

Biopolímeros a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para uso de la industria alimentaria en Colombia

Alex David Pertuz Otero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Programa de Ingeniería de Alimentos
Bogotá, Colombia
2021

Biopolímeros a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para uso de la industria alimentaria en Colombia

Alex David Pertuz Otero

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:
Ingeniero de Alimentos

Directora:
MSc. Ruth Mary Benavides Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Programa de Ingeniería de Alimentos
Bogotá, Colombia
2021

Contenido

Lista de Tablas	5
Lista de Figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Problema de Investigación y Justificación	12
Descripción del Problema	12
Formulación de la Pregunta Problema	14
Justificación	14
Antecedentes	17
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos.	21
Referentes Conceptuales	22
La Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	22
Generalidades de la Papa	22
Descripción Botánica y Morfológica	23
Clasificación Taxonómica	23
Características Físicoquímicas	24
Variedades de Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	25
Áreas Cultivadas en Colombia	26
Almidón de Papa	27
Estructura del Almidón	27
Métodos de Extracción	29
Propiedades Tecno Funcionales del Almidón Nativo	36
Polímeros	40
Clasificación	41
Estructura Química de los Polímeros	41
Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Polímeros	43
Degradación de Polímeros a Través del Tiempo	44
Producción de Polímeros	44

<i>Impacto Ambiental</i>	46
Biopolímeros	46
<i>Clasificación</i>	47
<i>Estructura Química de los Biopolímeros</i>	48
<i>Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Biopolímeros</i>	49
<i>Degradación de Biopolímeros a Través del Tiempo</i>	50
<i>Producción de Biopolímeros a Nivel Mundial</i>	50
<i>Impacto Ambiental</i>	53
Análisis y Discusión del Uso de los Biopolímeros en la Industria de Alimentos en Colombia .	54
Oportunidades del Uso de los Biopolímeros en la Industria de Alimentos	57
<i>Disminución del Impacto Ambiental</i>	57
<i>Aprovechamiento de Subproductos</i>	58
Identificación de los Biopolímeros de Almidón de Papa Aplicados en la Industria de Alimentos en Colombia	59
Conclusiones y Recomendaciones	62
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias Bibliográficas	64

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación morfología de la planta de la papa (Solanum tuberosum)</i>	23
Tabla 2 <i>Aporte nutricional de la papa (Solanum tuberosum) y de la variedad de la papa Solanum tuberosum grupo Phureja hervidas</i>	24
Tabla 3 <i>Áreas cultivas por departamentos.</i>	26
Tabla 4 <i>Métodos de extracción del almidón de papa</i>	29
Tabla 5 <i>Comparación sobre características tecno funcionales de diferentes almidones nativos</i>	38
Tabla 6. <i>Propiedades tecno funcionales del almidón nativo de papa cultivada en Colombia y Perú</i>	40
Tabla 7 <i>Clasificación de polímeros</i>	41
Tabla 8 <i>Fuentes de elaboración de biopolímeros</i>	47
Tabla 9. <i>Biopolímeros empleados para el desarrollo de bioplásticos</i>	55

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Estructura química del almidón</i>	28
Figura 2. <i>Estructura química de la amilosa</i>	28
Figura 3. <i>Estructura química de la amilopectina</i>	29
Figura 4. <i>Diagrama de flujo extracción húmeda del almidón</i>	31
Figura 5. <i>Diagrama de flujo extracción seca del almidón</i>	32
Figura 6. <i>Diagrama de flujo extracción alcalina del almidón</i>	34
Figura 7. <i>Diagrama de flujo extracción ácida del almidón</i>	36
Figura 8. <i>Estructura de los polímeros</i>	43
Figura 9. <i>Producción y disposición de residuos plásticos (en millones de toneladas)</i>	45
Figura 10. <i>Estructura de los biopolímeros</i>	49
Figura 11. <i>Artículos elaborados con biopolímeros para el 2016</i>	51
Figura 12. <i>Capacidades de producción global de bioplásticos en el 2012</i>	52
Figura 13. <i>Matriz DOFA de biopolímeros a base de almidón de papa como alternativa de aplicación en la industria de alimentos en Colombia</i>	60

Resumen

El incremento en la fabricación de productos plásticos utilizando como materia prima petroquímicos ha causado acumulación de estos polímeros, y por un mal manejo en el tratamiento final ha ocasionado un gran daño en el medio ambiente; uno de los sectores que más ocupa este tipo de artículos es la industria de alimentos, con esto han surgido nuevas leyes que regulan el uso de este tipo de productos y se promueve la utilización de nuevas alternativas de materiales que sean biodegradables, reciclables y que no generen un impacto negativo en el medio ambiente. Una de estas alternativas son los biopolímeros que su materia prima son sustancias que se encuentran en la naturaleza un ejemplo de estos son: el almidón, la celulosa, proteínas entre otros.

