalga *Spirulina* con PBS y con el aditivo Anhídrido maleico presenta las mejores propiedades de resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. Esto se debe a que la *Spirulina* tiene mejores propiedades de mezcla que la *Chlorella*.
- Las microalgas *Spirulina* y *Chlorella* es una biomasa potencial para usar en distintas aplicaciones incluyendo el bioplástico, aún faltan más investigaciones y recursos para que se puedan explotar más industrialmente.
- Se determina que las industrias productoras de bioplásticos a partir de recursos renovables, prefieren como materia prima la utilización de materiales que contienen almidón, debido a su bajo costo y disponibilidad.
- La semilla de aguacate es una innovación en la producción de bioplásticos, debido a que sus películas plásticas presentan una biodegradabilidad más prolongada y además es una materia prima bastante económica por considerarse un residuo agrícola. Lo que la hace potencialmente aplicable en Colombia, debido a que hay disponibilidad de este residuo agrícola y se cuenta con las tecnologías para ser ejecutada.

RECOMENDACIONES

- Fomentar investigaciones donde se estudie las propiedades térmicas, la estructura del biomaterial, la humedad y el grado de biodegradabilidad de los bioplásticos obtenidos por las biomásas documentadas en este trabajo.
- Realizar estudios tecnoeconómicos del bioplástico , para evaluar la viabilidad en la implementación en Colombia.
- Se recomienda investigar temas que aborden biotecnologías y dar a conocer los avances que se han aportado por científicos en los últimos tiempos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. (2020, 6 abril). ¿Qué se entiende por bioplásticos? AIMPLAS. Disponible en línea.: <https://www.aimplas.es/blog/que-se-entiende-por-bioplasticos/>
- A. Rahman, C.D. Miller, Chapter 6 - Microalgae as a Source of Bioplastics, Editor(s): Rajesh Prasad Rastogi, Datta Madamwar, Ashok Pandey, Algal Green Chemistry, Elsevier, 2017, Páginas :121-138, ISBN 9780444637840, se encuentra en línea: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63784-0.00006-0>. [Acceso 06 Mayo 2021].
- Abu-sharkh, B. F., & Al-harhi, M. (2011). Effect of Starch Addition on the Properties of Low Density Polyethylene for Developing. C(1), 38-40.
- Agustin, M. B., Ahmmad, B., Alonzo, S. M. M., & Patriana, F. M. (2014). Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(24), 2205-2213. <https://doi.org/10.1177/0731684414558325>
- Ambiente, M. (2019). SITUACIÓN ACTUAL DE COLOMBIA Y SU IMPACTO.
- Amri, A., Ekawati, L., Herman, S., Yenti, S. R., Zultiniar, Aziz, Y., Utami, S. P., & Bahrudin. (2018). Properties enhancement of cassava starch based bioplastics with addition of graphene oxide. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 345(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/345/1/012025>
- Angeles Chero, P. P. (2015). Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot sculenta. February, 9-11. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28512.51200>
- Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (Persea americana Mill.) seed fibrous residues. Food and Bioproducts Processing, 100, 457-463. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.006>
- Bioplastics, E. (2016). Fact sheet: What are bioplastics? European-Bioplastics, 4. https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf
- Chariguamán C., J. A., Ruano, J., & Cardona, J. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora

edulis spp.). 18-20. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>

Ciapponi, R., Turri, S., & Levi, M. (2019). Mechanical reinforcement by microalgal biofiller in novel thermoplastic biocompounds from plasticized gluten. *Materials*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/ma12091476>

Cinar, S. O., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wieczorek, N., Cengiz, U., & Kuchta, K. (2020). Bioplastic production from microalgae: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1-21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113842>

Collins, M. N., Nechifor, M., Tanasă, F., Zănoagă, M., McLoughlin, A., Stróżyk, M. A., Culebras, M., & Teacă, C. A. (2019). Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 828-849. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.069>

Coppola, G., Gaudio, M. T., Lopresto, C. G., Calabro, V., Curcio, S., & Chakraborty, S. (2021). Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 231-251. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00208-7>

Dianursanti, Gozan, M., & Noviasari, C. (2018). The effect of glycerol addition as plasticizer in *Spirulina platensis* based bioplastic. *E3S Web of Conferences*, 67, 11-14. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703048>

Dianursanti, & Khalis, S. A. (2018). The Effect of Compatibilizer Addition on *Chlorella vulgaris* Microalgae Utilization as a Mixture for Bioplastic. *E3S Web of Conferences*, 67, 2-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703047>

Dianursanti, Noviasari, C., Windiani, L., & Gozan, M. (2019). Effect of compatibilizer addition in *Spirulina platensis* based bioplastic production. *AIP Conference Proceedings*, 2092(December). <https://doi.org/10.1063/1.5096716>

E-caprolactone, B. P. (2000). *Archive of SID The Influence of Different Processing Additives on of SID*. 9(4).

