

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE QUÍMICA



Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) a través de la elaboración de bioplásticos.

Trabajo de grado

Para optar por el título de:

Ingeniero Químico

Sustentado por:

Dionicio José Molina Genao

Micaela Ferder Volonteri

Santo Domingo Distrito Nacional

REPÚBLICA DOMINICANA

2023

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quiero expresar mi agradecimiento por el gran apoyo y sacrificio que han brindado para permitirme completar esta etapa.

A mi gran amiga y compañera de tesis, Micaela Volonteri, nuestra comunicación y gran trabajo en equipo han sido clave para alcanzar nuestras metas. Valoro profundamente nuestra amistad que forjamos desde el primer cuatrimestre.

Un agradecimiento especial a mi novia, Zurisadai Serrano, por ser mi soporte y llenarme de seguridad para superar cada reto que se me presentó en el transcurso de la carrera. Gracias por estar junto a mí incondicionalmente, estoy completamente agradecido por todo lo que has hecho y sigues haciendo por mí.

Gracias a nuestra asesora, Sandra Miniño, por su paciencia y entrega en guiarnos durante todo el proceso de esta investigación. Su enfoque riguroso y capacidad para desafiar nuestras ideas nos ayudaron a crecer tanto académicamente como personalmente y a superar nuestras propias expectativas.

Quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela de Química, por su dedicación y apoyo en este periodo, por brindarme las herramientas para desarrollar mi potencial. En especial a la Ing. Maribel Espinoza, al Ing. Ramón Pérez y al Ing. Ramón Sánchez por su acompañamiento a lo largo de la carrera prestando siempre su tiempo.

Agradezco al Laboratorio de la Dirección General de Aduanas por su generosa colaboración al proporcionarnos asistencia en la tarea de caracterización del material.

A mis amigos; Irene, Yufreidy, Briellydalia, Karla, Mónica, Dawarys, Hennessys, Nelfy y Yalfredo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Las experiencias compartidas junto a ustedes han sido un pilar muy importante. Gracias por estar siempre ahí para mí.

Dionicio Molina

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, Mónica Volonteri. Ella ha sido de las pocas personas que ha estado a mi lado desde el día en que nací, brindándome un apoyo incondicional no solo a nivel económico, sino también emocional. Agradezco su gran empatía, comprensión, y su capacidad para entender mis debilidades, lo cual me ha ayudado a seguir adelante en esta vida que a veces se torna difícil de transitar. Gracias mamá.

También quiero expresar mi agradecimiento a mis hermanas, Milena y Mía. A pesar de todas las múltiples crisis que he atravesado durante toda mi vida, ustedes siempre han estado ahí para escucharme, quererme y ayudarme. Por otro lado a mi gato hijo Uma y a mi gato sobrino Jimi, por simplemente estar ahí y darme compañía.

Además, quiero reconocer el invaluable aporte de mi actual psicóloga. Gracias a sus conocimientos y las herramientas que me ha proporcionado, he podido enfrentar los desafíos asociados con esta tesis y, en general, avanzar en mi vida de manera más positiva y saludable.

Un agradecimiento especial también va dirigido a mi compañero de tesis, Dionicio, y a mí misma. A lo largo de este proceso, hemos enfrentado momentos en los que la tentación de rendirnos era grande, pero juntos nos apoyamos y nos alentamos mutuamente para seguir adelante. Nuestra perseverancia y compromiso nos han permitido alcanzar la meta que nos propusimos. Estoy orgullosa de nuestro trabajo en equipo y agradecida por la experiencia compartida.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi gratitud hacia los profesores de la escuela de Química y a nuestra asesora, Sandra Miniño. Su paciencia, dedicación y disponibilidad para brindarnos orientación y asesoría en este proyecto han sido invaluable. Agradezco sinceramente su apoyo y contribución a nuestro crecimiento académico y profesional.

Micaela Volonteri

DEDICATORIA

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros familiares, especialmente a Doña María Jiménez por decidir sembrar plantas de yautía blanca en su patio y dejarnos usarlas para iniciar este proyecto de grado. También se lo dedicamos a Mónica Volonteri, quien nos brindó mucho apoyo y ayuda durante este proceso.

Dionicio Molina y Micaela Volonteri

ÍNDICE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	V
ÍNDICE	VII
INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVOS	18
Objetivos General	19
Objetivos Específicos	19
JUSTIFICACIÓN	20
PRIMERA PARTE	
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	24
I.1 Historia del plástico.....	24
I.2 Historia de los bioplásticos	25
I.3 Estudios realizados	26
I.3.1 síntesis de acetato de celulosa y rayón a partir de residuos agroindustriales del cultivo y procesamiento de piña	26
I.3.2 Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz.....	27
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	29
II.1 Plásticos	29
II.1.1 Tipos de plásticos	30

II.2 Degradación de los plásticos	31
II.3 Bioplásticos	32
II.4 Biopolímeros	32
II.4.1 Celulosa	33
II.4.2 Almidón	34
II.4.3 Quitina	36
II.5 Tipos de bioplásticos	36
II.6 Elaboración de bioplásticos a partir de biopolímeros	37
II.6.1 Elaboración de bioplástico a partir de polisacáridos.....	37
II.6.2 Elaboración de bioplástico a partir de proteínas	39
II.6.3 Elaboración de bioplástico a partir de lípidos	40
II.6.4 Elaboración de bioplástico a partir de monómeros de biomasa ...	40
II.6.5 Elaboración de bioplástico a partir de microorganismos	41
II.7 Acetato de Celulosa	41
II.7.1 Propiedades del acetato de celulosa	42
II.7.2 Obtención del acetato de celulosa	43
II.7.3 Plastificantes.....	46
II.7.4 Rellenos	46
II.7.5 Fibras	47
II.8 Mecanismos de biodegradabilidad	47
II.8.1 Biodegradabilidad	47

II.8.2 Compostabilidad	48
II.8.3 Fotodegradación	49
II.9 Yautía Blanca.....	49
II.9.1 Origen de la yautía blanca	49
II.9.2 Clasificación botánica	50
II.9.3 Características de la planta	50
II.9.4 Requerimientos del suelo	51
II.9.5 Composición química y valor nutricional	52
II.9.6 Usos	53
II.9.7 Países productores y distribución	53
II.9.8 Crecimiento	53
II.10 Datos estadísticos de cosecha de yautía en la República Dominicana.....	54
II.11 Residuos de la yautía blanca	54
II.12 Fibras naturales vegetales.....	55
II.12.1 Lignocelulosa	55
II.12.1.1 Hemicelulosa	56
II.12.1.2 Lignina	56
II.12.2 Modificación de fibras naturales	57

SEGUNDA PARTE

MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	59
---------------------------------	----

III.1 Diseño metodológico	59
III.2 Tipo de investigación	60
III.3 Población, muestra y muestreo	61
III.4 Lugar de la investigación	61
CAPÍTULO IV: MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA Y ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO	62
IV.1 Hidrólisis básica	62
IV.2 Hidrólisis ácida	63
IV.3 Acetilación	63
CAPÍTULO V: EXPERIMENTACIÓN	65
V.1 Extracción de la celulosa	65
V.2 Síntesis del acetato de celulosa	66
V.3 Diagrama de proceso	66
TERCERA PARTE	
ANÁLISIS DE COSTOS Y PLAN DE REMEDIACIÓN	
CAPITULO VI: ANALISIS DE COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
VI.1 Rendimiento.....	68
VI.2 Análisis de costos del proceso de extracción y síntesis	70
VI.3 Comparación de precios	72
CAPITULO VII: PLAN DE REMEDIACIÓN.....	73
VII.1 Remediación.....	73

VI.2 Efectos de la acumulación de hojas y tallos de yautía en el medio ambiente ...	74
VI.3 Plan de recolección de los residuos en el campo.....	75
VI.4 Disposición de los residuos	76
VI.5 Gestión de residuos químicos	76

CUARTA PARTE

RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VIII: RESULTADOS	80
VIII.1 Caracterización del bioplástico	80
CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
CAPÍTULO X: CONCLUSIONES.....	84
CAPÍTULO XI: RECOMENDACIONES.....	85

QUINTA PARTE

REFERENCIAS Y ANEXOS

REFERENCIAS.....	87
ANEXOS.....	93

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La situación actual con respecto a la gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos que generan las sociedades a diario es preocupante. Tratando de resolver este problema han surgido en las últimas décadas ciertas soluciones como: el reciclaje, la reutilización, la reducción de algunos materiales, el compostaje, etc.

Duquesa es el vertedero más grande que tiene la República Dominicana y sirve a los municipios de la zona metropolitana de Santo Domingo. Según el ex director de Desechos Sólidos del Ministerio de Medio Ambiente, Francisco Flores Chan, para principios del 2020 llegaban al vertedero más de 5200 toneladas de desechos orgánicos e inorgánicos diariamente. La remediación de residuos orgánicos para la producción de bioplásticos es una alternativa que pudiera ser viable para solucionar dos problemáticas a su vez: el uso excesivo de plásticos derivados del petróleo y la acumulación de basura orgánica.

En algunos países de América Latina como México, Guatemala, El Salvador, entre otros, se ha empezado a aprovechar la cáscara de algunos alimentos como el plátano, el arroz y el mango, para la fabricación de bioplásticos. En el caso de esta investigación se utiliza la planta de la yautía, específicamente las hojas y tallos como materia prima para obtener celulosa y con ésta sintetizar bioplásticos para sustituir los plásticos derivados del petróleo.

La yautía es uno de los alimentos que se puede utilizar para la producción de bioplásticos en la República Dominicana ya que se produce muy fácilmente en climas tropicales y subtropicales. Según el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, en el año 2021 se cosecharon un total de 76,236 toneladas para una producción de 79,737 toneladas.

toneladas de yautía. Este es un cultivo con gran valor alimenticio y su producción nacional proviene en su mayoría de pequeños y medianos agricultores.

Esta investigación está compuesta por cinco partes que se dividen en once capítulos. La primera parte abarca los conceptos teóricos esenciales para comprender el proyecto, incluyendo los antecedentes relacionados con el tema y el marco conceptual. La segunda parte se centra en el enfoque metodológico, donde se explican diversas técnicas disponibles actualmente para la fabricación de bioplásticos y se presenta el método elegido. En la tercera parte se detalla el análisis de costos y el plan de remediación. La cuarta parte contiene los resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones derivadas del proyecto. Finalmente, la quinta parte contiene las fuentes bibliográficas utilizadas y los anexos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el paso del tiempo aumenta cada vez más la producción agrícola de distintos productos, y a su vez, incrementan los residuos. Según Peñaranda González et al. (2017) en su artículo “Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia”, los residuos agroindustriales, se producen en diferentes etapas del proceso de producción agrícola, desde los procedimientos relacionados con el cultivo hasta la adquisición de materias primas o sus operaciones de procesamiento. Si bien este tipo de residuos es de origen natural, su disposición inadecuada también puede generar problemas ambientales y sociales, tales como altas emisiones de dióxido de carbono y partículas por combustión descontrolada, contaminación de cuerpos de agua con lixiviación, generación de olores desagradables o crianza de insectos, ratones y animales.

La producción de estos residuos varía mucho, lo que dificulta la obtención de datos específicos sobre su generación a escala mundial. Sin embargo, para ilustrar aproximadamente el nivel de producción de estos, se puede tomar en cuenta los alimentos más producidos en el mundo, los cuales son la caña de azúcar y el arroz. Produciendo 1,800 millones de toneladas y 509 millones de toneladas respectivamente en 2020. En el caso de la caña de azúcar, se estima que producen entre 30 y 65 toneladas de residuos por cada 1,000 kg de azúcar producidos, mientras que en el caso del arroz se produce casi una tonelada de residuos por cada tonelada de grano finalmente producida.

Los residuos agroindustriales pueden hacer una importante contribución a la economía, ya que pueden utilizarse como materia prima en diversos procesos productivos como se menciona en el artículo de Zainudin et al. (2022). Estos residuos se pueden dividir

en dos tipos diferentes. Por un lado, los residuos de campo como hojas, vainas y tallos que quedan en el campo después de la cosecha. Por otro lado, los residuos de procesamiento como melazas, cáscaras, hongos, yemas, semillas, paja, pulpa, rastrojos y raíces, que se encuentran luego de que el cultivo ha sido transformado en un producto para consumo final.

Estos residuos agroindustriales mencionados anteriormente pueden utilizarse en procesos como el desarrollo de bioplásticos, la extracción de aceites esenciales y aromas naturales para la industria cosmética, así como también la extracción de compuestos bioactivos útiles para la industria farmacéutica. Por lo tanto, los residuos agroindustriales tienen un alto potencial de aprovechamiento debido a sus diferentes propiedades químicas y físicas. No deben ser vistos como un problema, sino como una oportunidad.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

- Proponer un plan para remediar los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) a través de la elaboración de bioplásticos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar un bioplástico (acetato de celulosa) a partir de las hojas y tallos de la planta de yautía blanca.
- Elaborar un plan de remediación de los residuos agroindustriales de la yautía.
- Realizar un análisis de costo para la obtención de acetato de celulosa.

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día se genera una gran cantidad de residuos tanto orgánicos como inorgánicos lo que ha fomentado el aumento de contaminación y es necesario encontrar soluciones. El aprovechamiento de residuos orgánicos podría ayudar a la mitigación ambiental. De ahí nace la idea de la investigación, la cual pretende, con el mejor de los resultados, lograr una disminución de contaminantes utilizando como materia prima las hojas y tallos de la yautía para la extracción de celulosa con el fin de sintetizar bioplástico.

El motivo de esta investigación está impulsado por la necesidad de proponer alternativas (posibles soluciones) a la problemática ambiental que se está viviendo. Además, como futuros ingenieros químicos, se tiene la responsabilidad de aportar soluciones y no seguir fomentando las causas. La Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña demuestra una gran preocupación por los problemas asociados al uso excesivo del plástico y contribuye activamente a través de la realización de investigaciones que buscan brindar soluciones a dicha problemática. Los estudiantes que forman parte de este proyecto se encuentran altamente comprometidos y motivados para seguir aportando en esta área.

Por otro lado, la investigación propone un plan sobre la remediación de los residuos agroindustriales de la yautía que es necesario debido a varios factores; en primer lugar, el crecimiento y desarrollo de la industria agroalimentaria ha llevado a un aumento significativo en la producción de yautía, lo que ha generado una mayor cantidad de residuos agroindustriales. Estos residuos pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, como la contaminación del suelo y del agua, si no se manejan adecuadamente. Además, estos residuos representan una pérdida de recursos potenciales, ya que contienen nutrientes y

materia orgánica que podrían ser utilizados de manera beneficiosa. Por lo tanto, es esencial desarrollar un plan de remediación para abordar estos residuos y encontrar soluciones sostenibles y eficientes para su gestión. La investigación en este campo permitiría identificar métodos y tecnologías adecuadas para el tratamiento de los residuos agroindustriales de la yautía, así como evaluar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

PRIMERA PARTE

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

El interés por la producción de bioplásticos comenzó en la década de 1980 utilizando poliolefinas y almidón como aditivos, pero no tuvo éxito en el mercado debido a los altos costos de producción y tuvo que retirarse a principios de la década de 1990. En los últimos años esto ha cambiado debido al aumento de la contaminación, lo que ha llevado a reintroducir el concepto de bioplásticos como alternativa de solución al problema.

I.1 HISTORIA DEL PLÁSTICO

El descubrimiento de grandes cantidades de petróleo en los Estados Unidos en 1859 fue un hecho decisivo, que muchos años después supuso el inicio de la síntesis de polímeros a partir de sustancias obtenidas en el proceso de refinado del petróleo.

En el libro Los plásticos en nuestra sociedad de Apqua (1995), se narra cómo en 1907, el químico estadounidense Leo Baekeland creó el primer polímero sintético llamado baquelita. Siendo un material muy duro y maleable que se obtiene calentando fenol, desinfectante en la época, y formaldehído, líquido embalsamador. Este plástico todavía se usa como aislante eléctrico.

En el mismo libro se menciona, que la estructura y síntesis de los polímeros se entiende por primera vez en 1920. El químico alemán Hermann Staudinger teorizó que los polímeros consisten en largas cadenas de moléculas repetitivas idénticas monómeros. Las

llamó macromoléculas porque contienen unidades idénticas que se repiten miles de veces. Staudinger recibió el Premio Nobel por su trabajo en química de polímeros.