Dado a lo anterior la siguiente monografía realizara una revisión tecnológica de biopolímeros elaborados con almidón de papa, por la cantidad de este compuesto presente en este alimento y por la disponibilidad de este tubérculo en Colombia; se mostrarán diferentes investigaciones que se han realizado a nivel mundial acerca de las ventajas de realizar bioplásticos con este material y las oportunidades que hay en realizar este tipo de biopolímero en el país.

Palabras claves: Papa, polímeros, biopolímeros, medio ambiente, plásticos, bioplásticos.

Abstract

The increase in the manufacture of plastic products using petrochemicals as raw materials has caused accumulation of these polymers, and due to poor handling in the final treatment it has caused great damage to the environment; One of the sectors that most occupies this type of article is the food industry, with this new laws have emerged that regulate the use of this type of products and the use of new alternatives of materials that are biodegradable, recyclable and that are not generate a negative impact on the environment. One of these alternatives are biopolymers whose raw material are substances found in nature, an example of these are: starch, cellulose, proteins, among others.

Given the above, the following monograph will carry out a technological review of biopolymers made with potato starch, due to the amount of this compound present in this food and due to the availability of this tuber in Colombia; Different investigations that have been carried out worldwide about the advantages of making bioplastics with this material and the opportunities that exist in making this type of biopolymer in the country will be shown.

Keywords: Potato, polymers, biopolymers, environment, plastics, bioplastics.

Introducción

El creciente problema de contaminación por los desechos plásticos se genera por la alta demanda que tienen este tipo de productos en la sociedad y no se ha determinado una forma eficiente de manejar estos artículos, en la actualidad se utilizan métodos químicos, incineración y reciclaje, los resultados de estas técnicas no son eficientes frente a los desechos que se generan, esto se debe a los materiales con los que están elaborados, uno de estos materiales es el petróleo que dado su versatilidad pueden generarse este tipo de polímeros que por su estabilidad en su estructura molecular no permite que se degrade en condiciones ambientales normales, hecho que afecta al medio ambiente y genera una problemática de contaminación. Getor et al., (2020), reportò que para el 2050 habrá más plástico que peces en el mar, con esta proyección se han activado las alarmas a nivel mundial e incentiva a la investigación de nuevos materiales que reemplace el plástico (Sharmila, Muthukumaran, Kumar, Sivakumar, & Thirumarimurugan, 2020).

En Colombia realizaron estudios sobre la producción de plástico, la Clínica Jurídica de Salud Pública y Medio Ambiente (MASP) de la Universidad de los Andes y Greenpeace Colombia, encontraron una producción de 60 mil toneladas que fueron reportadas por el DANE, resaltando que la producción de plásticos de un solo uso como pitillos y tapas plásticas fue aproximadamente de 24 mil toneladas, respecto a la producción de bolsas plásticas en el periodo de 2012 y 2017 fue alrededor de 482 mil toneladas, (Clínica Jurídica de Medio Ambiente Y salud publica (MASP); Greenpeace Colombia, 2019); asimismo la generación de residuos sólidos en Colombia según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, para el 2012 se dispusieron 26.537 toneladas/día de residuos sólidos y para el 2018 la cifra aumento a 30.081 toneladas/día, de estos el 21% se vertieron en lugares inadecuados como botaderos a cielo

abierto, enterramientos y cuerpos de agua, (Clínica Jurídica de Medio Ambiente Y salud publica (MASP); Greenpeace Colombia, 2019; Minambiente, 2013); aterrizando toda esta información la situación del país no es diferente a lo que está pasando a nivel mundial y se deben tomar decisiones y actuar para mitigar o reducir el impacto que está generando estos materiales.