Fabra, M. J., Martínez-Sanz, M., Gómez-Mascaraque, L. G., Gavara, R., & López-Rubio, A. (2018). Structural and physicochemical characterization of thermoplastic corn starch films

- containing microalgae. *Carbohydrate Polymers*, 186(October 2017), 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.039>
- Fernández, A., & Alvítez, E. (2019). Taxonomía e importancia de «spirulina». *Arnaldoa*, 26(3), 14.
- García et al. (2019). Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz. *Universidad De Piura*, 159.
- García Mendoza, J. J., Zambrano Mendoza, M. J., Vargas Zambrano, P. A., Muñoz Murillo, J. P., & Párraga Alava, R. C. (2021). Native cassava starch (*Manihot esculenta* Cranz) as a binding agent in the production of bologna type mortadella. *Manglar*, 18(1), 61-69. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.008>
- García, S. F. (Instituto P. N. (2014). Obtención De Almidón Con Tamaño De Partícula Reducido Mediante Pulverizado Mezclado Con Alta Energía.
- Ginting, M. H. S., Hasibuan, R., Lubis, M., Alanjani, F., Winoto, F. A., & Siregar, R. C. (2018). Utilization of avocado seeds as bioplastic films filler chitosan and ethylene glycol Plasticizer. *Asian Journal of Chemistry*, 30(7), 1569-1573. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2018.21254>
- González Céspedes, A. (2015). ¿Qué Son Las Microalgas? *Cajamar ADN Agro*, 011, 1-11.
- Greene, K. L., & Tonjes, D. J. (2014). Degradable plastics and their potential for affecting solid waste systems. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 180, 91-102. <https://doi.org/10.2495/WM140081>
- Harunsyah, Yunus, M., & Fauzan, R. (2017). Mechanical properties of bioplastics cassava starch film with Zinc Oxide nanofiller as reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 210(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/210/1/012015>
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A. (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1117749. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>

- Jaimés, R. M. C. (2013). EFECTOS DE LA ADICIÓN DE ARCILLA MONTMORILLONITA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA RETROGRADACIÓN DE COMPUESTOS DE ALMIDÓN SECO/GLICEROL. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- JIMÉNEZ, R., SANDOVAL-FLORES, G., ALVARADO-REYNA, S., ALEMÁN-CASTILLO, S. E., SANTIAGO-ADAME, R., & VELÁZQUEZ, G. (2021). Extraction of starch from Hass avocado seeds for the preparation of biofilms. *Food Science and Technology*, 2061, 1-6. <https://doi.org/10.1590/fst.56820>
- Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., & Hankamer, B. (2019). Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237-249. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>
- Labeaga, A. (2018). Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. *Files.Bartolomevazquezbernal. ...*, 1-50.
- Lebreton, L., Egger, M., & Slat, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>
- Lubis, M., Harahap, M. B., Hendra, M., Ginting, S., Sartika, M., & Azmi, H. (2016). Effect of Microcrystalline Cellulose (MCC) from Sugar Palm Fibres and Glycerol Addition on Mechanical Properties of Bioplastic from Avocado Seed Starch (Persea Americana Mill). *International Conference on «Engineering & Technology, Computer, Basic and Applied Sciences» ECBA*, 331(3), 1-10. www.academicfora.com
- MAULIDA, L., MARA, BANGUN, H., MUHAMMAD, HENDRA, S., G., MORA, S., & HIDAYATUL, A. (2018). Production of Bioplastic From Avocado Seed Starch Reinforced With Microcrystalline Cellulose From Sugar Palm Fibers. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(2), 381-393.
- Maulida, Siagian, M., & Tarigan, P. (2016). Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 710(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/710/1/012012>