Entre las décadas de 1920 y 1940, se desarrollaron muchos polímeros sintéticos nuevos. Por ejemplo, el poliestireno en 1930, el polimetilmetacrilato en 1933, el Nylon y el cloruro de polivinilo en 1938, el polietileno de baja densidad en 1939. Fue durante este período que se acuñó el término "plástico" para referirse a estos productos hechos por el hombre.

I.2 HISTORIA DE LOS BIOPLÁSTICOS

Los orígenes de los plásticos orgánicos modernos se remontan a mediados del siglo XIX, cuando aparecieron varios plásticos semisintéticos derivados de la nitrocelulosa. Ejemplos de tales materiales incluyen la parkesina, introducida por Alexander Parkes en la década de 1860, y el celuloide, introducido por John Wesley Hyatt en la década de 1870.

Mediante la nitración de materiales poliméricos naturales, inicia el camino hacia los plásticos semisintéticos. En 1833, el químico francés Henri Braconnot (1781-1855) fue el primero en tratar diversos materiales vegetales (almidón, aserrín, algodón, etc.) con ácido nítrico concentrado para obtener un material que denominó xiloidina. Su compatriota Theophile Jules Pelouze (1807-1867) continuó estos estudios en 1838, añadiendo papel y lienzo a las especies estudiadas. Sin embargo, el avance más significativo lo informó a principios de 1846 el químico alemán Christian Friedrich Schönbein (1799–1868), quien trató el algodón con una mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico para producir un derivado de celulosa inflamable, al que llamó algodón pólvora. Conocido como piroxilina.

Una patente de 1855 de Alexander Parkes describe el desarrollo de varios materiales poliméricos, incluido el uso de soluciones de nitrocelulosa como pinturas y mezclas de nitrocelulosa con caucho natural y gutapercha. En 1860 logró crear un material plástico moldeable, que se convirtió en la base de una patente posterior en 1865. El plástico se conoce como parkesina, y supuestamente el nombre del material fue dado por un entusiasta francés en París.

A partir de 1926 comienza la producción de plásticos derivados del petróleo. Desplazando en gran medida el empleo de los bioplásticos, ya que eran más económicos y presentan mejores propiedades mecánicas. En 1980 se renovó la búsqueda de nuevos bioplásticos, como los polihidroxialcanoatos, compuestos termoplásticos de almidón, ácido poliláctico y la producción de polipropileno (PTT), polietileno tereftalato (PET), 1,3-propanodiol (PDO) y polietileno (PE) a partir de fuentes renovables. (Renovapack, 2022).

I.3 ESTUDIOS REALIZADOS

I.3.1 SÍNTESIS DE ACETATO DE CELULOSA Y RAYÓN A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CULTIVO Y PROCESAMIENTO DE PIÑA.

Este estudio se lleva a cabo en el año 2018 en el Centro Industrial y del Desarrollo Tecnológico (CIDT) por los investigadores Gener Santiago Ortega y Adolfo Erlay Rodriguez. El objetivo principal del estudio fue sintetizar acetato de celulosa y rayón a partir del aprovechamiento de los residuos agroindustriales generados durante el cultivo y procesamiento de piña en Santander, Colombia.

La investigación primero lleva a cabo un proceso para obtener un producto intermedio, el cual es un material de fibra de celulosa blanca. Este es sometido a un pretratamiento alcalino con hipoclorito de sodio (NaClO) y posteriormente se blanquea usando peróxido de hidrogeno (H_2O_2). Después de secar la muestra, este producto intermedio se usa como materia prima para la obtención de dos productos agregados: biopolímero de acetato de celulosa y el rayón. El primero se obtiene mediante una reacción de esterificación en fase heterogénea utilizando anhídrido acético y ácido sulfúrico como catalizador. Por otro lado, el rayón se obtiene mediante una suspensión de Malaquita en solución con hidróxido de amonio y celulosa, finalmente se prepara una solución de ácido sulfúrico para eliminar la coloración de la suspensión.

El estudio demuestra que a nivel de laboratorio los agro residuos del cultivo de piña pueden ser utilizados para obtener celulosa, lo cual se utiliza como materia prima para la síntesis de acetato de celulosa, rayón y papel.

I.3.2 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE PAJA Y RESIDUOS DE GRANOS DE ARROZ

En el año 2019, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica del Perú, Mariangela Brigitte Ortega Cahui llevó a cabo una investigación con el objetivo de aprovechar los residuos agrícolas generados durante la cosecha del arroz para obtener celulosa y almidón, con el fin de desarrollar un bioplástico en el laboratorio.

La celulosa se extrajo mediante la eliminación de hemicelulosa y lignina a través de hidrólisis básica con NaOH al 10% y blanqueamiento con NaClO al 1%. Por otro lado, el

almidón se obtuvo triturando los residuos de granos de arroz, seguido de un proceso de sedimentación, filtración y secado. Se fabricó el bioplástico utilizando almidón, celulosa, glicerina, agua y ácido acético. El almidón se disolvió en agua, para luego agregar ácido acético al 5% y glicerina, se llevó a una plancha magnética a 60 °C, se añadió la celulosa en suspensión y se calentó hasta formar una masa.

Este estudio demostró que la realización de bioplástico a partir de paja de arroz y residuos de granos de arroz es posible. Los resultados obtenidos mostraron que se logró una recuperación promedio del 42.06% de celulosa y del 47.44% de almidón, lo que respalda la viabilidad de utilizar estos recursos renovables para producir materiales plásticos más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL

En la siguiente sección se analizan los conceptos bases para el correcto entendimiento del proyecto en general. Se define qué es el plástico, sus tipos y su mecanismo de degradación. Posteriormente se detalla qué son los bioplásticos, cómo se pueden obtener y los mecanismos de biodegradabilidad, haciendo hincapié en la materia prima utilizada en la investigación, los residuos agroindustriales de la Yautía Blanca.

II.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales formados por polímeros los cuales surgen de la unión repetitiva de moléculas llamadas monómeros, es decir, de macromoléculas los cuales se enlazan de distintas formas. En línea general están compuestos únicamente de carbono, hidrógeno y oxígeno. Los polímeros se pueden obtener a través de la reacción química de polimerización y principalmente, la materia prima que se utiliza para elaboración es el carbón, el gas natural, la celulosa, la sal y el petróleo. Los plásticos se pueden formar a partir de procesos de extrusión, moldeo o hilado y su característica principal es su gran elasticidad y flexibilidad.

Sin embargo, no todos los polímeros son plásticos. Los plásticos son un subconjunto de los polímeros y se caracterizan por su capacidad de deformarse y moldearse de manera flexible cuando se aplican calor y presión. En cambio, existen polímeros que son rígidos, como el caso de algunas resinas utilizadas en adhesivos o revestimientos. También hay polímeros que son elásticos, como los utilizados en la fabricación de cauchos.

II.1.1 TIPOS DE PLÁSTICOS

Los plásticos se pueden clasificar en tres grandes grupos los cuales son: los termoplásticos, los termoestables y los elastómeros.

Los termoplásticos tienen la capacidad de reblandecerse con el calor y mantener de manera fácil una forma estable al enfriarse. Esto se debe a que sus moléculas no están entrelazadas. Por otro lado, están los termoestables, estos se deforman por el calor una sola vez, luego adquieren su forma definitiva. Esto es a causa de que sus moléculas están entrecruzadas y enlazadas entre sí, por lo que forma una estructura o una red tridimensional espacial la cual cuando se le aplica calor solo se compactan más. Por último, están los elastómeros, que tienen una capacidad de elasticidad elevada y además pueden volver a su forma original. Este último a su vez puede ser termoestable o termoplástico.

Tabla 1

Clasificación de los plásticos

Clasificación	Tipos más comunes	Usos
Termoplásticos	Poliétilenos	Fundas, recipientes y contenedores
	Poliésteres saturados	Botellas, envases para alimentos
	Poliestirenos	Placas aislantes y embalaje protector
	Polivinilos	Tuberías de agua y gas, aislantes eléctricos, impermeables y discos de vinilo
	Polipropilenos	Cajas, jeringuillas y estuches
Termoestables	Fenoles	Aislantes eléctricos, interruptores y bases de enchufe

	Aminas	Clavijas, interruptores y recubrimientos de tableros
	Resinas de poliéster	Embarcaciones, piscinas, fibras y tejidos
	Resinas epoxi	Material deportivo, alas de aviones y adhesivos
Elastómeros	Caucho	Neumáticos, mangueras y artículos de goma
	Neoprenos	Trajes de submarinismo, rodilleras y correas
	Poliuretanos	Gomaespuma, piel artificial y guardabarros
	Siliconas	Prótesis, sondas y tubos de uso médico y cierres herméticos

Fuente. Torres Búa, M. (2014). “Materiales de uso técnico”

II.2 DEGRADACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los polímeros que conforman los distintos plásticos son en general resistentes al daño progresivo e inmunes a la corrosión en comparación con otros materiales. Independientemente los polímeros son afectados por la oxidación, el ozono, la radiación ultravioleta y la humedad. Algunos polímeros bajo ciertas circunstancias se pueden deteriorar mientras que otros si se logran degradar. Esta última hace referencia a los cambios que sufren las propiedades físicas de este material, a través de reacciones que provocan que se rompan los enlaces, mientras que deteriorar indica el daño o empeoramiento de la condición original debido al desgaste, el tiempo o el mal uso, afectando negativamente su estado o funcionamiento. (Posada Bustamante, 1994).

II.3 BIOPLÁSTICOS

Los bioplásticos se fabrican total o parcialmente a partir de fuentes de biomasa renovables como la caña de azúcar y el maíz, o de microbios como la levadura. Algunos son biodegradables o incluso compostables, en las condiciones adecuadas. Los fabricados a partir de recursos renovables pueden reciclarse de forma natural mediante procesos biológicos, lo que limita la dependencia de combustibles fósiles para su elaboración y a la vez la protección del medio ambiente.

Por lo tanto, los bioplásticos son sostenibles, en gran parte biodegradables y biocompatibles. Hoy en día, los bioplásticos se han convertido en una necesidad en muchas aplicaciones industriales como el envasado de alimentos, la agricultura y la horticultura, las bolsas de compostaje y la higiene. Los bioplásticos también han encontrado su uso en productos de consumo biomédicos, estructurales, eléctricos y entre otros.

II.4 BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son aquellas macromoléculas, producida únicamente por sistemas biológicos como los animales, las plantas o los microorganismos. Estos polímeros naturales se pueden sintetizar de manera química, pero estos tienen como requisito que sus unidades poliméricas deben ser derivadas de sistemas biológicos como los aminoácidos, los carbohidratos, los lípidos. Esto implica que, aunque es posible replicar los biopolímeros utilizando métodos químicos, se debe utilizar materia prima biológica como base para la síntesis. Por ejemplo, en lugar de extraer directamente los biopolímeros de fuentes naturales, se pueden utilizar los componentes básicos (como aminoácidos, azúcares o grasas) y

ensamblarlos mediante reacciones químicas controladas para obtener los biopolímeros deseados.

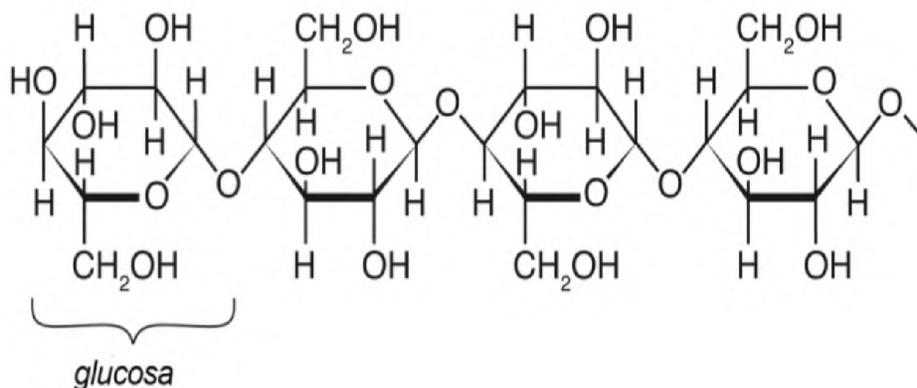
Los biopolímeros provienen principalmente de las siguientes fuentes: de origen animal como el colágeno y la gelatina, de origen marino como son la quitina y quitosano, y de origen microbiano como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxicanoatos (PHAs). (Castro & Montaña, 2020)

II.4.1 CELULOSA

La celulosa es el biopolímero más abundante en la naturaleza. Este se encuentra en la pared celular de las plantas y es parte de su biomasa junto con las moléculas de hemicelulosa y lignina. Tiene una estructura definida lineal y fibrosa, compuesto por D-glucopiranosas, las cuales están unidas por enlaces covalentes glucosídicos β -1,4, permitiéndole así formar largas cadenas, que a su vez se asocian mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals para formar las micro fibrillas. De igual forma posee zonas amorfas que la hace susceptible a ser hidrolizada. (Guerrero Villa, 2021).

Figura 1

Estructura de la celulosa



Fuente. Keller, S, (2019). "Por Qué el Papel Prospera En un Mundo Digital"

II.4.2 ALMIDÓN

El almidón o amilo es un carbohidrato polimérico que consta de numerosas unidades de glucosa unidas por enlaces α -1,4 y α -1,6 glucosídicos. La mayoría de las plantas verdes producen este polisacárido para el almacenamiento de energía. El almidón, principal alimento de reserva de las plantas, constituye dos tercios de la ingesta calórica de carbohidratos de la mayoría de los seres humanos. Los almidones comerciales se obtienen a partir de semillas, particularmente maíz, maíz ceroso, maíz con alto contenido de amilosa, trigo y arroz, y de tubérculos o raíces, en particular patata, batata y tapioca. Su uso principal es en alimentos; los principales usos no alimentarios son para satinar el papel, en textiles, y como adhesivos. (García Quiñónez, 2015).

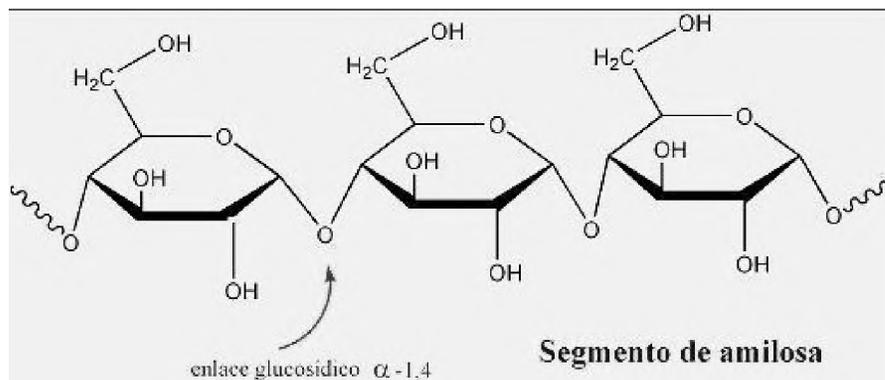
El almidón está formado por dos estructuras poliméricas: la amilosa y la amilopectina, con una composición de 20% y 80 % respectivamente. La amilosa se encuentra en las capas interiores del almidón y está conformada por moléculas de glucosa que se mantienen unidas a través de enlaces glucosídicos α -1,4. Por otro lado, la amilopectina se encuentra en las capas exteriores y la forman enlaces glicosídicos α -1,4 y α -1,6.

La amilosa es menos soluble en agua en comparación con la amilopectina. Esta última presenta una mayor solubilidad debido a su estructura ramificada, lo que facilita su dispersión en medios acuosos. Otra diferencia radica en la capacidad de formar geles; la amilosa tiene la propiedad de formar geles cuando se somete a calentamiento y enfriamiento, debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre sus moléculas. Por el contrario, la amilopectina no forma geles de manera eficiente debido a su estructura ramificada, lo que limita su capacidad para formar estructuras gelificadas.