Los biopolímeros o polímeros degradables están generando cierto interés en la comunidad científica, porque con estos se pueden elaborar bioplásticos que es una alternativa a la actual problemática que hay con el plástico convencional; estos biopolímeros pueden generarse a partir de plantas, animales y microorganismos esto da una variedad de fuentes renovables para su elaboración sin que genere un impacto negativo en el medio ambiente. La biodegradación de estos biopolímeros no afectan las características de los suelos lo cual es un factor importante en el diseño de estos compuestos; porque uno de los objetivos de la creación de nuevos productos es que aporte a la conservación de los ecosistemas (Polman, Gruter, Parsons, & Tietema, 2021; Sivakanthan, Rajendran, Gamage, Madhujith, & Mani, 2020).

En relación a las ideas anteriores se han hecho muchos ensayos con diferentes materias primas orgánicas con el fin de darles un mayor aprovechamiento, entre estas materias primas se han encontrado ensayos con algas para el desarrollo de bioplásticos, también se han realizado mezclas con cascaras de crustáceos con plantas y aceites de frutos oleaginosos para crear biopelículas para envases de alimentos, asimismo se han realizado ensayos con residuos de producción agrícola (Chia, Ying Tang, Khoo, Kay Lup, & Chew, 2020; Samer et al., 2019; Seenuvasan, Malar, & Growther, 2021a); cabe considerar todas estas nuevas tecnologías y seguir buscando nuevas alternativas para dar más opciones amigables con el medio ambiente a las industria que por satisfacer la demanda de la sociedad utiliza materiales que están adoleciendo el planeta donde vivimos.

En función de lo planteado los biopolímeros son una alternativa que puede reemplazar a los artículos plásticos elaborados con polímeros petroquímicos que por sus características moleculares nunca se degradan o demoran mucho tiempo en desintegrarse y hasta que esto ocurra causa contaminación en suelos y ríos. Con todos los avances que se han realizado en el campo de la biotecnología es posible implementar nuevos procesos de producción que generen materiales que ayuden a mejorar la vida del ser humano sin dañar el medio en que están.

La presente monografía abordó una revisión bibliográfica sobre la producción de papa en Colombia, las nuevas investigaciones a nivel nacional e internacional sobre polímeros y biopolímeros, y se propone un análisis sobre el impacto ambiental económico y social, así como las oportunidades para la industria alimentaria en Colombia al producir biopolímeros a base de almidón de papa.

Problema de Investigación y Justificación

Descripción del Problema

El impacto causado por los artículos u objetos elaborados con plástico como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) que son los polímeros de cadena principal, este grupo son los que más se encuentran en el mercado, la degradación de estos en el medio ambiente es más lenta por la conformación de sus moléculas que no permiten que factores como el agua o el sol o factores ambientales los descompongan en un corto tiempo (Samir et al., 2021), la utilización de esta clase de polímeros por ser más viable económicamente ha incentivado un crecimiento mundial de estos artículos que han facilitado el ritmo de la vida cotidiana; entre ellos los envases para los alimentos los cuales han permitido que la industria alimentaria crezca, llevando a la producción de alimentos de manera exponencial, porque con estos envases se pueden transportar de manera más fácil y racionarlos en diferentes tamaños.

En ese sentido la fabricación de productos plásticos se ha incrementado de manera abrupta, para el 2018 se produjeron 359 millones de toneladas métricas a nivel mundial y según estadísticas para el 2050 se proyecta una producción de más de mil millones de toneladas métricas lo cual es una cantidad exagerada y da entender que el consumismo en la sociedad está llevando a la producción de estos materiales sin pensar en las repercusiones que pueden tener a futuro, porque la mayoría de estos utensilios sean para el hogar o para la industria, son de un solo uso y después de esto se desechan (Chia et al., 2020), al observar estos datos se puede intuir que la contaminación por la acumulación de este tipo de materiales está provocando un daño irremediable a los páramos, humedales, bosques y ríos de un país como Colombia que en su

geografía abundan este tipo de ecosistemas que brindan refugio a muchas variedades de fauna y flora.