- Meza, P. (2016). Elaboración De Bioplásticos a Partir De Almidón Residual Obtenido De Peladoras De Papa Y Determinación De Su Biodegradabilidad a Nivel De Laboratorio. *Revista de Química*, 68. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Monshupanee, T., Nimdach, P., & Incharoensakdi, A. (2016). Two-stage (photoautotrophy and heterotrophy) cultivation enables efficient production of bioplastic poly-3-hydroxybutyrate in auto-sedimenting cyanobacterium. *Scientific Reports*, 6(August), 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep37121>
- Mose, B. R., & Maranga, S. M. (2011). A Review on Starch Based Nanocomposites for Bioplastic Materials. Formerly part of *Journal of Materials Science and Engineering*, 1, 239-245.
- Oluwasina, O. O., Olaleye, F. K., Olusegun, S. J., Oluwasina, O. O., & Mohallem, N. D. S. (2019). Influence of oxidized starch on physicomechanical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.150>
- Ortiz Ramírez, M. A. (2019). Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*mangifera indica*) con aplicación potencial en envases. *Repositorio Institucional Universidad El Bosque*, 7-97. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2106>
- Palomino, A., López, J. E., & Flórez, L. M. (s. f.). R01 . Potencial de las microalgas para obtener biocombustibles y bioproductos considerando los aspectos energéticos , alimentarios y medio ambientales R02 . Producción de bioetanol a partir del mucílago de café : análisis de viabilidad técnica a escala de. 4-28.
- Parra-Olarte, J. L. (2020). Subsector Productivo de la Yuca. Ministerio de Agricultura de Colombia, 21.
- Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). Analisis experimental de la Elaboración de Biplastico a partir de la Cascara de Plátano. *Pirhua*, 108.

- Posada Bustamante, B. (2018). 1408-Texto del artículo-4652-1-10-20120815.pdf. En Revista Universidad Eafit: Vol. No 94. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1408/1280/>
- Romero, G. G., Monaldi, A. C., Dominguez, D. O., Blanc, A. V., & Moraña, L. (2017). Biospeckle for microalgae growth monitoring in laboratory scale photobioreactor. *Optica Pura y Aplicada*, 50(2), 127-133. <https://doi.org/10.7149/OPA.50.2.49033>
- Sabathini, H. A., Windiani, L., Dianursanti, & Gozan, M. (2018). Mechanical Physical Properties of Chlorella-PVA based Bioplastic with Ultrasonic Homogenizer. *E3S Web of Conferences*, 67, 3-7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703046>
- Santo.A et al. (2014). Ana-Maria-Santos & Yolanda-Gonzales-Arechavala & Carlos-Martin-Sastre.
- Sidek, I. S., Draman, S. F. S., Abdullah, S. R. S., & Anuar, N. (2019). Current Development on Bioplastics and Its Future Prospects: an Introductory Review. *INWASCON Technology Magazine*, 1, 03-08. <https://doi.org/10.26480/itechmag.01.2019.03.08>
- Silva, I. R. A., Magnani, M., de Albuquerque, F. S. M., Batista, K. S., Aquino, J. de S., & Queiroga-Neto, V. (2017). Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S279-S289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259>
- Syafri, E., Kasim, A., Abral, H., & Asben, A. (2017). Effect of precipitated calcium carbonate on physical, mechanical and thermal properties of cassava starch bioplastic composites. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(5), 1950-1956. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.5.1292>
- Torres, S., Navia, R., Campbell Murdy, R., Cooke, P., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2015). Green composites from residual microalgae biomass and poly(butylene adipate-co-terephthalate): Processing and plasticization. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(4), 614-624. <https://doi.org/10.1021/sc500753h>
- Troschl, D. C. (2018). Bioplastic production with cyanobacteria. 1-87.

- Trujillo Rivera, C. T. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculente crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD, 1-147. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=y><http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. DYNA (Colombia), 80(181), 171-180.
- Ventures, T. (2007). *A c t i v i d a d e s 2 0 0 7* Entidades Constituyentes. January.
- Zhu, N., Ye, M., Shi, D., & Chen, M. (2017). Reactive compatibilization of biodegradable poly(butylene succinate)/Spirulina microalgae composites. *Macromolecular Research*, 25(2), 165-171. <https://doi.org/10.1007/s13233-017-5025-9>