En términos de digestibilidad, la amilosa es más fácilmente digerible por las enzimas digestivas. Su estructura lineal permite un acceso más rápido de las enzimas a los enlaces α -1,4, lo que facilita su descomposición en glucosa. Por su parte, la amilopectina es menos rápidamente digerible debido a su estructura ramificada y la presencia de enlaces α -1,6 que requieren enzimas adicionales para su descomposición completa.

Figura 2

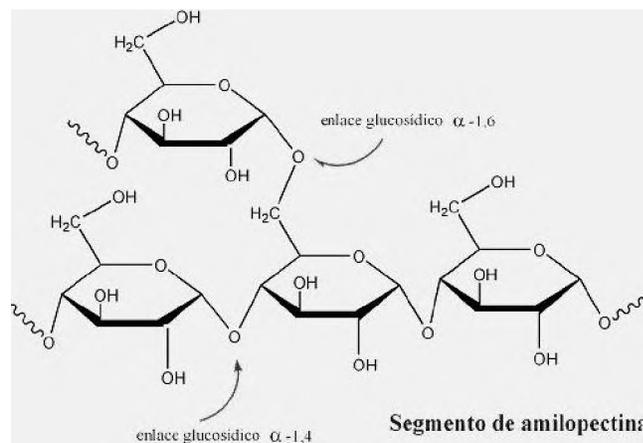
Segmentos de una molécula de amilosa



Fuente. García Quiñónez, A, (2015). “ Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz”

Figura 3

Segmentos de una molécula de amilopectina



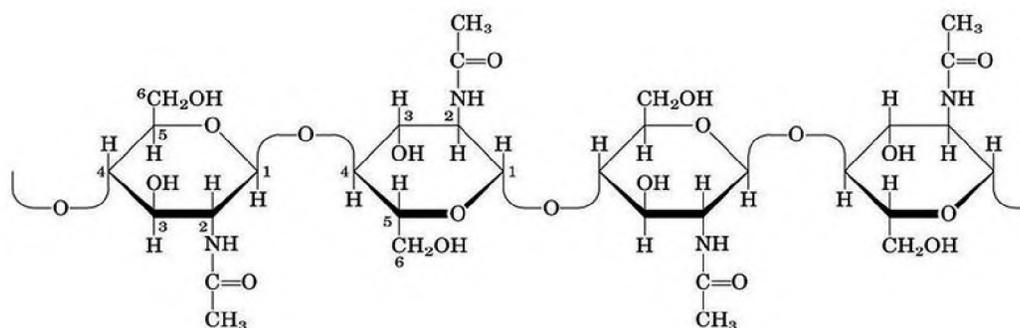
Fuente. García Quiñónez, A (2015). “ Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz”

II.4.3 QUITINA

La quitina es parte de los biopolímeros más abundantes. Esta se encuentra principalmente en la pared celular de los hongos y en el exoesqueleto de los artrópodos. Está compuesta por unidades de N-acetilglucosamina (concretamente N-acetil-D-glucos-2-amina) que pertenece a la familia de los aminoazúcares. Están unidos entre sí por enlaces β -1,4, de la misma manera en que las unidades de glucosa forman celulosa. Este biopolímero y sus derivados se utilizan para el control de enfermedades y plagas en vegetales. (Ortega, 2019).

Figura 4

Estructura de la quitina



Fuente. Mármol et al., (2011). “Quitina y Quitosano, polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones”

II.5 TIPOS DE BIOPLÁSTICOS

Los bioplásticos se clasifican según su origen en dos categorías principales: los que se fabrican a partir de biomasa o materiales orgánicos, y los que se obtienen de productos derivados de fuentes fósiles como el petróleo. A su vez, dentro de estas categorías, existen dos subtipos adicionales: los bioplásticos biodegradables y los no biodegradables. (Rimac León, 2019).

Los bioplásticos de origen biológico y biodegradables están hechos de materiales de origen vegetal como son el ácido poliláctico (PLA), el almidón termoplástico (TPS), el polihidroxialcanoato (PHA) y la celulosa regenerada. Hay que mencionar que existen bioplásticos de origen biológico cuya estructura química no es degradada por microorganismos, pero que pueden reciclarse mecánicamente, como el bio-polietileno (BIOPE), bio-polipropileno (BIO-PP), bio-poliamida (Nylon 11) y biopolietileno (BIO-PET).

Existen también los plásticos de origen fósil y biodegradables, aunque suene contradictorio, estos pueden ser descompuesto por microorganismos, ejemplo de estos son el polietenol (PVA), adipatotereftalato de polibutileno (PBAT) y polibutileno succinato (PBS). Por último, de origen fósil y no biodegradables, conocidos como plásticos convencionales, ejemplos de estos son polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET) y policloruro de vinilo (PVC).

II.6 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE BIOPOLÍMEROS

Existen varias opciones para la fabricación de bioplásticos utilizando biopolímeros. Algunas de las destacadas son la utilización de polisacáridos, proteínas, lípidos, monómeros de biomasa y la producción por microorganismos. Estas diversas opciones ofrecen diferentes fuentes de materiales orgánicos para la elaboración de bioplásticos.

II.6.1 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE POLISACÁRIDOS

Los polisacáridos son carbohidratos complejos que se encuentran en grandes cantidades en las verduras, como el almidón, la celulosa y la quitina. Estos polímeros de

origen vegetal presentan propiedades similares a los plásticos derivados del petróleo y pueden ser utilizados como materia prima en la producción de bioplásticos. Gracias a su abundancia y capacidad de renovación, los polisacáridos son una opción atractiva y sostenible para la fabricación de materiales plásticos más respetuosos con el medio ambiente.

La fabricación de bioplásticos a partir de polisacáridos consiste en extraer estas moléculas de fuentes vegetales y modificarlas químicamente para obtener biopolímeros aptos para su uso en aplicaciones plásticas. Los procesos de modificación química pueden incluir la adición de otros monómeros, la eliminación de grupos funcionales no deseados o la modificación de la longitud de la cadena de polisacáridos.

Una de las principales ventajas de los bioplásticos derivados de polisacáridos es que son biodegradables. Esto significa que puede degradarse en el medio ambiente a través de procesos naturales de degradación bacteriana o abiótica. Esta es una gran ventaja en comparación con los plásticos tradicionales a base de petróleo, que no se degradan fácilmente y pueden tardar cientos de años en degradarse.

Sin embargo, la producción de bioplásticos a partir de polisacáridos presenta varios desafíos, entre ellos: costo y disponibilidad limitada de materias primas derivadas de plantas, la necesidad de procesos de modificación química más complejos, la necesidad de una infraestructura adecuada para la recolección y el almacenamiento y, por último, el compostaje de residuos bioplásticos, ya que su degradación puede requerir condiciones específicas.

II.6.2 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE PROTEÍNAS

Es posible producir bioplásticos a partir de proteínas como la caseína de la leche y la soja. Las proteínas se extraen de las materias primas y luego se modifican para producir biopolímeros. Esta modificación puede implicar un tratamiento térmico o la adición de productos químicos para mejorar las propiedades químicas y mecánicas del biopolímero.

La caseína es una proteína que se encuentra en la leche y se usa comúnmente en la industria alimentaria. La extracción de caseína se realiza separando el suero de la leche y acidificándolo para obtener ácido de caseína. Este ácido se somete a un proceso de secado y plastificación.

La soja, por otro lado, es una fuente de proteína de origen vegetal utilizada en la producción de bioplásticos ya que contiene moléculas llamadas globulina de soja, que se pueden extraer y modificar para producir biopolímeros.

Los bioplásticos elaborados a partir de proteínas presentan propiedades como la resistencia al agua, la flexibilidad y la biodegradabilidad.

Es importante mencionar que la producción de bioplásticos a partir de proteínas aún está en una etapa experimental, por lo que se necesitan más estudios para determinar la factibilidad comercial a gran escala.

II.6.3 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LÍPIDOS

Los lípidos son moléculas orgánicas que se encuentran en distintas fuentes, como aceites vegetales y grasas animales.

Los bioplásticos hechos a partir de lípidos se fabrican a través de un proceso químico llamado transesterificación. En este proceso, los alcoholes reaccionan con los lípidos en presencia de catalizadores para producir ésteres metílicos o etílicos. Estos luego se someten a una polimerización para obtener un biopolímero.

Estos bioplásticos tienen propiedades mecánicas similares a las de los plásticos convencionales a base de petróleo. Tienen una excelente resistencia al calor y rigidez, lo que los hace adecuado para diversas aplicaciones industriales, como la industria automotriz y de empaque.

II.6.4 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE MONÓMEROS DE BIOMASA

La elaboración de bioplásticos a partir de monómeros de biomasa implica extraer moléculas más pequeñas de materiales orgánicos como la madera, los cultivos agrícolas y los desechos animales. Estos monómeros se someten a un proceso de polimerización para formar largas cadenas macromoleculares llamadas polímeros, que son la base de los bioplásticos.

II.6.5 ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO PRODUCIDO POR MICROORGANISMOS

Varias especies de bacterias, arqueas y microalgas acumulan intracelularmente un biopoliéster llamado polihidroxialcanoato (PHA). Estos organismos sintetizan este compuesto para utilizarlo como reserva de carbono y energía. Cuando se logra extraer los PHA de la célula se observa que estos tienen propiedades físicas muy parecidas a la de los plásticos derivados del petróleo. Los PHA se forman cuando se condensa el grupo carboxilo de un monómero, con el grupo hidroxilo siguiente, lo que da lugar a un enlace éster. Una vez ocurrido esto se acumulan como polímeros líquidos, móviles y amorfos en forma de gránulos ubicándose en el citoplasma microbiano y es rodeada de una monocapa de fosfolípidos, creando así lo que se conoce como Endo polisacáridos.

Una de sus desventajas es que la síntesis de PHA ocurre en respuesta a limitaciones de nitrógeno, fósforo, azufre, magnesio y oxígeno (esto dependerá del microorganismo).

II.7 ACETATO DE CELULOSA

El acetato de celulosa es un compuesto orgánico que se puede sintetizar como un sólido en forma de copos, escamas o como un polvo de color blanco. La diferencia en la forma de presentación del acetato de celulosa es el resultado de los diferentes procesos después de su síntesis. Estas formas pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones en función de sus propiedades físicas y características de procesamiento.

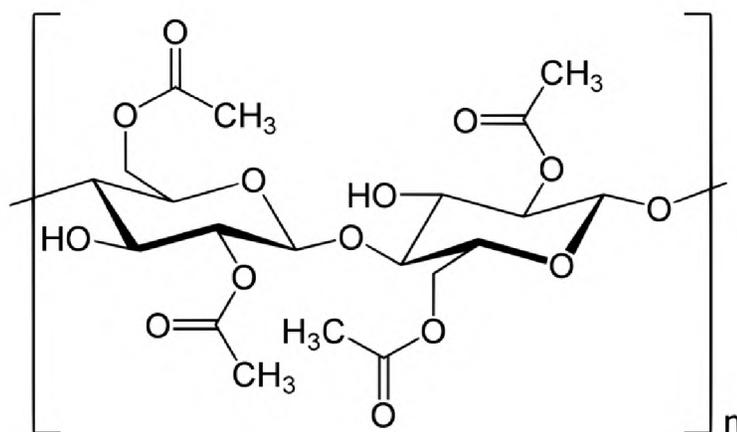
La fórmula molecular del acetato de celulosa es $C_{76}H_{114}O_{49}$. En 1865 Paul Schützenberger y Laurent Naudin fabrican por primera vez el acetato de celulosa, luego de acetilar la celulosa, encontrada en el algodón, con el anhídrido acético y a altas temperaturas (entre 130-140 °C)). (Bechard, 1995). Pero no fue hasta la Primera Guerra Mundial que se empezó a utilizar como sustituto del nitrato de celulosa, ya que este último es altamente explosivo. (Gonzalez, Patiño, Alvarado, Parra & Rodríguez, 2020).

II.7.1 PROPIEDADES DEL ACETATO DE CELULOSA

Las propiedades del acetato de celulosa dependen de la longitud de la cadena de la molécula de celulosa, el grado de acetilación y de la cantidad y tipo de plastificante que se utilice. Independientemente se puede decir que este material tiene características como brillantez, dureza, transparencia y es amorfo con alta claridad. Además, es estable ante los rayos UV y tiene una resistencia química relativamente moderada. (Guerrero Villa, 2021).

Figura 5

Estructura típica del acetato de celulosa



Fuente. Benavides Martínez, T. R, (2014). “Síntesis y caracterización de membranas de acetato de celulosa, obtenidas a partir de desecho agroindustriales”

El acetato de celulosa es resistente a los ácidos diluidos en frío, aunque ciertos ácidos como el acético o el fórmico pueden atacar a temperaturas bajas. Además, es soluble en solventes como la acetona y la metil-etil-cetona (MEK).

En cuanto a su comportamiento frente a solventes, el acetato de celulosa se ablanda en presencia de sustancias como el cloroformo, cloruro de metilo, cloruro de etilo, entre otros. Esto permite su utilización en procesos de disolución y recubrimientos.

Otra propiedad importante del acetato de celulosa es su carácter termoplástico, lo que significa que se vuelve maleable y se ablanda al ser sometido a calor. Tiene un punto de fusión de aproximadamente 230°C, lo que permite su moldeado y conformado en diversas aplicaciones.

Además, el acetato de celulosa es un buen material aislante, lo que lo hace adecuado para su uso en productos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que también puede generar cargas estáticas, lo que requiere consideraciones adicionales en ciertos entornos o aplicaciones.

II.7.2 OBTENCIÓN DEL ACETATO DE CELULOSA

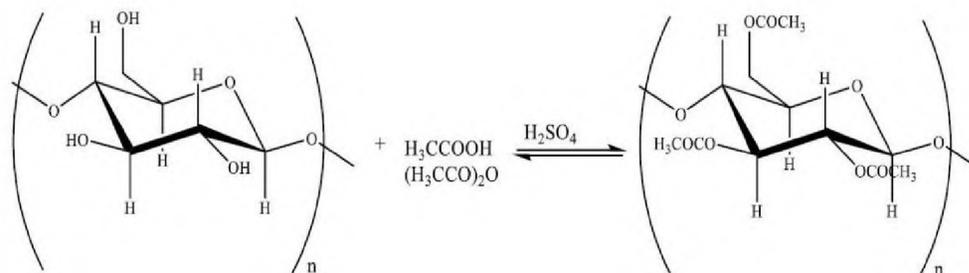
Hoy en día se obtiene el acetato de celulosa a partir de una reacción de acetilación también conocida como la reacción de Schweizer, donde la celulosa reacciona con ácido acético y anhídrido acético en presencia de ácido sulfúrico. En esta reacción los grupos hidroxilo (-OH) de las unidades de glucosa presentes en la celulosa se esterifican y se convierten en grupos acetato. El producto resultante se purifica a partir de un proceso de

precipitación y lavado para obtener un polvo o un líquido viscoso de acetato de celulosa.

(Gonzalez, Patiño, Alvarado, Parra & Rodriguez, 2020).

Figura 6

Acetilación de celulosa



Fuente. Hernández, R, (2018). “Influencia del método de desengrasado en la extracción de celulosa a partir de la especie *Stipa ichu*. Preparación de análogos semisintéticos”

a) Acetilación homogénea: En este método, la reacción de acetilación se realiza en una solución homogénea donde tanto el reactivo de acetilación como el polímero natural se disuelven en un solvente común. Esto permite un control más preciso del grado de sustitución, es decir, la cantidad de grupos acetilo que se incorporan en la cadena del polímero. Sin embargo, este método tiende a ser más costoso en comparación con otros métodos y puede no cumplir con los requisitos toxicológicos y ecológicos debido al uso de solventes y reactivos químicos.

b) Acetilación Heterogénea: En este método, la reacción de acetilación se lleva a cabo en condiciones que preservan la estructura fibrosa de la celulosa, como en el caso de la madera o fibras naturales. No se requiere un pretratamiento de la celulosa y la reacción de acetilación ocurre directamente sobre la superficie de las fibras. Esto puede generar ciertas irregularidades en la sustitución de los grupos acetilo a lo largo de las fibras de celulosa, lo que resulta en una menor resistencia a la degradación enzimática. Aunque

este método puede ser menos costoso y más sencillo que la acetilación homogénea, es importante tener en cuenta que los productos obtenidos pueden tener propiedades menos uniformes y una degradación más rápida en presencia de enzimas.