Todo lo anterior indica que el impacto ambiental por el mal manejo empleado que se le da a los productos elaborados con plásticos ha permitido que estos lleguen a lugares impensables que va desde selvas, bosques hasta las islas más recónditas, dañando la flora nativa por la composición de estos materiales que ocasionan un gran impacto ambiental, porque su tiempo de degradación es de décadas y en este proceso se liberan una variedad de sustancias químicas, que expuestas a la luz solar estos compuestos son susceptibles a producir compuestos gaseosos, que pueden generar el efecto invernadero (Rajmohan K., C, & Varjani, 2019), e intoxicando la fauna que al no saber que es nocivo para su salud lo consumen provocando intoxicación y muerte en los casos más graves; se han detectado residuos de micro plásticos en el aire y alimentos lo cual puede provocar afectaciones a la salud en un mediano plazo (Hohn et al., 2020).

En este punto es necesario hacer un alto y exponer que el plástico está haciendo un daño irreversible en el mundo y es necesario buscar alternativas que sean más amigables con la salud y el medio ambiente, en la actualidad se han realizado diversas investigaciones y ensayos de nuevos productos que pueden reemplazar este polímero y cumplir todas las funciones que hacen estos; dentro de este orden de ideas esta revisión bibliográfica estudiara el impacto y las oportunidades y presentara una alternativa de un nuevo material de envase para alimentos biodegradable, elaborado con almidón de papa el cual es un alimento que se cultiva en gran parte del territorio de Colombia y todo esto es sustentado con investigaciones realizadas en este país y a nivel mundial.

Formulación de la Pregunta Problema

¿Qué impacto y oportunidades pueden brindar la producción y el uso de los biopolímeros a base de almidón de papa para la industria alimentaria en Colombia?

Justificación

La presente monografía se enfocará en diferentes investigaciones que se han realizado sobre los biopolímeros a base de almidón de papa, con el fin de reducir el impacto que están ocasionando los envases convencionales al medio ambiente con sus efectos nocivos para la salud de los seres humanos y la estabilidad de los ecosistemas, en donde se ha evidenciado que ni siquiera los océanos y los lugares más remotos se encuentran a salvo de este material tan invasivo. Los gases producidos en la elaboración de este material producen la liberación de metano y etileno, dos potentes gases que participan en la creación del efecto invernadero (Hohn et al., 2020; Samir et al., 2021).

De hecho, diferentes estudios han demostrado que la degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta, por ejemplo, la descomposición de los productos orgánicos tarda 3 o 4 semanas, las telas de algodón 5 meses, mientras que los plásticos pueden tardar aproximadamente un siglo (Octavio & Denis, 2017). Por otro lado, estudios recientes ha demostrado que los micro plásticos o plásticos de tamaño inferior a 5 milímetros se han acumulado de forma considerable en los mares. La presencia de estos plásticos en los mares es variable, pero hay reportes de abundancia de 3 a 5 kg/km², con un registro de hasta 30 kg/km². Al ser evidente que esta cantidad aumenta cada año y requiere control mediante políticas públicas. (K. Zhang et al., 2021)

Según el Departamento Nacional de Desarrollo (DNP) por medio del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), en Colombia se lanzó en el año 2016 una política nacional para la gestión integral de residuos sólidos el CONPES 3874, esta política quiere abarcar cuatro ejes fundamentales como son: cultura reciclaje y aprovechamientos de residuos, el mejoramiento de la cultura ciudadana para la innovación en gestión integral de residuos sólidos en otras palabras la separación de residuos para su posterior tratamiento, como tercero está en las entidades pertinentes liderar la promoción del buen tratamiento de separación de los residuos sólidos y el fortalecimiento de los sistemas urbanos de reciclaje, y el último eje trata del monitoreo del cumplimiento de esta política y buscar la mejora continua de esta. Con lo mencionado anteriormente las herramientas que está brindando el gobierno colombiano está abriendo puertas para que surjan nuevas alternativas tecnológicas (DNP, 2016a).

En relación a la problemática expuesta, la presente monografía realizará una investigación tecnológica en cuanto al contraste que puede producir la creación de nuevos materiales biodegradables que como es de conocimiento son amigables con el medio ambiente por sus características que los hace más fácil de degradar expuestos a entornos naturales como la luz, el agua y el aire. Con lo mencionado anteriormente el almidón de papa es una alternativa como materia prima para fabricar envases de alimentos, además es uno de los principales tubérculos cultivados en Latinoamérica y para este caso en Colombia, la papa está posicionada entre los tres primeros alimentos cultivados en el país (Fedepapa, 2020); de hecho, este subproducto puede ser aprovechado para el desarrollo de películas en la industria de alimentos, actualmente existen diferentes estudios que han realizado películas elaboradas a base de almidón de diferentes alimentos como el arroz, maíz, sorgo entre otros, han demostrado la alta capacidad de entrecruzamiento de las moléculas del almidón con estos componentes y tiene propiedades de

barrera favorables para la conservación de los alimentos ya que es una alternativa para su uso (Gómez-Aldapa et al., 2020).

Antecedentes

La realización de una revisión tecnológica es pertinente para ver con claridad el estado en que se encuentra la viabilidad del desarrollo de biopolímeros. En la revisión hecha por Morales (2018), se analiza la viabilidad que tiene el aprovechamiento de los residuos de la producción agrícola específicamente con la papa en Colombia, para la elaboración de biopolímeros. Para el estudio se realizó un análisis por medio de matriz SWOT, donde pudo identificar los diferentes factores que tienen un papel fundamental, los cuales son: el factor político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal. Los resultados de la revisión arrojaron que, a nivel político hay evidencias de protocolos globales en el manejo de plásticos, lo cual da oportunidad a la incursión de la industrias de biopolímeros en país; con respecto al factor económico hay ciertas ventajas y desventajas, porque los precios del almidón son considerablemente bajos y esto sería algo positivo en la fabricación de este biopolímero, pero se encuentra la resistencia por parte de la industria de los productores de plásticos debido a la falta de información de este nuevo producto; en el área social, al implementar estas nuevas tecnologías la comunidad se mostrará resistente porque no tendrán los mismos resultados que tienen con el polietileno, por su durabilidad e infinidad de uso que tiene este; a nivel tecnológico arrojó que existen varias empresas que están desarrollando bioplásticos con almidones de yuca y papa lo cual genera la oportunidad de involucrar antes del gobierno para la creación de estos; con el factor ecológico se generará un crecimiento sostenible en la reducción de gases invernaderos, mares, suelos y ríos menos contaminados, uso de menos recursos energéticos; y el factor legal se incentiva a la aplicación de la resolución 668 del 2016 sobre la prohibición de circulación de bolsas con tamaño menor a 30x30 centímetros y mayor resistencia a las de mayor tamaño. Con los resultados obtenidos se puede inferir que existen oportunidad en la elaboración de este tipo de biopolímeros elaborado

con almidón de papa que generara un impacto positivo tanto en la economía como el medio ambiente.

En el estudio de Acosta & Rios, (2018), realizaron una evaluación del almidón de papa en la obtención de bioplástico. Para esta investigación caracterizaron 5 variedades de papas del departamento de Nariño, posterior realizaron extracción del almidón mediante decantación, y su respectiva caracterización: humedad, temperatura de gelatinización, densidad, amilosa y amilopectina, índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento, nitrógeno total y proteína cruda. Para la elaboración del bioempaque realizaron un diseño experimental unifactorial con diferentes porcentajes de almidón, las variables respuesta fueron resistencia y calibre, y las variables fijas fueron agua, ácido acético y glicerina. Se realizó el proceso de moldeado del material de bioplástico y se determinaron las características fisicoquímicas: humedad y características mecánicas: espesor, resistencia, determinación de la biodegradabilidad. En los resultados encontraron que el almidón de papa Richie comparado con la variedad Betina presenta mejores potenciales para la elaboración de bioempaques. Las cinco variedades de papas obtuvieron un almidón apto para el desarrollo de un bioplástico al considerar las propiedades mecánicas y funcionales. Igual encontraron que la temperatura óptima para la mezcla de bioplásticos fue entre 60°C y 70°C. Finalmente, para la elaboración del empaque el plastificante más eficiente fue el agua destilada, en ausencia de glicerina el empaque obtenido presenta menor consistencia o densidad.