La diferencia de estos dos métodos es que la acetilación homogénea se realiza en una solución homogénea para obtener derivados sustituidos de manera uniforme en toda la cadena de celulosa, mientras que la acetilación heterogénea se lleva a cabo sobre la estructura fibrosa de la celulosa preservando su forma original.

En la elaboración industrial del acetato de celulosa, se emplea una combinación de ácido sulfúrico y ácido acético para tratar la celulosa, obtenida típicamente de la pulpa de madera procesada (Ruiz, 2018). Tras esta etapa, se retira el exceso de ácido acético y se agrega anhídrido acético para proceder con la esterificación y obtener el triacetato de celulosa. Sin embargo, la limitada solubilidad del compuesto en acetona condiciona sus aplicaciones al dificultar su procesamiento, manipulación, formación de películas y compatibilidad con otros materiales. Por fortuna, es posible obtener el acetato de celulosa mediante hidrólisis parcial del triacetato, obteniendo una molécula en la que cada unidad de anhidroglucosa presenta un DS (grado de sustitución) de 2,2-2,7 de grupos acetilo, lo que permite su solubilidad en acetona. Conviene mencionar que el DS es un dato relevante tanto en celulosa como en otros polisacáridos, ya que representa la suma de grado de sustitución de los tres grupos hidroxilo presentes en la unidad de anhidroglucosa. (Guerrero Villa, 2021).

II.7.3 PLASTIFICANTES

Los plastificantes son aditivos que se añaden a los plásticos para mejorar sus propiedades mecánicas y facilitar su procesamiento. Generalmente, estos aditivos se agregan para aumentar la flexibilidad y la elasticidad, lo que permite la producción de una amplia gama de productos plásticos con diferentes propiedades adaptadas a las necesidades de cada aplicación específica. (Ruiz Avilés, 2005).

Los plastificantes juegan un papel importante en los bioplásticos ya que pueden transformar sustancias en materiales termoplásticos (TPS). El plastificante a usar dependerá de las propiedades deseadas del bioplástico y del tipo de biopolímero utilizado. (Ruiz Avilés, 2005).

II.7.4 RELLENOS

Los rellenos son aditivos que se agregan para mejorar, ajustar o dar volumen a las propiedades de la celulosa termoplástica. Los más usados de origen inorgánico son el caolín, la mica y otras arcillas. Estos rellenos pueden disminuir la porosidad, aumentar brillo a la superficie o en algunos casos proporcionar transparencia. Por otro lado, los rellenos que son orgánicos como el silicato de calcio o aluminato de calcio, se añaden con el objetivo de absorber agua para que no interfiera cuando se estén procesando los termoplásticos. También existen geles (sustancia espesa formada por pequeñas partículas dispersas en un líquido que, a simple vista, parece ser sólido, pero es viscosa y puede deformarse fácilmente debido a su naturaleza coloidal) o micro geles que pueden absorber la humedad del aire lo que hace que la sensibilidad que tienen la celulosa termoplástica se vea reducida.

II.7.5 FIBRAS

Las fibras son materiales largos y delgados, generalmente de origen natural o sintético. En el contexto de la ingeniería de materiales, las fibras inorgánicas se utilizan a menudo como refuerzo en compuestos para mejorar la resistencia y la rigidez, mientras que las fibras orgánicas pueden impartir flexibilidad y dureza a algunos materiales.

Algunos ejemplos de fibras que se pueden utilizar para fabricar bioplásticos son las fibras de celulosa, las fibras de algodón, las fibras de lino, las fibras de cáñamo, las fibras de bambú y las fibras de seda. Estas fibras pueden dar a los bioplásticos una excelente resistencia y rigidez, así como una gran durabilidad y estabilidad térmica. También existen bioplásticos que incorporan fibras de materiales inorgánicos como el vidrio y la cerámica para mejorar aún más sus propiedades mecánicas.

II.8 MECANISMOS DE BIODEGRADABILIDAD

Un material biodegradable puede desintegrarse en el medio ambiente a través de cuatro mecanismos diferentes: biodegradabilidad, compostabilidad y fotobiodegradación.

II.8.1 BIODEGRADABILIDAD

La biodegradación es un proceso llevado a cabo por microorganismos que descomponen la materia orgánica en sus elementos constituyentes o nuevos compuestos. Los microorganismos, en particular las bacterias (y los hongos en menor medida), son responsables de la descomposición de los compuestos orgánicos naturales y sintéticos en la

naturaleza. La mineralización es el resultado de este proceso y supone la conversión completa de los compuestos en sus componentes minerales inorgánicos. Debido a que el carbono es el principal elemento de los compuestos orgánicos, el proceso de mineralización se puede relacionar con la emisión de dióxido de carbono (CO₂). (Focht, 2020).

La importancia de la biodegradabilidad y la mineralización radica en su capacidad para reducir la cantidad de residuos que se acumulan en el medio ambiente y devolver los nutrientes al suelo y las fuentes de agua.

II.8.2 COMPOSTABILIDAD

La compostabilidad se refiere a la capacidad inherente de un material para descomponerse de forma natural sin dejar residuos perjudiciales en el proceso. Los materiales compostables pueden ser tratados en un sistema de compostaje apropiado, donde se transforman en compost, un valioso producto orgánico que contiene nutrientes y se utiliza para enriquecer y mejorar la calidad del suelo. (GEMAP, 2000).

La compostabilidad implica que el material se desintegra mediante la acción de microorganismos, bacterias y hongos en condiciones de compostaje controladas. Durante este proceso, el material compostable se descompone en partículas más pequeñas y se transforma en materia orgánica estable, como dióxido de carbono, agua y nutrientes. Estos productos finales tienen un impacto positivo en la salud del suelo y se pueden utilizar en actividades agrícolas, horticultura y restauración ecológica.

Es relevante destacar que la compostabilidad está determinada tanto por las características del material en sí como por las condiciones específicas en las que se lleva a cabo el proceso de compostaje.

II.8.3 FOTODEGRADACIÓN

La fotodegradación es un proceso químico que ocurre principalmente por la exposición a la radiación ultravioleta y visible. Este proceso puede disgregar los enlaces químicos en los materiales orgánicos, lo que puede resultar en la reducción del tamaño de partículas y la disminución de la resistencia mecánica. La fotodegradación se utiliza intencionalmente en la degradación de materiales sintéticos y plásticos, como las bolsas de plástico biodegradables. (Villalta Estrada, 2018).

II.9 YAUTÍA BLANCA

La yautía blanca es definida por Lim, T. K. (2014) como una planta perenne, herbácea, sin espinas, lechosa, alcanza una altura de 1.5-2 m, con el tallo principal subterráneo en forma de rizoma con la parte principal corta, gruesa, globosa o cilíndrica, formando brotes laterales (cormos).

II.9.1 ORIGEN DE LA YAUTÍA BLANCA

Se cree que esta especie tropical se originó en el norte de América del Sur y se extendió al Caribe y América Central antes de introducirse en otras partes de África, Asia y el Pacífico. Esta especie está adaptada a regiones tropicales húmedas, húmedas y cálidas.

La yautía corresponde botánicamente a *Xanthosoma sagittifolium*. Las seis especies existentes de *Xanthosomas* comestibles pueden ser variedades de la misma especie. En las Antillas se le llama tannier; Yautía es un nombre que se usa en Puerto Rico, República Dominicana y Filipinas. En Costa Rica se le dio el nombre común de tiquisque.

II.9.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

La taxonomía de la *Xanthosoma sagittifolium* o yautía blanca se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 2

Taxonomía de la Xanthosoma sagittifolium

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	<i>Xanthosoma</i>
Especie	<i>X. sagittifolium</i>

Fuente. Paz, L. (2019). “BOTÁNICA // *Xanthosoma sagittifolium* (Araceae)”

II.9.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

El corno es un tallo subterráneo engrosado, de base hinchada y crecimiento vertical, que contiene nudos y abultamientos. En el caso de la yautía, se caracteriza por tener una coloración marrón claro y una pulpa interna blanca o amarillenta. La planta tiene varias hojas grandes que brotan de la parte principal, siendo estas hojas, gruesas, de color verde oscuro o purpúreas, de pecíolo largo (pecíolos de hasta 1,5 m de largo), lámina sagitada o hastada no

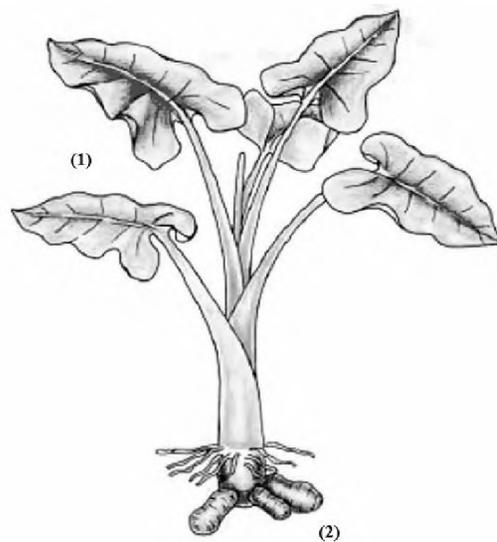
peltada, de hasta 90 cm de largo y hasta 60 cm de ancho, ápices agudos y lóbulos basales anchos con nervio marginal prominente.

II.9.4 REQUERIMIENTOS DEL SUELO

La yautía blanca requiere suelo húmedo, pero bien drenado, fértil y prefiere sombra parcial. Las temperaturas medias para un crecimiento óptimo deben superar los 20 °C. En su hábitat natural, a menudo crece bajo el dosel de la selva tropical a lo largo de las orillas de los arroyos con sombra, pero no en condiciones inundadas o pantanosas. Aunque esta planta es originaria de los trópicos, puede soportar períodos cortos de bajas temperaturas.

Figura 7

Hojas (1) y cormos (2) de la yautía



Fuente. Jiménez, M., Xiqués, X., Román, M., González, C., Sánchez, I., Nadal, M., Beovides, Y., Guerra, D., Guerra, D. (1991). “Caracterización de la variabilidad de Xanthosoma en Cuba”

II.9.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

La yautía es un cultivo con un gran potencial. Esta planta produce tubérculos de alto rendimiento, fáciles de almacenar y con un alto valor nutricional. Es una excelente fuente de caroteno (pro-Vitamina A).

Tabla 3

Valor nutricional del cormo de la yautía

Componente	Yautía Blanca
Humedad	58.8
Proteína	5.4
Fibra Cruda	1.0
Grasa	0.6
Ceniza	1.0
Extracto libre de nitrógeno	79.6
Calcio	40.0 mg
Fósforo	140.0 mg
Hierro	0.9 mg
Potasio	520.0 mg
Ácido ascórbico (vitamina C)	8.0 mg
Niacina	0.5 mg
Riboflavina	0.02 mg
Tiamina	0.10 mg

Fuente. Hernández, R. (1996) "Cultivo de Yautía"

Cabe destacar que en las hojas y tallos de esta planta existe una acumulación de sustancias tóxicas como son el ácido oxálico y la asparagina.

En las hojas y tallos de la yautía, la cantidad de celulosa es menor en comparación de otras fuentes de fibra vegetal como la madera o el algodón, estimándose que suele representar entre el 30% y el 50% de su composición.

II.9.6 USOS

La yautía blanca se utiliza principalmente como alimento. Tiene condiciones especiales para niños, ancianos y enfermos del estómago ya que cuenta con unos gránulos de almidón relativamente pequeños (1-3 micras). También se puede preparar harinas a partir del cultivo. Las hojas más jóvenes se utilizan de igual manera para ser ingeridas tanto por humanos como por animales. (Paz, 2019).

II.9.7 PAÍSES PRODUCTORES Y DISTRIBUCIÓN

La planta como se ha mencionado es de origen americano desde México hasta Brasil. Actualmente su cultivo se concentra en la región del Caribe, aunque se cultiva de igual manera en la región pantropical en países productores de tubérculos.

II.9.8 CRECIMIENTO

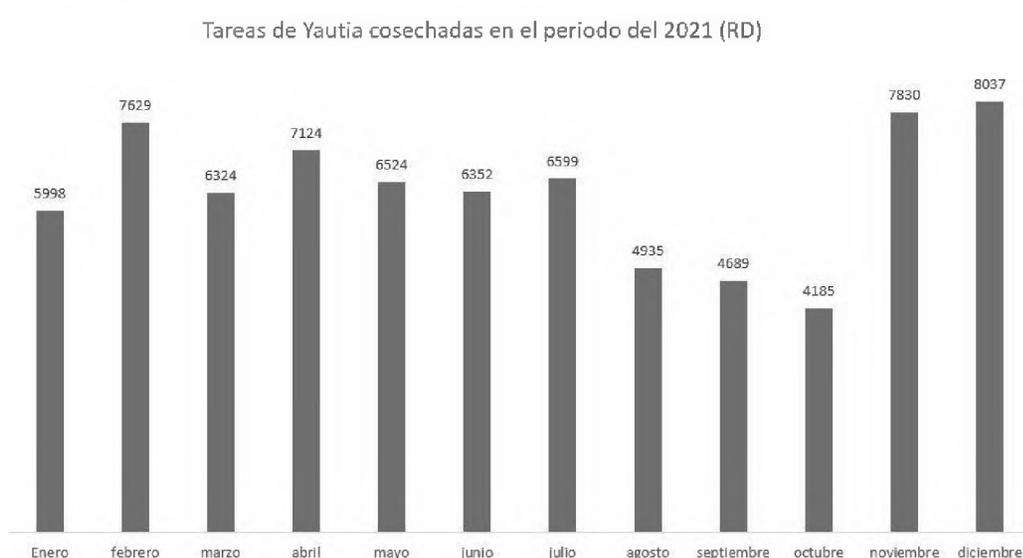
La *Xanthosoma sagittifolium* tiene un periodo de crecimiento y desarrollo de 9 a 12 meses. Las fases fenológicas son las siguientes: llenado del corno y emisión foliar con una duración del mes 0 al 6. A partir del mes 6 hasta el 12 es el rebrote de cornos. Por último, a partir del mes 12 se tiene la floración.

II.10 DATOS ESTADÍSTICOS DE COSECHA DE YAUTÍA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA.

Según el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, en el año 2021 se cosecharon un total de 76,236 tareas o 47, 941,770 m² para una producción de 797,370 quintales o 79,737 toneladas de yautía.

Figura 8

Gráfica de la Superficie Cosechada de yautía Mensual a Nivel Nacional



Fuente. Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, (2021). “Superficie Cosechada Mensual a Nivel Nacional 2000-2021”

II.11 RESIDUOS DE LA YAUTÍA BLANCA

La cantidad de residuos de yautía puede fluctuar debido a diversos factores, tales como la cantidad de yautía producida, la demanda en el mercado, las prácticas utilizadas para gestionar los residuos y otros aspectos relacionados.

Tanto la hoja como el tallo de la yautía blanca no son aprovechados en ningún tipo de actividad económica, por lo que sus propiedades pueden ser utilizadas para la realización de esta investigación.

II.12 FIBRAS NATURALES VEGETALES

Según McNeil, Darvill, Fry y Albersheim. (1984) las fibras vegetales son haces largos y delgados de células vegetales muertas que se mantienen unidas por pectina y otros compuestos no celulósicos. Una sola fibra (célula única) consta de dos paredes. La pared celular de una célula vegetal en crecimiento es una pared primaria compuesta por un 90 % de polisacáridos y un 10 % de glicoproteínas. La pared principal constituye una pequeña parte de la fibra total. La pared celular primaria determina el tamaño, la forma y la tasa de crecimiento de la célula.