Otro estudio relacionado con la utilización del almidón de papa para la elaboración de envases de espuma lo realizó Rodrigues (2020) , donde utilizo los subproductos del procesamiento de papas al vapor, la caracterización de la porción seca de este subproducto arrojo los siguientes datos 77% de carbohidratos, 60% de almidón, 15% de fibra total y 7% de proteína

y la humedad de la materia prima fue del 82%. Para la fabricación de la espuma se adiciona benzoato de sodio para crear un gel se calienta la mezcla a 80°C por 40 minutos, se hicieron pruebas previas para determinar la estabilidad de la masa a temperatura ambiente, se agregó cada aditivo los cuales fueron fibra de avena y goma xantana en proporciones de 10%, 15% y 20% a temperatura ambiente (24°C aproximadamente), se mezclaron los componentes durante 5 minutos, se vertieron en moldes y se cocieron a 200°C por 15 minutos, luego se desmoldaron se empacaron al vacío y se almacenaron en una incubadora a 22°C por 7 días, para su caracterización se evaluó: solubilidad, índice de adsorción de agua, actividad acuosa, densidad, análisis mecánico, parámetros de color, análisis de biodegradabilidad y análisis estadístico de la espuma. Los resultados arrojaron que la mejor mezcla fue en la que se adicionaron un 20% de fibra de avena y goma xantana, en conclusión, la espuma se puede utilizar en pequeños productos desechables, envases de alimentos secos, para el uso en la agricultura como bandejas para transportar semillas.

En el estudio realizado por Charro (2015), desarrolla una película biodegradable utilizando almidón de papa. Para la investigación se selecciona la papa variedad superchola por tener mayor porcentaje de almidón, el almidón se extrajo por el método de decantación y se caracterizó la humedad y porcentaje de amilosa. En la elaboración de la película se tomó el almidón y se hicieron varias mezclas de estos plastificantes: urea, glicerina, alcohol polivinílico y melanina, en las películas resultantes se analizaron las siguientes características espesor, solubilidad, humedad, biodegradabilidad, permeabilidad y la tracción; las mezclas de plastificantes y almidón que arrojaron mejor resultado fue la glicerina con la adición de melanina por la capacidad hidroscofia de este último. Finalmente se determinó que la variación de estos

dos compuestos almidón y plastificante, cambiaron las características mecánicas, físicas y biodegradables de la película.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar por medio de una revisión bibliográfica el uso del almidón de papa en Colombia como alternativa para la producción de biopolímeros grado alimenticio para reemplazar el uso de polímeros sintéticos.

Objetivos Específicos.

Realizar una vigilancia tecnológica para identificar la producción de papa en Colombia.

Identificar la degradación, impacto ambiental y propiedades tecno funcionales de polímeros y biopolímeros.

Establecer las oportunidades del uso del almidón de papa como una materia prima potencial para el desarrollo de biopolímeros en la industria de alimentos mediante una revisión bibliográfica

Referentes Conceptuales

La Papa (*Solanum tuberosum*)

Generalidades de la Papa

Sobre el origen de la papa aún no se tiene claro cómo fue su evolución hasta el tubérculo que se conoce en la actualidad, esto se debe a que la papa silvestre, así como la cultivada crece o puede sembrarse desde el suroccidente de Estados Unidos hasta el sur de Chile (Rodríguez, 2010).

Existen una gran variedad de especies de papas a lo largo del continente americano, sin embargo, la variedad *Solanum tuberosum spp andigena* es la más reconocida en la región andina, este tubérculo procedente de los Andes; su origen parece situarse en dos centros distintos de América del Sur: Perú y Bolivia, esta clase es una de las que más se acerca a las primeras plantas de papas silvestres encontradas, esta variedad es la más utilizada en la actualidad por los agricultores, porque les da una mayor productividad en los cultivos (Rodríguez, 2010; Suquilanda, 2009)

Otra de las variedades de papa es la *S. tuberosum spp phureja*, es la más encontrada entre las regiones que comprenden desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia, esta variedad también hace parte de las especies silvestres, por tener características culinarias apreciables en las preparaciones que se realizan con este tubérculo (Peña, 2015; Rodríguez, 2010).

El progreso y cambios que ha logrado la humanidad con este tubérculo llegando a tener tantas variedades han hecho de este un alimento base de la dieta alimentaria de todo el continente americano y después de la llegada de los españoles a América pudo esparcirse en todo el mundo.