II.12.1 LIGNOCELULOSA

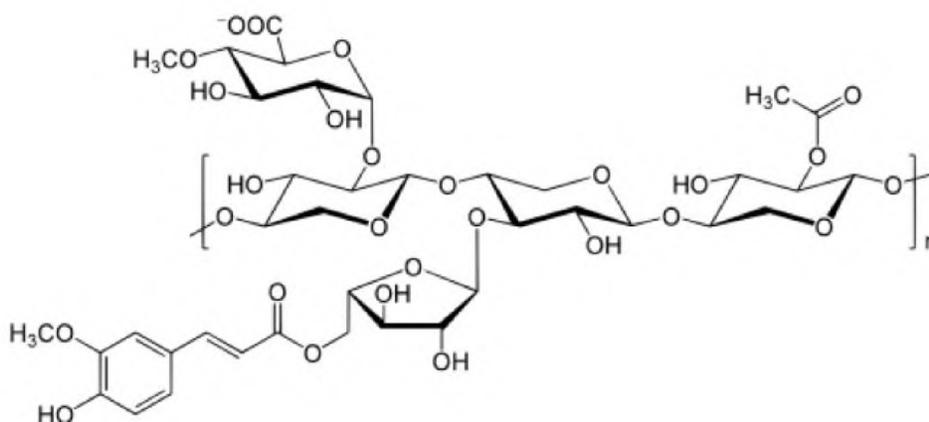
La lignocelulosa es el componente principal de las paredes celulares de las plantas y los tejidos de soporte. Se distribuye ampliamente en residuos de cultivos como tallos de maíz, paja de trigo, aserrín, ramas muertas, hojas caídas y pastos, representando del 30% al 50% del peso seco total de la planta. La lignocelulosa se compone principalmente de celulosa (alrededor del 35-50 %), hemicelulosa (alrededor del 20-40 %) y lignina (alrededor del 15-25 %)

II.12.1.1 HEMICELULOSA

La hemicelulosa es un tipo de polisacárido compuesto por pentosa y hexosa, logrando formar cadenas de 100 a 200 unidades. Los monosacáridos que la suelen conformar son la xilosa, manosa, glucosa, galactosa arabinosa, ácido glucurónico, ácido 4-O-metilglucurónico, ácido galacturónico, ramnosa y otros azúcares O-metilados. La hemicelulosa tiene como función principal enlazar las moléculas de celulosa y lignina en las paredes celulares de las plantas y otros organismos. Se caracteriza por su estructura amorfa e hidrofílica. (Guerrero Villa, 2021).

Figura 9

Estructura de la Hemicelulosa



Fuente. Parada Puig, R. (2019). “Hemicelulosa: clasificación, estructura, biosíntesis, funciones”

II.12.1.2 LIGNINA

La lignina es un polímero tridimensional altamente ramificado con varios grupos funcionales que pueden proporcionar centros activos para interacciones químicas y biológicas. Los principales grupos funcionales de la lignina son el grupo hidroxilo fenólico, el grupo hidroxilo alifático, el grupo metoxi, el grupo carbonilo, el grupo carboxilo y el

sulfonato. La lignina se deposita en la pared celular, haciéndola rígida e impermeable al agua. La lignina protege los polisacáridos de la pared celular de la degradación microbiana y proporciona resistencia a la descomposición.

II.12.2 MODIFICACIÓN DE FIBRAS NATURALES

Las fibras pueden modificarse física y químicamente para corregir las deficiencias de estos materiales, particularmente en cuanto a adhesión, estabilidad dimensional y termoplaticidad. La modificación de la superficie de las fibras naturales se puede utilizar para optimizar las propiedades de la interfaz fibra-matriz.

Wallenberger y Weston (2003) explican como la sorción de agua provoca una disminución de la resistencia de los compuestos termoplásticos de fibra natural debido a la incompatibilidad de los diferentes componentes; las fibras naturales son hidrófilas y los termoplásticos son hidrófobos. El resultado de esta incompatibilidad es una interacción débil entre los componentes y, por lo tanto, interfaces débiles. Además, las interacciones de las fibras provocadas por enlaces de hidrógeno intermoleculares limitan la dispersión de las fibras en la matriz. La modificación de la superficie es necesaria para facilitar la dispersión de las fibras e inducir la formación de enlaces entre las fibras naturales y la matriz.

SEGUNDA PARTE
MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El capítulo metodológico de esta investigación describe en detalle los procedimientos y enfoques empleados para llevar a cabo el estudio. Este capítulo es fundamental para comprender cómo se obtuvieron los datos, qué técnicas se utilizaron para analizarlos y cómo se abordaron las preguntas de investigación. Se presentarán los métodos de muestreo, la descripción de la población y muestra, así como las técnicas de recolección de datos utilizadas. Además, se explicarán las estrategias de análisis de datos empleadas y se justificarán las decisiones metodológicas tomadas para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados. El capítulo metodológico constituye una guía clave para comprender la rigurosidad y el alcance de la investigación, proporcionando una base sólida para la interpretación y discusión de los hallazgos obtenidos.

III.1 DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación experimental es aquella en la que el investigador desea comprobar los efectos de una intervención específica, en este caso el investigador tiene un papel activo, pues lleva a cabo una intervención. (Saldaña, J. P. & de los Godos, L. A., 2011). Este tipo de investigación está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información necesaria sobre el tema a investigar y el problema a resolver. (J. Ruiz, 2019).

Este proyecto de investigación es considerado de tipo experimental ya que se demuestra mediante el manejo de variables experimentales no confirmadas y bajo

condiciones estrictamente controladas, la elaboración de un bioplástico a base de los residuos (hojas y tallos) de la yautía blanca (*Xanthosoma sagittifolium*).

III.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio adoptará un enfoque de investigación técnica documental con un carácter exploratorio. Este tipo de investigación se basa en la recopilación, análisis y síntesis de información existente en fuentes documentales, tales como artículos científicos, informes técnicos, libros y documentos de referencia. El objetivo principal es explorar y obtener conocimientos sobre los residuos agroindustriales de la yautía, su composición, características, tecnologías de tratamiento y posibles aplicaciones. A través de una revisión bibliográfica exhaustiva, se busca identificar las tendencias actuales, las investigaciones previas y las mejores prácticas relacionadas con la gestión y aprovechamiento de estos residuos. La investigación exploratoria permite establecer una base sólida de conocimiento y generar nuevas ideas y enfoques para el abordaje de los residuos agroindustriales de la yautía, sentando así las bases para investigaciones futuras y la formulación de propuestas concretas de remediación.

Dicho esto, en esta investigación utiliza un enfoque mixto, ya que hace uso de datos tanto cuantitativos como cualitativos proporcionados por las propiedades y/o características que posee los residuos de la yautía (*Xanthosoma sagittifolium*). Estas informaciones recopiladas ayudan a analizar e implementar el método más factible para sintetizar bioplásticos.

III.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

La población de interés en la presente investigación está compuesta por los residuos de la yautía (*Xanthosoma sagittifolium*). El tamaño de la muestra seleccionada para el estudio consiste en una cantidad de 100 gramos de esta misma especie. El muestreo es realizado de forma no probabilística por conveniencia, eligiendo los residuos de yautía disponibles y accesibles en el momento de la recolección. Esta metodología de muestreo permite obtener una muestra representativa de los residuos de yautía disponibles en la ubicación y período de estudio, facilitando el análisis y la obtención de conclusiones pertinentes para el alcance de la investigación.

III.4 LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación cuenta con una etapa experimental que se realiza en los laboratorios de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, y una etapa analítica efectuándose en el Laboratorio de la dirección General de Aduanas, en donde se obtienen resultados de la caracterización de la muestra.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA Y ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS

Durante las últimas décadas se han desarrollado e implementado procedimientos para lograr la extracción de celulosa. Las fibras se pueden romper en polímeros más pequeños utilizando ácidos o bases, el uso de cada uno dependerá del fin que se quiera lograr. Un tratamiento con ácido solubiliza la hemicelulosa mientras que uno básico remueve la lignina. (Ortega, 2019).

A continuación, se describen los métodos seleccionados para la extracción de celulosa y la elaboración de bioplástico a partir de los residuos agroindustriales de la yautía. Estos métodos han sido seleccionados debido a su eficiencia en la obtención de celulosa y su viabilidad en la producción de bioplásticos a partir de los residuos agroindustriales de la yautía.

IV.1 HIDRÓLISIS BÁSICA

La hidrólisis básica es un método químico en el cual se logra separar y eliminar componentes como la lignina, la hemicelulosa y la pectina, con la ventaja de que no se ven afectados los demás componentes de la biomasa. Se utilizan los siguientes reactivos: hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de bario ($\text{Ba}(\text{OH})_2$), amoníaco (NH_3) u óxido de calcio (CaO). Este método se puede utilizar agua destilada como solvente y en general no requiere temperaturas muy elevadas, pero toma un tiempo considerable para que las reacciones se completen. (Lema & Manzo 2021).

IV.2 HIDRÓLISIS ÁCIDA

La hidrólisis ácida es un proceso químico utilizado para generar nanocristales de celulosa a partir de la celulosa presente en la pared celular de las plantas. En este método, se utilizan ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico y el clorhídrico, para descomponer la celulosa. Es importante destacar que estos ácidos son altamente tóxicos, corrosivos y peligrosos, por lo que se deben tomar medidas de seguridad adecuadas durante su manipulación. Aunque se puede utilizar este método para extraer la celulosa, no se recomienda debido a la toxicidad de los reactivos que se utilizan.

Cabe destacar que existen dos condiciones en las que se puede trabajar con el ácido sulfúrico: la primera utiliza el ácido concentrado, temperaturas bajas y un tiempo de reacción largo, mientras que la segunda utiliza el ácido diluido, temperaturas altas y un tiempo de reacción más corto.

IV.3 ACETILACIÓN

La acetilación es un método químico que consiste en la adición de un grupo acetilo ($-\text{COCH}_3$) a una molécula o compuesto. Esta reacción se lleva a cabo mediante la transferencia de un grupo acetilo de un compuesto donante, generalmente el acetato de acetilo, a un aceptor, que puede ser un alcohol, una amina u otra especie química.

La acetilación se puede realizar en presencia de un catalizador, como ácidos fuertes o bases, que promueven la transferencia del grupo acetilo.

En la investigación, se emplea específicamente el método de acetilación homogénea, en el que los reactivos y el catalizador se encuentran en una fase líquida homogénea. Este enfoque nos permitió tener un mayor control sobre la reacción y una distribución más uniforme del grupo acetilo en la molécula objetivo.

CAPÍTULO V. EXPERIMENTACIÓN

El método utilizado en esta investigación se basa en el estudio titulado "Síntesis de acetato de celulosa y rayón a partir de residuos agroindustriales del cultivo y procesamiento de piña" realizado por Gener Santiago Ortega y Adolfo Eralay Rodríguez en 2019. Con el fin de garantizar la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos, todas las pruebas y mediciones se realizaron por triplicado.

V.1 EXTRACCIÓN DE LA CELULOSA

Se lavan 100 gramos de las hojas de yautía para remover cualquier residuo. Se realiza un pretratamiento alcalino en un beaker de cristal de 1 litro, con una relación de materia prima/solución alcalina de NaOH de 2 / 5 (P/V), con agitación entre 350-400 rpm a una temperatura de 95 °C, durante 3 horas. Una vez finalizada la reacción se separa la fracción sólida de la líquida, mediante filtrado, y se lava con agua destilada hasta que el color oscuro se elimine y tenga un pH neutro.

Después se realiza un pre-blanqueamiento con 10% (V/V) de H₂O₂ en proporción 4:1 con respecto a la fracción sólida, se calienta a temperatura constante durante 2 horas y con una agitación entre 150-200 rpm. Posteriormente se lava la muestra con agua destilada para retirar el H₂O₂ y se somete la fracción sólida a otro proceso de blanqueamiento con una solución de NaClO al 10 % (V/V) con una proporción de 4:1 en relación a la fracción sólida y nuevamente agitar, entre 250-300 rpm por 2 horas a temperatura ambiente. Luego de finalizar el blanqueamiento el material se lava repetidamente con agua destilada y se seca por tres horas a 75°C.

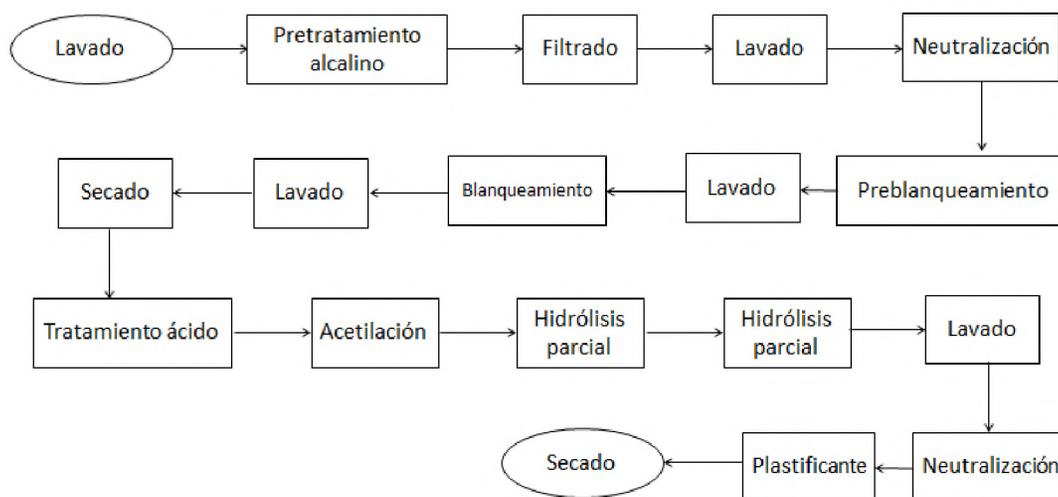
V.2 SÍNTESIS DEL ACETATO DE CELULOSA

Se hace reaccionar los 15.12 gramos de celulosa obtenidos en la extracción anterior con 24 mililitros de ácido acético glacial y se agita por una hora a una temperatura de 37.8 °C. Luego se agrega 100 mililitros de ácido acético glacial y 0.15 mililitros de ácido sulfúrico y se agita por 45 minutos. Una vez finalizado el tiempo se deja enfriar hasta 18.3 °C y se añaden 32.8 mililitros de anhídrido acético y 0.8 mililitros de ácido sulfúrico. Una vez todo esté mezclado se eleva la temperatura hasta 35 °C y se agita durante 1 hora. Después se agrega una solución de 12 mililitros de agua y 22 mililitros de ácido acético glacial en pequeñas porciones durante una hora. Se agita durante 1 hora y se lava con agua destilada hasta pH neutro. Para finalizar se filtra el material y se agrega glicerina (entre 1-2 mililitros) y se deja secar a temperatura ambiente por convección natural.

V.3 DIAGRAMA DE PROCESO

Figura 10

Diagrama de flujo del proceso para la síntesis de Acetato de celulosa



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

TERCERA PARTE

ANÁLISIS DE COSTOS Y PLAN DE REMEDIACIÓN

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE COSTOS

Un análisis de costos es un proceso sistemático que se realiza para identificar, calcular y evaluar los costos asociados con un proyecto, producto, servicio o actividad. Consiste en desglosar y examinar detalladamente los diversos componentes de costos involucrados en una operación empresarial o en la realización de un proyecto.

VI.1 RENDIMIENTO

A continuación se calculan los rendimientos tanto para la extracción de celulosa como para la obtención del acetato de celulosa. Para calcular el rendimiento, primero se debe determinar la cantidad teórica de celulosa que se debería haber producido a partir de los 100 gramos de hojas y tallos utilizados.

La cantidad de celulosa que se puede extraer puede variar dependiendo de varios factores, como la especie de yautía, el método de extracción y la eficiencia del proceso. La celulosa es el principal componente estructural de las plantas y suele representar entre el 30% y el 50% de la composición de la pared celular de las células vegetales. Se estima que la celulosa constituye alrededor del 40% del peso de la pared celular de las plantas.

Se considera que de los 100 gramos de hojas y tallos de yautía utilizados, aproximadamente 40 gramos corresponden a celulosa teórica, por lo tanto el rendimiento se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad real de celulosa}}{\text{Cantidad teórica de celulosa}} \cdot 100 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{15.12 \text{ g}}{40 \text{ g}} \cdot 100 \%$$

$$\text{Rendimiento} = 37.8 \%$$

Entonces, el rendimiento de la síntesis de acetato de celulosa sería:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cant.de acetato de celulosa obtenido}}{\text{Cant.de celulosa utilizados}} \cdot 100 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1.41 \text{ g}}{15.12 \text{ g}} \cdot 100 \%$$

$$\text{Rendimiento} = 9.33 \%$$

Es fundamental tener en consideración que el rendimiento final puede verse afectado por diversos factores. Entre ellos, se encuentran el método de síntesis empleado, la pureza de los reactivos utilizados y las condiciones específicas de la reacción. Estos elementos desempeñan un papel crucial en la obtención de un producto final de alta calidad y en la optimización del rendimiento del proceso.