Descripción Botánica y Morfológica

La planta de papa es herbácea, dicotiledónea, anual, de clima frío, conformada por dos partes principalmente: sección subterránea compuesta por la raíz, estolones, tubérculos y tubérculo madre, y la sección aérea conformada por tallos principales y secundarios, hojas, flores y frutos. Al finalizar cada ciclo productivo, la parte aérea de la planta muere (Empresarial, 2015; Gutierrez, 2016; Rodríguez, 2010). A continuación, se presenta la clasificación morfológica de la planta de la papa en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación morfológica de la planta de la papa (*Solanum tuberosum*)

Morfología	Diámetro	Características
Altura de la planta	100 a 140 cm	Ascienden erectas o semi erectas
Tallo	5-9 mm	Desde la base de la planta ^a
Hojas (laminas)	8–22 x 5–13 cm	superficie de la hoja opaca a brillante, de forma ovalada a elípticos ^b .
Flor	5-9 cm	Se encuentran en la parte distal de la planta ^c .
Fruto o semilla	2-4 cm	Baya globosa ovoide de tonos verdes ^d
Estolones	Depende de la variedad	Tubular fibroso ^e
Tubérculo	Depende de la especie o clase	redondas, ovals, oblongas, elíptica, larga, aplanadas, clavadas, reniformes, fusiformes, falcadas, enroscadas, digitadas, concertinoides y otras muy tuberosada ^f

Nota. CFIA, (1997)^a; Gutierrez, (2016)^b; Inostroza, Méndez, & Sotomayor, (2016)^c; Lim & Lim, (2016)^d; Navarre & Pavék, (2014)^e; Ovchinnikova et al., (2016)^f.

Clasificación Taxonómica.

La papa cultivada es una planta herbácea, dicotiledónea, anual, de clima frío, cuya clasificación taxonómica

Tipo. Spematophyta

Clase. Angiosperma.

Subclase. Dicotiledónea.

Orden. Tubbiflorae.

Género. Solanun.

Sección. Potatoe.

Serie. Tuberosa (Gutierrez, 2016)

Características Fisicoquímicas

La papa (*Solanum tuberosum*) está compuesta por agua 72-75%, almidón 16-20%, proteína 2-2,5% y ácidos grasos 0,15% (Capuano & Burny, 2008).

En la tabla 2 se muestra el aporte nutricional de la papa, uno de ellos es dado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 100g de papa (*Solanum tuberosum*) pelada y hervida, el otro fue hecho en Colombia con una variedad de papa *Solanum tuberosum* grupo Phureja, a continuación, se presentan los resultados:

Tabla 2

Aporte nutricional de la papa (Solanum tuberosum) y de la variedad de la papa Solanum tuberosum grupo Phureja hervidas.

Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)^a		Papa <i>Solanum tuberosum</i> grupo Phureja^b
Componente	Valores	Valores
Energía	87 kcal	94 kcal
Agua	77g	70.3g
Carbohidratos	20,13g	73,7g
Proteínas	1,87g	6,8g
Fibra	1,8 g	3,6g
Grasa	0,1 g	0,2g

Notas. FAO,(2008)^a; Peña, (2015)^b

Variedades de Papa (Solanum tuberosum)

Según FEDEPAPA las variedades más comercializadas de papa (*Solanum tuberosum*) en Colombia son: (Fedepapa, 2020)

Papa Pastusa: se caracteriza por su cáscara que es entre rosada y crema, de forma redonda aplanada (si es parda), textura harinosa, se deshace con facilidad (Fedepapa, 2020) El tiempo de cultivo tarda alrededor de 6 a 7 meses considerándola una variedad de cosecha tardía, se adapta muy bien a los climas fríos y templados, por estas características es muy encontrada en la región cundiboyacense (Fedepapa, 2020; Moreno Mendoza, 2000)

R-12 o Diacol Capiro. Se caracteriza por su gran tamaño y el color de su cáscara varía entre rojo y morado (Moreno Mendoza, 2000), por su textura rígida es ideal para freír, esta variedad es la más utilizada en la industria de frituras (Fedepapa, 2020) se puede cultivar en climas fríos, su periodo de cultivo esta entre 4 a 6 meses considerándola una variedad de cosecha normal.

Papa Pastusa Superior. Esta variedad se caracteriza por la formación del tubérculo muy temprano aproximadamente 100 días lo cual le da una mayor ventaja al papicultor al momento de la cosecha, esta variedad es muy utilizada también en la industria de las frituras por su conformación estructural, pide cultivarse en climas fríos templados (Moreno Mendoza, 2000).