VI.2 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y SÍNTESIS

Para la obtención del acetato de celulosa se deben pasar por varios procesos primero se debe extraer la celulosa de los residuos de la yautía y luego acetilar la celulosa obtenida.

En esta parte se lleva a cabo un análisis detallado de los costos asociados a la extracción de celulosa y síntesis del acetato de celulosa. El objetivo principal es evaluar de manera explícita los gastos directamente relacionados con estos procesos, y posteriormente comparar los resultados obtenidos con los precios ofrecidos en el mercado de las materias primas.

El costo de obtener 1.41 g de acetato de celulosa a escala de laboratorio es de RD \$1,365.99. A continuación el detalle de los mismos:

Tabla 5.

Materia prima para la extracción de la celulosa

Reactivo/Material	Cantidad	Precio (\$RD)	Cantidad Utilizada por Corrida	Costo por Consumo (\$RD)
Hidróxido de Sodio Alquera	1 Kg	574.60	25 g	14.37
Peróxido de hidrógeno 0,9% p/v (3 vol)	500 ml	440.00	160 mL	140.80
Hipoclorito de sodio 5.25%	1 L	65.00	160 mL	10.40
Agua destilada	8 L	550.00	4 L	275.00
Tiras de pH: Universal Indicator Strips pH 0-14	100 und	817.08	3 und	24.51
Papel filtro Standard. SCHARLAU	100 und	714.63	3 und	21.44
Total				486.52

Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Tabla 6.

Materia prima para la síntesis del acetato de celulosa

Reactivo/Material	Cantidad	Precio (\$RD)	Cantidad Utilizada por Corrida	Costo por Consumo (\$RD)
Ácido acético glacial EssentQ®	1 L	3,342.65	146 mL	488.03
Ácido sulfúrico 95 - 98%, Pharmpur®	1 L	4,227.01	0.95 mL	4.02
Anhídrido acético EssentQ®	1 L	3,256.02	32.8 mL	106.80
Agua destilada	8 L	550.00	4 L	275.00
Glicerina solución USP VEGETAL 99,5% Alquera	250 mL	2,071.64	2 mL	1.15
Total				875.00

Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Tabla 7.

Consumo eléctrico

Equipo	Consumo (W)	Utilización (Horas)	Total (kWh)
Agitador magnético calentador	558.50	8	4.47
Total			4.47

Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Factores tomados en cuenta para el análisis de costos

- En cada corrida de la investigación se utilizó 100 gramos de residuos yautía (hojas y tallos)
- Tasa de cambio para el dólar (1 dólar = 55 pesos dominicanos)
- Tasa de cambio para el euro (1 euro = 58.05 pesos dominicanos)
- Tarifa eléctrica consultada a la fecha (41.34 \$RD monto fijo los primeros 100 kWh + 6.17 \$RD/kWh para consumo entre 0 y 200 kWh)

VI.3 COMPARACIÓN DE PRECIOS

Como se mencionó, en este caso el rendimiento del proceso utilizado para la síntesis del acetato de celulosa resultó ser bajo (9.33%), para un proceso.

Cuando se compara el precio del acetato de celulosa obtenido en esta investigación con el precio comercial, se revela una diferencia significativa. El kilogramo de acetato de celulosa en esta investigación cuesta RD\$ 968,787.23 y el kilo en el mercado es RD\$ 55.35 lo que resulta ser aproximadamente 17,503 veces más costoso que el precio comercial.

No obstante, es importante considerar que el acetato de celulosa comercial se produce a gran escala y se estandariza en un entorno industrial, en contraste con el proceso de laboratorio utilizado en esta investigación. Esta producción a escala industrial permite optimizar los procesos, reducir los costos unitarios y obtener economías de escala, lo que puede resultar en una disminución significativa del costo de producción

CAPÍTULO VII. PLAN DE REMEDIACIÓN

En los últimos 50 años, la producción agrícola se ha triplicado, generando una gran cantidad de residuos en cada paso del proceso productivo, siendo los residuos sólidos agrícolas quemados al final del mismo. Estos residuos agrícolas cuando no reciben un tratamiento adecuado contaminan el aire, el agua y la tierra, enferman a las personas y emiten gases de efecto invernadero que exacerban el cambio climático. En lugar de utilizar materias primas como el plástico y la madera que catalizan el cambio climático, se deben remediar los residuos y considerarlos como un recurso.

Este plan, elaborado por los integrantes de la investigación, tiene como objetivo establecer un enfoque integral para la gestión de residuos, abarcando la recolección, almacenamiento y, por último, el planteamiento de diversos usos.

VII.1 REMEDIACIÓN

La palabra "remediar" se refiere al proceso mediante el cual los contaminantes se eliminan o neutralizan para evitar cualquier daño. El primer paso es realizar un análisis de riesgos para evaluar los efectos que la acumulación de residuos de yautía puede tener en el medio ambiente. Este análisis permite identificar las posibles consecuencias negativas y los peligros asociados. Una vez completado el análisis, el segundo paso implica proporcionar una serie de recomendaciones junto con sus justificaciones. Estas recomendaciones están diseñadas para abordar los problemas identificados y ofrecer soluciones específicas que ayuden a mitigar los impactos ambientales y mejorar la situación.

VII.2 EFECTOS DE LA ACUMULACION DE HOJAS Y TALLOS DE YAUTÍA EN EL MEDIO AMBIENTE

- Generación de gases de efecto invernadero al momento de su quema por acumulación en exceso.
- Deterioro de la calidad del agua: cuando las hojas se acumulan en arroyos, ríos o lagos, pueden contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua. A medida que las hojas se pudren, liberan nutrientes que pueden alimentar un crecimiento excesivo de algas y otros organismos que desoxigenan el agua y dañan la vida silvestre acuática.
- Efectos en el suelo: Las hojas acumuladas pueden evitar que el suelo absorba agua y crear condiciones anaeróbicas que pueden afectar la calidad del suelo y poner en peligro la salud de las plantas.
- Peligro de incendio: Las hojas secas acumuladas son altamente inflamables y aumentan el riesgo de incendio en áreas boscosas o con maleza.
- Aumento de plagas: es posible que por el follaje acumulado se pueda proporcionar un ambiente ideal para el crecimiento de insectos y otros organismos que pueden dañar la salud de las plantas y el ecosistema en general.

VII.3 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS EN EL CAMPO

- Selección de fincas o terrenos usados para siembra y cosecha de yautía blanca en los que se hará la recolección de los residuos.
- Establecer con los operarios de las fincas un lugar para la disposición de residuos hasta su posterior recolección.
- Establecer cada cuanto tiempo se hará la recolección (estos se realizarán en los periodos de cosecha).
- Seleccionar el tamaño del equipo que se encargará de la recolección manual de residuos, así como la capacidad de los camiones que se utilizarán para su traslado.
- Transportar los residuos de yautía hacia la localidad en donde los mismos serían almacenados y tratados.
- Realizar bitácoras en las cuales se especifique fecha, localidad en la que se recolectaron los residuos, cantidad (kg o toneladas) recolectada y entre otros datos.

VII.4 DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

Una vez retirados del campo, es necesario gestionar adecuadamente los residuos de la yautía para su almacenamiento previo a su utilización. A continuación, se presentan los pasos a considerar para el almacenamiento de estos residuos después de su recolección:

- **Limpieza:** limpiar adecuadamente y eliminar la suciedad, la mugre y otros contaminantes antes de almacenar los residuos.
- **Corte en trozos:** Si los tallos y las hojas son grandes, es útil cortarlos en partes más pequeñas para facilitar el manejo y acelerar el proceso de desmontaje.
- **Recipiente adecuado:** Utilizar recipientes o contenedores adecuados para el almacenamiento de residuos. Se puede utilizar bolsas de compost, u otros recipientes que permitan la ventilación y evitan la acumulación de humedad.
- **Condiciones recomendadas:** Almacenar los residuos de la yautía en un lugar fresco y seco para evitar olores desagradables, insectos o crecimiento microbiano no deseado. Evite la luz solar directa y la humedad excesiva.

VII.5 GESTIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS

La gestión adecuada de los residuos químicos resultantes de la elaboración de bioplásticos es un aspecto esencial en el camino hacia una producción más sostenible y amigable con el medio ambiente. Para asegurar una verdadera huella ecológica positiva, es

fundamental abordar de manera responsable la gestión de los residuos químicos que surgen durante este proceso. En este contexto, se requieren enfoques integrales y protocolos especializados para la recolección, clasificación, almacenamiento temporal y posterior eliminación de los residuos químicos, garantizando así su manejo seguro y evitando impactos negativos en el entorno natural y en la salud pública. En la siguiente sección, se explorara las diversas estrategias y mejores prácticas para llevar a cabo una gestión eficiente y sostenible de estos residuos, maximizando los beneficios ambientales de la producción de bioplásticos y asegurando un enfoque responsable hacia un futuro más limpio y resiliente.

- **Inventario y clasificación:** Realizar un inventario detallado de todos los solventes y productos químicos que se utilizan en la instalación, clasificándolos en función de su peligrosidad y características químicas.
- **Almacenamiento seguro:** Almacenar los solventes en áreas designadas específicamente para este propósito. Utilizar estanterías y contenedores adecuados, con etiquetas claras y legibles, separando los solventes incompatibles para evitar reacciones peligrosas.
- **Etiquetado y documentación:** Colocar letreros indicando la peligrosidad de los productos con ayuda de los Material Safety Data Sheet (MSDS) colocando datos como nombre del producto, fecha de adquisición, fecha de apertura, fecha de vencimiento, entre otros.

- Uso eficiente: Optimizar el uso de los solventes para reducir la cantidad de residuos generados. Considerar la posibilidad de utilizar alternativas menos contaminantes si es posible.
- Manejo de derrames: Establecer procedimientos para el manejo de derrames de solventes de manera segura y rápida. Informar inmediatamente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y a las instituciones de prevención y manejo de riesgos y emergencias, la ocurrencia de cualquier accidente o incidente que ponga o pudiera poner en peligro la salud humana y/o la calidad ambiental.
- Eliminación adecuada: Garantizar la contratación de los servicios de gestores autorizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la recolección de los residuos peligrosos, no-peligrosos y fiscalizar el manejo y disposición final de los mismos. Además acondicionará el centro de acopio de los residuos generados por la instalación.

CUARTA PARTE

RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VIII. RESULTADOS

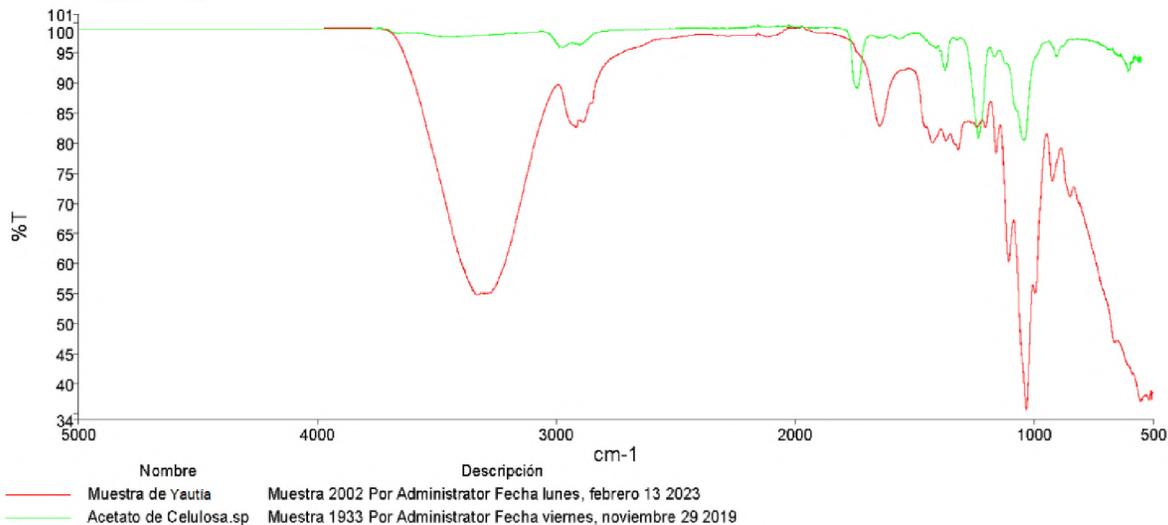
Después de llevar a cabo los métodos de extracción, acetilación e hidrólisis parcial para la síntesis de acetato de celulosa a partir de los residuos agroindustriales de la yautía blanca, se realizaron distintas pruebas para determinar los resultados del producto obtenido.

VIII.1 CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

El acetato de celulosa obtenido, se analiza por el método de espectrometría infrarroja y se obtiene el siguiente espectro:

Figura 11

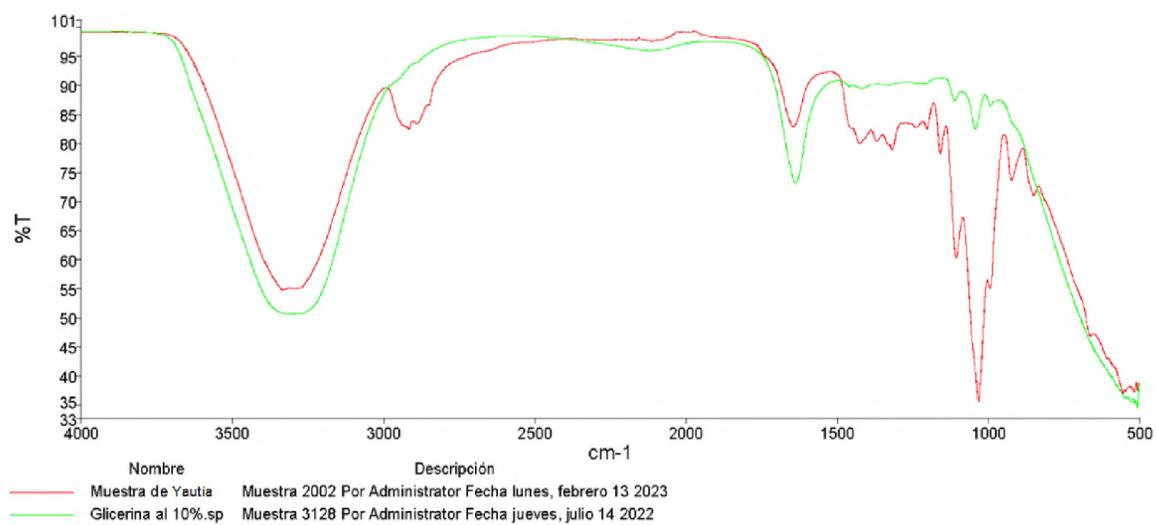
Espectro infrarrojo del acetato de celulosa.



Fuente. Laboratorio de aduanas DGA, (2023)

Figura 12

Espectro infrarrojo de glicerina 10%.



Fuente. Laboratorio de aduanas DGA, (2023)

CAPITULO IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos del análisis espectroscópico, se puede concluir que la muestra analizada presenta características típicas del acetato de celulosa, es decir que se logró obtener el bioplástico. El producto final primero fue analizado con un estándar de acetato de celulosa. Se puede observar picos a aproximadamente $1750-1735\text{ cm}^{-1}$ los cuales corresponden a vibraciones de estiramiento del grupo funcional éster ($-\text{C}=\text{O}$). Este es el pico característico del espectro IR del acetato de celulosa y se debe a la presencia de los grupos acetato ($-\text{COOCH}_3$). Por otro lado, se observan picos a aproximadamente $1240-1200\text{ cm}^{-1}$, estos representan al grupo funcional éter ($-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$), que se encuentra en los enlaces entre los grupos de glucosa en la celulosa. En el caso del acetato de celulosa, este pico muestra cierta superposición con el pico de la vibración de estiramiento del grupo funcional éster ($-\text{C}=\text{O}$). Por último, se puede ver picos a aproximadamente $1050-1020\text{ cm}^{-1}$ los cuales corresponden a la vibración de estiramiento de los enlaces C-O en la estructura de la celulosa, pero estos presentan mayor intensidad debido a la presencia de los grupos acetato ($-\text{COOCH}_3$) en la cadena polimérica.

En el primer espectro se observa un pico ancho y pronunciado a los $3200 - 3500\text{ cm}^{-1}$ que no se corresponde al estándar de celulosa utilizado, por este motivo se analiza la muestra de nuevo con un estándar del plastificante usado, glicerina al 10%, como se puede observar en el segundo espectro (figura 12). Los picos observados a aproximadamente $3300-3200\text{ cm}^{-1}$ indican la presencia del grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), este pico es el más característico y distintivo de la glicerina. Por otro lado, también se ven picos en el rango de $2900-2800\text{ cm}^{-1}$ los cuales corresponden a la vibración de estiramiento de los grupos metilo ($-\text{CH}_3$) presentes en la glicerina. También se tiene un pico a aproximadamente 1450 cm^{-1} el cual está asociado con

la vibración de deformación angular del grupo metilo (-CH₃). Por último, se ven picos a aproximadamente 1050-1000 cm⁻¹ correspondientes a la vibración de estiramiento de los enlaces C-O en la estructura de la glicerina.

CAPITULO X. CONCLUSIONES

En base a los resultados de los estudios realizados, se puede concluir que es posible obtener acetato de celulosa, a partir de la celulosa extraída de los residuos agroindustriales (hojas y tallos) de la yautía blanca (*Xanthosoma sagittifolium*). Es importante mencionar que el procedimiento utilizado proporcionó un rendimiento de 37.8% para la extracción de celulosa y de 9.33% para la obtención del bioplástico. Sin embargo, este valor pudo verse afectado por una serie de factores que abarcan desde la pureza de los reactivos empleados, las condiciones específicas de la reacción.

El análisis de costo realizado arroja que obtener un kilogramo de acetato de celulosa a escala laboratorio tiene un costo de RD\$ 968,787.23, mientras que el kilogramo en el mercado es RD\$ 55.35, lo que resulta ser aproximadamente 17,503 veces más costoso que el precio comercial.

Finalmente se propone un plan de remediación, en el cual se sugieren actividades que ayudarían a minimizar la acumulación de los residuos agrícolas de la yautía. Se destaca la importancia de implementar medidas para evitar el deterioro medioambiental, como la generación de gases de efecto invernadero, la eutrofización del agua, la generación de condiciones anaeróbicas en los suelos, el peligro de incendios y el aumento de plagas.

CAPITULO XI. RECOMENDACIONES

- Utilizar un método de filtrado más efectivo en aquellas etapas del proceso que lo requieran. Una excelente opción a considerar es la implementación del filtrado al vacío, ya que ofrece beneficios significativos como reducción de pérdida de materia prima y disminución del tiempo invertido en cada etapa.
- Fomentar estudios de caracterización química de la planta de la yautía en la República Dominicana con el objetivo de conocer profundamente sus propiedades.
- Hacer un análisis de biodegradabilidad al acetato de celulosa obtenido.
- Realizar un estudio de factibilidad para la obtención de acetato de celulosa a partir de los residuos de yautía.
- Incentivar la realización de investigaciones que propongan y exploren otros usos para los residuos generados en la producción de yautía.
- Eliminar las etapas de pre-blanqueamiento y blanqueamiento en el proceso actual, reduciendo significativamente el impacto ambiental, minimizando el consumo de productos químicos y disminuyendo la generación de residuos tóxicos.

QUINTA PARTE
REFERENCIAS Y ANEXOS

REFERENCIAS

eBooks

1. Apqua (A.) (1995). Los plásticos en nuestra sociedad: Guía Del Profesor. Barcelona, España: Reverté
2. Ashter, S. (2016). New Developments. Introduction to Bioplastics Engineering [Ebook]. Retrieved 5 June 2021, from <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bioplastics>
3. BECHARD, S.R.; LEVY, L.; CLAS, S. Thermal, mechanical and functional properties of cellulose acetate phthalate (CAP) coatings obtained from neutralized aqueous solutions. International Journal of Pharmaceutics. p. 205-213, 1995.
4. Benavides Martínez, T. R. (2014). Síntesis y caracterización de membranas de acetato de celulosa, obtenidas a partir de desechos agroindustriales.
5. Focht, D. (2020). Biodegradation. In Department of Soil and Environmental Sciences.
6. García Quiñónez, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz [Ebook]. Retrieved 18 June 2021, from <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>
7. González García, Y., Meza Contreras, J., González Reynoso, O. and Córdova López, J., 2011. Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. [ebook] Guadalajara. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007 [Accessed 19 June 2021].
8. GEMAP. (2000). Investigación y desarrollo tecnológico de proceso de compostaje y aplicación del compost en los sectores agrícolas y forestal [Ebook]. Retrieved 18 June

2021, from

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/dipticoID98_00.pdf.

9. Jiménez, M., Xiqués, X., Román, M., González, C., Sánchez, I., Nadal, M., Beovides, Y., Guerra, D., Guerra, D. 1991. Caracterización de la variabilidad de Xanthosoma en Cuba. International Potato Center.
10. McNeil M, Darvill AG, Fry SC, Albersheim P. Structure and function of the primary cell walls of plants. *Annu Rev Biophys* 1984;53(1):625–63.
11. Producción de hortalizas (Tercera Edición). Ernesto Cásseres, 1980.
12. Rasmussen, S. C. (2021). From Parkesine to Celluloid: The Birth of Organic Plastics. *Angewandte Chemie*, 133(15), 8090-8094. <https://doi.org/10.1002/ange.202015095>
13. Reboul, P. (1998). Pioneers of plastics. *Interdisciplinary Science Reviews*, 23(2), 169-173.
14. Wallenberger, F. T., & Weston, N. (2003). *Natural Fibers, Plastics and Composites* (2004 ed.). Springer.

Artículos y publicaciones

15. Arotoma Chujutalli, L., & Pacahuala Jine, M. (2020). *Revisión bibliográfica de la elaboración de bioplástico a partir de residuos de origen animal y vegetal*” (thesis). *Repositorio.ucv.edu.pe*. Retrieved January 25, 2023, from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/67209/Arotoma_CHLF-Pacahuala_JMF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
16. Castro, O. V., & Montaña, D. F. (2020, July 28). Biopolímeros, definiciones, caracterización y aplicaciones. *ResearchGate*. Retrieved January 25, 2023, from

https://www.researchgate.net/publication/343268488_Biopolimeros_definiciones_caracterizacion_y_aplicaciones.

17. Gonzalez, K. S., Patiño, W. A., Alvarado, B. A., Parra, J. W., & Rodriguez, D. C. (2020). *Obtención de acetato de celulosa a partir de papel reciclado: una alternativa para la producción de acetato de celulosa en Colombia*. Aprepro.org.br. Retrieved January 23, 2023, from https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09272020_190956_5f7113cc9b181.pdf
18. Guerrero Villa, Y. (2021). *Extracción De La Celulosa A Partir De Los Residuos De Pasto Común (Festuca arundinacea) Para La Elaboración De Acetato De Celulosa* (thesis). Retrieved January 25, 2023, from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21590>.
19. HERNANDEZ, R. Influencia del método de desengrasado en la extracción de celulosa a partir de la especie *Stipa ichu*. Preparación de análogos semisintéticos. Quito, 111p., 2018. Trabajo de grado - Universidad Central Del Ecuador.
20. Keller, S. (2019). Por Qué el Papel Prospera En un Mundo Digital. *ChemMatters*, 1(1), 5–8. Labeaga
21. Viteri, A. (2018). Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.
22. Lema, E. A., & Manzo, N. S. (2021). *Diseño De Una Línea De Producción De Bioplástico A Partir De Residuos Del Cacao Con Aplicación En Envasado De Alimentos* (thesis). repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6113. Retrieved January 24, 2023, from <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6113/1/T-UTEQ-093.pdf>.
23. Lim, T. K. (2014). *Xanthosoma sagittifolium*. Edible Medicinal and Non Medicinal Plants, 498-509. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9511-1_15

24. Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). En Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones (pp. 54–54). Ensayo.
25. Ortega, M. B. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz* (thesis). UTP- Universidad Tecnológica del Peru . Retrieved January 24, 2023, from https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega_Trabajo%20de%20investigaci%c3%b3n_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
26. Parada Puig, R. (2019, July). Hemicelulosa: clasificación, estructura, biosíntesis, funciones. Pardo, L., Menéndez, J., & Giraud, M. (2011). Envases biodegradables: una necesidad de compromiso. *La Alimentación Latinoamericana*, 292, 42–44.
27. Posada Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86.
28. Saldaña, J. P. C., & de los Godos, L. A. A. (2011). Investigación Científica Para la Tesis de Postgrado. Lulu. Com
29. Santiago Ortega, G., & Eraly Rodríguez, A. (2019). Síntesis de acetato de celulosa y rayón a partir de residuos agroindustriales del cultivo y procesamiento de piña. Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/CDITI/article/view/2355/2636>
30. Sibaja-Ballester, R., Portugués, M. E. M., & Durán, M. (1989). Obtención de acetato de celulosa a partir de desechos agroindustriales. *Uniciencia*, 6(1), 23-28.
31. Torres Búa, M. «Materiales de uso técnico,» Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria., 12 Mayo 2014. [En línea].

Available:<https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/index.html>. [Último acceso: 23 Octubre 2022].

32. Vargas-García, Y., Pazmiño-Sánchez, J., & Dávila-Rincón, J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(2), 7-20.
33. Hernández, R. (1996). Cultivo de la Yautía [Ebook]. Retrieved 10 May 2023, from <https://cedaf.org.do/wp-content/uploads/2022/08/Yautia.pdf>
34. Rimac León, A. (2019). Bioplásticos [Ebook]. Retrieved 18 June 2021, from <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/806/TB-Rimac%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
35. Ruiz Avilés, G. (2005). Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca [Ebook]. Retrieved 18 June 2021, from https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
36. RUIZ, K. Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material. Chihuahua, 122p., 2018. Tesis de Doctorado - Centro de investigación en materiales avanzados.
37. Villalta Estrada, A. (2018). Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (*mangifera indica* l.) a escala laboratorio (académico). Universidad de San Carlos de Guatemala.
38. Zhang, F., Bunternngsook, B., Li, J. X., Zhao, X. Q., Champreda, V., Liu, C. G., & Bai, F. W. (2019). Regulation and production of lignocellulolytic enzymes from *Trichoderma reesei* for biofuels production. *Advances in Bioenergy*, 79-119. <https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2019.03.001>

Página Web

39. "Composting for Beginners: The Ultimate Guide to Getting Started" (US Environmental Protection Agency): <https://www.epa.gov/recycle/composting-home>

40. Los plásticos . IES Bellavista. (2019, September 5).
<https://blogsaverroses.juntadeandalucia.es/iesbellavista/files/2019/09/5-LOS-PL%C3%81STICOS-Apunte.pdf>

41. Paz, L. (2019). BOTÁNICA // Xanthosoma sagittifolium (Araceae). Steemit.
<https://steemit.com/steemstem/@lupafilotaxia/bot-nica-xanthosoma-#:~:text=El%20Ocumo%20Blanco%20>

ANEXOS

ANEXOS ILUSTRATIVOS

Anexo 1

Hoja de yautía Blanca



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 2

Materia prima utilizada



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 3

Tallos de yautía blanca



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 4

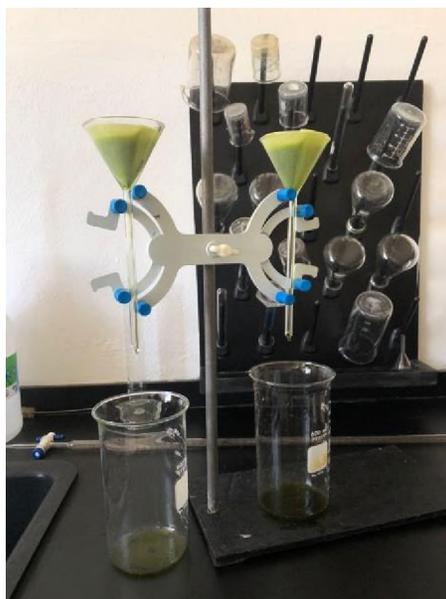
Hidrólisis básica



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 5

Filtración de la celulosa luego de la hidrólisis básica



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 6

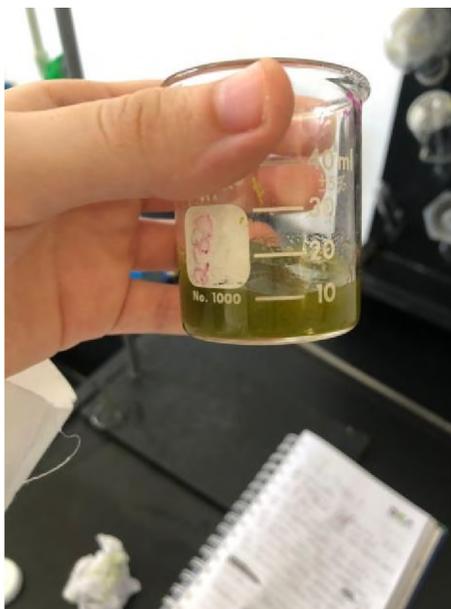
Lavado de la celulosa luego del filtrado



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 7

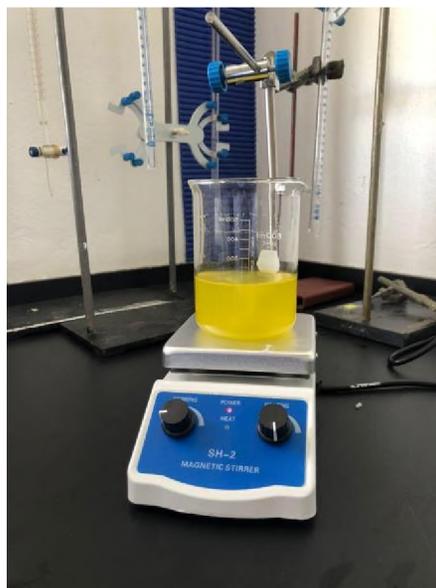
Extracción de celulosa



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 8

Pre-blanqueamiento de la celulosa



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 9

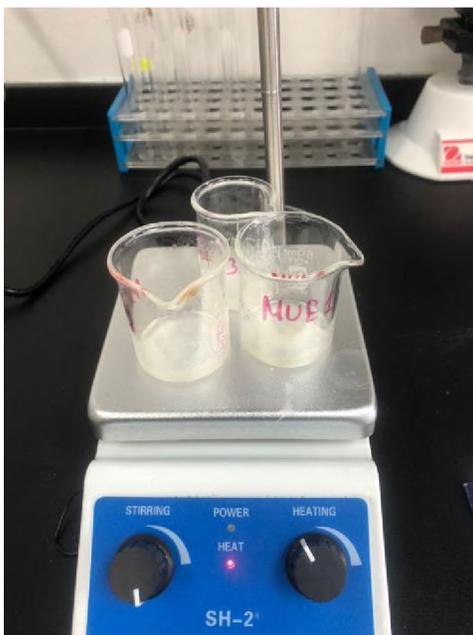
Muestra pre-blanqueada, filtrada y lavada



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 10

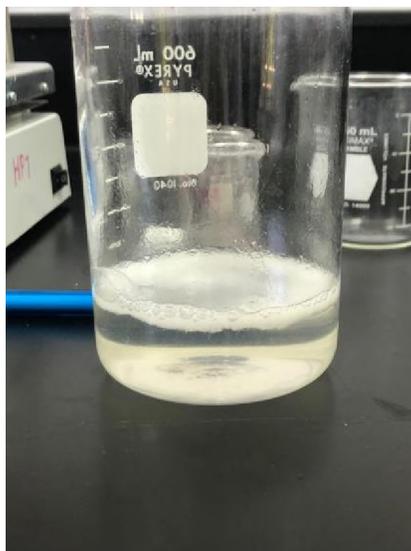
Acetilación de la celulosa



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 11

Neutralización de la solución de acetato de celulosa.



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 12

Acetato de celulosa con plastificante



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 13

Película de acetato de celulosa final



Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

Anexo 14

Película de acetato de celulosa final



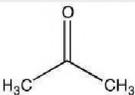
Fuente. Molina Genao, D., F Volonteri, M. (2022). Propuesta de plan de remediación de los residuos de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) para la elaboración de bioplásticos. Escuela de Química, Santo Domingo.

ANEXOS Fichas técnicas y especificaciones

Anexo 1

Ficha de Datos Técnicos Acetona, GC-MS

	AC0293 Acetona, GC-MS	Ficha de Datos Técnicos
---	---------------------------------	--------------------------------

Identificación C ₃ H ₆ O M = 58,08 g/mol CAS [67-64-1] EC number: 200-662-2 Tatic code: 2914 11 00	
--	--

Sinónimos Dimetil cetona, 2-Propanona

Especificaciones	
contenido (G.C.) min. 99,8 %	agua (K.F.) max. 0,2 %
color (Hazen) max. 10	
identidad (IR-spectrum) pase test	GCMSD (rango de retención n-undecano a n-tetracontano, área de escaneo 30 - 600 amu, señales individuales (estándar n-tetradecano)) max. 3,0 ng/ml (ppb)
materia no volátil max. 3 ppm	
	Adecuado para análisis de residuos

Datos físicos
• Densidad: 0,79 g/cm ³
• Solub. en agua: (20 °C) miscible
• Punto de fusión: -95 °C
• Punto de ebullición: 56 °C
• Punto de inflamación: < -20 °C
• Temperatura de ignición: 640 °C
• Presión de vapor: (20 °C) 233 hPa
• Índice de refracción: (n _D 20 °C/D) 1,3588
• Viscosidad: (25 °C) 0,31 mPas
• Momento dipolar: (20 °C) 2,7 Debye
• Constante dieléctrica: (25 °C) 20,7
• Calor de evaporación: (56 °C) 521 KJ/kg
• Cons. de saturación: (20 °C) 533 g/m ³
• Límite de explosión (alto): 13 Vol%
• Límite de explosión (bajo): 2,6 Vol%
• pH(395 g/l H ₂ O, 20 °C) 5 - 6

Seguridad - GHS		
Palabra de advertencia: Peligro		
Indicaciones de peligro:		
H225: Líquido y vapores muy inflamables.		
H319: Provoca irritación ocular grave.		
H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.		
EUJH066: La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.		
Indicaciones de precaución:		
P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. – No fumar.		
P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo). Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.		
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS. Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulte fácil. Seguir aclarando.		
P370+P378: En caso de incendio, utilizar... para apagarlo.		
P405: Guardar bajo llave.		
P501a: Eliminar el contenido o el recipiente conforme a la reglamentación local / regional / nacional / internacional.		

Transporte/Almacenamiento
• ADR: 3 F 11 • UN 1090 • ACETONE
• IMDG: 3 II • UN 1090 • ACETONE
• IATA/IACAO: 3 II • UN 1090 • ACETONE
• PAX: 305
• CAO: 307
• 10°C - 30°C

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 2

Ficha de Datos Técnicos Ácido Acético glacial



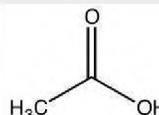
AC0343

Ácido acético glacial, EssentQ®

Ficha de Datos Técnicos

Identificación

CH₃COOH
M = 60,05 g/mol
CAS [64-19-7]
EC number: 200-580-7
Tanic code: 2915 21 00



Sinónimos

Ácido metanocarboxílico, Ácido metilfórmico

Aplicaciones

laboratory reagent, synthesis of organic products, in the rubber industry, in food industry.

Especificaciones

contenido (acidimétrico)	min. 99,5 %	densidad(20º/4º)	1,048 - 1,050
identidad (IR-spectrum)	pasa test	materia no volátil	max. 0,002 %
		agua (K.F.)	max. 0,3 %

Datos físicos

- Densidad: 1,05 g/cm³
- Solub. en agua: (20 °C): miscible
- Punto de fusión: 17 °C
- Punto de ebullición: 117 °C
- Punto de inflamación: 39 °C
- Temperatura de ignición: 485 °C
- Presión de vapor: (20 °C) 15,4 hPa
- Índice de refracción: (20 °C) 1,37
- Límite de explosión (alto): 19,9 Vol%
- Límite de explosión (bajo): 4 Vol%
- pH(50 g/l H₂O, 20 °C) 2,5

Seguridad - GHS

Palabra de advertencia: Peligro

Indicaciones de peligro:

H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H226: Líquido y vapores inflamables.



Indicaciones de precaución:

P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. – No fumar.
P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P310: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
P370+P378: En caso de incendio: utilizar... para apagarlo.
P405: Guardar bajo llave.
P501a: Eliminar el contenido o el recipiente conforme a la reglamentación local / regional / nacional / internacional.

Transporte/Almacenamiento

- ADR: 8 CF1 II • UN 2789 • ACETIC ACID, GLACIAL or ACETIC ACID SOLUTION
- IMDG: 8 II • UN 2789 • ACETIC ACID, GLACIAL
- IATA/ICAO: 8 II • UN 2789 • ACETIC ACID, GLACIAL
- PAX: 809
- CAO: 813
- 10°C - 30°C

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 3.

Ficha de Datos Técnicos Ácido sulfúrico



AC2070

Ficha de Datos Técnicos

Ácido sulfúrico 95 - 98%, Pharpur®, Ph Eur, BP, NF

Identificación

H₂SO₄
M = 98,08 g/mol
CAS [7664-93-9]
EC number: 231-639-5
Tanic code: 2807 00 00

Aplicaciones

analytical chemistry, laboratory reagent, acidifying agent, synthesis of organic products, nitrogen determinations, in pharma industry.

Especificaciones

contenido (acidimétrico)	95,0 - 100,5 %	arsénico (As).....	max. 1 ppm
Identificación A (EP)	pasa test	hierro (Fe).....	max. 25 ppm
Identificación B (EP) /		sustancias reducibles	pasa test
A (USP).....	pasa test	residuo de calcinación	max. 0,005 %
apariencia de la solución	clara e incolora	cloruros y sulfatos (USP)	pasa test
cloruros (Cl).....	max. 50 ppm		
nitratos (NO ₃).....	pasa test	Evitar exposición a la luz	

Datos físicos

- Densidad: 1,84 g/cm³
- Solub. en agua: (20 °C): miscible
- Punto de fusión: ~ -15 °C
- Punto de ebullición: ~ 310 °C
- Presión de vapor: (20 °C) ~ 0,0001 hPa
- pH(49 g/l H₂O, 25 °C) 0,3
- Hygroscopic

Seguridad - GHS

Palabra de advertencia: Peligro



Indicaciones de peligro:

H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Indicaciones de precaución:

- P260: No respirar el polvo / el humo / el gas / la niebla / los vapores / el aerosol.
P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P310: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
P405: Guardar bajo llave.
P501a: Eliminar el contenido o el recipiente conforme a la reglamentación local / regional / nacional / internacional.

Transporte/Almacenamiento

- ADR: 8 C1 II • UN 1830 • SULPHURIC ACID
- IMDG: 8 II • UN 1830 • SULPHURIC ACID
- IATA/ICAO: 8 II • UN 1830 • SULPHURIC ACID
- PAX: 809
- CAO: 813
- 15°C - 25°C

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 4

Ficha de Datos Técnicos Anhídrido acético EssentQ®



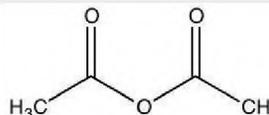
AN0154

Anhídrido acético, EssentQ®

Ficha de Datos Técnicos

Identificación

(CH₃CO)₂O
M = 102,09 g/mol
CAS [108-24-7]
EC number: 203-564-8
Tanic code: 2915 24 00



Sinónimos

Óxido acético

Aplicaciones

analytical chemistry, synthesis of organic products, acetylating agent.

Especificaciones

contenido (G.C.)	min. 98 %	cobre (Cu)	max. 0,001 %
identidad (IR-spectrum)	pasa test	metales pesados (como Pb)	max. 0,001 %
densidad(20°/4°)	1,079 - 1,082	hierro (Fe)	max. 0,001 %
cloruros (Cl)	max. 0,001 %	plomo (Pb)	max. 0,001 %
fosfatos (como PO4)	max. 0,001 %	níquel (Ni)	max. 0,001 %
sulfatos (SO ₄)	max. 0,001 %	materia no volátil	max. 0,005 %

Datos físicos

- Densidad: 1,08 g/cm³
- Solub. en agua: (20 °C): hydrolysis reaction
- Punto de fusión: -73 °C
- Punto de ebullición: 138 - 140,5 °C
- Punto de inflamación: 49 °C
- Temperatura de ignición: 330 °C
- Presión de vapor: (20 °C) 4hPa
- Índice de refracción: (n 20 °C/D) 1,3903
- Límite de explosión (alto): 10,2 %
- Límite de explosión (bajo): 2 %
- pH(10 g/l H₂O, 20 °C) - 3

Seguridad - GHS

Palabra de advertencia: Peligro

Indicaciones de peligro:

- H226: Líquido y vapores inflamables.
H302: Nocivo en caso de ingestión.
H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H330: Mortal en caso de inhalación.
H335: Puede irritar las vías respiratorias.



Indicaciones de precaución:

- P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. - No fumar.
P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P310: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
P320: Se necesita urgentemente un tratamiento específico (ver en esta etiqueta).
P370+P378: En caso de incendio: utilizar... para apagarlo.
P405: Guardar bajo llave.
P501a: Eliminar el contenido o el recipiente conforme a la reglamentación local / regional / nacional / internacional.

Transporte/Almacenamiento

- ADR: 8 CF 1 II • UN 1715 • ACETIC ANHYDRIDE
- IMDG: 8 II • UN 1715 • ACETIC ANHYDRIDE
- IATA/IACO: 8 II • UN 1715 • ACETIC ANHYDRIDE
- PAX: 809
- CAO: 813
- 15 °C - 25 °C

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 5

Ficha de Datos Técnicos Glicerina



FICHA TÉCNICA

Producto: Glicerina ALQ0037

Los datos expresados a continuación, en estas especificaciones, reproducen los datos facilitados por nuestro proveedor ref: ALP011.

ESPECIFICACIONES

REVISIÓN: 4 FECHA: 17/07/20

CÓDIGO ESPECIFICACIÓN: ES-0748

Este certificado es una reproducción informatizada del original

GLICERINA 99,5% USP VEGETAL

GLICEROL	Min. 99,5 %
DENSIDAD (20 °C)	Min. 1,262 g/ml
COLOR APHA	Máx. 20
CLORUROS	Máx. 10 ppm
SULFATOS	Máx. 20 ppm
HUMEDAD	Máx. 0,5 %
ACIDEZ Y ALCALINIDAD	Máx. 0,08 meq/100g
ÉSTERES	Máx. 0,8 meq/100g
CENIZAS SULFURICAS	Máx. 0,01 %
METALES PESADOS (COMO Pb)	Máx. 5 ppm
COMPUESTOS HALOGENADOS	Máx. 35 ppm
ALDEHÍDOS	Máx. 10 ppm
AZÚCARES	PASA TEST
IMPUREZA A Y SUST RELACIONADAS	PASA TEST

Los datos contenidos en este certificado los facilitamos a título informativo, ellos no eximen al comprador de realizar su propio control de entrada para su aceptación.

Almacén: Polígono Industrial La Vega del Rey, Calle San Roque Parcela 508, 11380 Tarifa - Cádiz. Info@alquera.com, 62087597

Domicilio Social: Vilar de Donas 9, 28050 Madrid CIF B87212007

Fuente. Alquera.com, S.F , (2023)

Anexo 6

Ficha de Datos Técnicos Hidróxido de sodio



FICHA TÉCNICA

Producto: Hidróxido de Sodio ALQ0096

Los datos expresados a continuación, en estas especificaciones, reproducen los datos facilitados por nuestro proveedor.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	
Aspecto	Sólido blanco e inodoro
Densidad	0,997 g/cm ³
Solubilidad en agua	Soluble
pH	>13

ESPECIFICACIÓN	VALOR TEÓRICO
Riqueza	Mín. 97,00%
Carbonato sódico	Máx. 1,0000%
Cloruros (Cl ⁻)	Máx. 1000,00 ppm
Hierro (Fe)	Máx. 70,00 ppm

Alquera Ciencia S.L. - 887212007 - Vilar de Donas 9, 28050 Madrid

Los datos contenidos en este certificado los facilitamos a título informativo, ellos no eximen al comprador de realizar su propio control de entrada para su aceptación.

Almacén: Polígono Industrial La Vega del Rey, Calle San Roque Parcela 508. 11380 Tarifa - Cádiz. info@alquera.com. 62087597
Domicilio Social: Vilar de Donas 9, 28050 Madrid CIF 887212007

Fuente. Alquera.com, S.F, (2023)

Anexo 7

Ficha de Datos Técnicos Peroxido de hidrogeno

Composition/information on ingredients

This product contains the following substances that present a hazard within the meaning of the relevant State and Federal Hazardous Substances regulations.

Ingredient/Chemical Designations	Volume %	GHS Classification	Notes
Hydrogen peroxide CAS Number: 9007722-84-1	3.0	Ox. Liq. 1;H271 Acute Tox. 4;H332 Acute Tox. 4;H302 Skin Corr. 1A;H314	[1][2]

Physical and chemical properties

Appearance	Clear, Colorless Liquid
Odor	Odorless
Odor threshold	Not Measured
pH	Not Available
Melting point / freezing point	Not Available
Initial boiling point and boiling range	212°F
Flash Point	Not Applicable
Evaporation rate (Butyl Acetate = 1)	> 1
Flammability (solid, gas)	Not Applicable
Upper/lower flammability or explosive limits	Lower Explosive Limit: Not Applicable Upper Explosive Limit: Not Applicable
Vapor pressure (Pa)	23 mmHg
Vapor Density	Not Available
Specific Gravity (H ₂ O = 1)	1.1

Fuente. dealmed.com, (2023)

ANEXOS TABULARES

Anexo 1

Propiedades de Placa calefactora con Agitador magnético SLENDOR



Característica

Modelo	SH-2
Velocidad (rpm)	100 ~ 2000 rpm ajustable
Volumen de agitación (L)	Hasta 1
Tango de temperatura (°C)	Hasta 402
Material	Acero inoxidable
Tamaño del plato (cm)	12 x 12
Dimensiones WxHxD (cm)	22 x 12 x 32
Potencia del motor (W)	10
Paquete (u)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023).

Anexo 2.

Propiedades de Balanza CHWARES.



Característica

Límite de peso (g)	3000
Precisión de lectura (g)	0.1
Dimensiones WxHxD (cm)	10.5 x 2 x 12.5
Tipo de pantalla	LCD
Paquete (u)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 3

Propiedades de Micropipetas Mini-Micropipette Fixed MiniFIX 500 µl. Kartell



Característica

Modelo	Minifix 500
Volumen (µl)	500
Precisión (%)	0.3
CV (%)	0.1
Conejos	425-000961
Paquete (u)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 4

Propiedades de Papel filtro Standard SCHARLAU



Característica

Diámetro (mm)	90
Retención típica (µm)	60-68
Disco/Plegado	Disco
Paquete (u.)	100

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 5

Propiedades de Beaker de 1L, low form, graduated, borosilicate, thick wall. DURAN



Característica

Capacidad (mL)	1000
Diámetro (mm)	105
Altura (mm)	160
Paquete (u.)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023).

Anexo 6

Propiedades de Varilla de vidrio Stirring rod Ø 6 x 400 mm long



Característica

Diámetro (mm)	6
Longitud (mm)	400
Paquete (u.)	10

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 7

Propiedades de Embudos SCHARLAU



Característica

Diámetro externo (mm)	120
Diámetro del vástago (mm)	12
Longitud del vástago (mm)	120
Paquete (u.)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 8

Propiedades del Vidrio de reloj



Característica

Diámetro externo (mm)	120
Diámetro (mm)	50
Paquete (u.)	1

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 9

Propiedades de la Probeta



Característica

Capacidad (mL)	100
División (mL)	1/1
Tolerancia (\pm mL)	0.5
Color de la graduación	Azul
Paquete (u.)	2

Fuente. Scharlab.com, (2023)

Anexo 10

Propiedades de la Placa de Petri

	Característica
Diámetro (mm)	60
Altura (mm)	50
Paquete (u.)	18

Fuente. Scharlab.com, (2023)