Papa Criolla. Se caracteriza por su color amarillo intenso, su tamaño pequeño su textura suave, se puede cultivar en climas fríos y templados y su cultivo tarda alrededor de cuatro meses (Moreno Mendoza, 2000).

Estas son las variedades de papa que se comercializan en Colombia, pero existen alrededor de 32 variedades de este tubérculo en el país según el estudio hecho por Moreno (2000), hecho interesante para que se sigan investigando más sobre este alimento y sacar un

máximo provecho, y no solo a nivel alimenticio si no en aprovechamiento industrial en la aplicación de nuevas tecnologías.

Áreas Cultivadas en Colombia

Para el 2019 en Colombia se sembraron 128.622 hectáreas de papa en las diferentes variedades comerciales, en la tabla 3 se presenta los departamentos con mayor área cultivada según el ministerio de agricultura y desarrollo rural.

Tabla 3

Áreas cultivadas por departamentos.

Departamento	Área (Ha)	
	2018	2019
Cundinamarca	48,289	48,125
Boyacá	35,563	35,162
Nariño	25,278	24,906
Antioquia	7,165	6,940
Otros	13,880	13,399
Total	130,176	128,622

Nota. Minagricultura, (2019)

Los datos reportados en la tabla 3, muestran que el cultivo de papa es de gran relevancia en la agricultura del país y que hace parte fundamental en la canasta familiar, porque toda la papa cosechada en Colombia es utilizada en la industria alimenticia con el 90% consumo en fresco y el otro 10% para uso industrial; pero algo que cabe la pena mencionar es la disminución de hectáreas cultivadas con respecto al año 2018, el ministerio de agricultura dice que es por un bajo consumo y por las condiciones climáticas, (Minagricultura, 2019). Pero la Federación colombiana de productores de papa Fedepapa, dice que esta disminución se debe a las importaciones que se han hecho hacia el país de papa precocida congelada que está llegando de Europa y Estados Unidos, provocando que el consumo de la papa cultivada en el país disminuya, porque la tendencia del consumidor es adquirir la papa precocida y no frescas para ahorrar

tiempo en las diferentes preparaciones; según Fedepapa las importaciones desde el 2017 hasta el 2019 han aumentado en un 7% (Fedepapa, 2020), lo cual se ve reflejado en la disminución de hectáreas cultivadas en el 2019.

Al analizar la disminución de la producción de papa en Colombia, se evidencia la necesidad de promover el cultivo en las diferentes regiones del país mediante nuevas investigaciones que aprovechen este alimento o sus componentes y así abrir paso a nuevos productos que aporten a la economía del país y además ayuden en la conservación de los recursos agrícolas.

Almidón de Papa

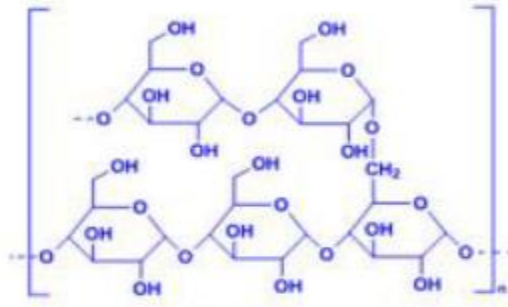
El almidón es un polisacárido de glucosa compuesto por amilosa (20%-30%) y amilopectina (70%-80%), el almidón de papa comercial es un polvo blanco y tiene una relación promedio que varía entre 1:4 y 1:5 de amilosa y de amilopectina, (raj, Dalal, Bisht, & Dhakar, 2020; Zárate Polanco et al, 2016) esta composición lo ha llevado a ser el almidón más utilizado en la industria de alimentos, por la capacidad de retención de agua y la facilidad en la formación de geles (C. Zhang, Lim, & Chung, 2019), este compuesto también es utilizado en otros sectores de la industria como la textil, pinturas, tratamientos de aguas, entre otras (Lizarazo H., Hurtado R., & Rodríguez C., 2015).

Estructura del Almidón

El almidón de la papa está conformado por glucosa y se caracteriza por sus dos componentes principales 25% de amilosa y 75% de amilopectina, dicho contenido puede variar dependiendo las variedades (Alarcón Cavero & Arroyo Benites, 2016). En la figura 1, se presenta la estructura química del almidón.

Figura 1.

Estructura química del almidón

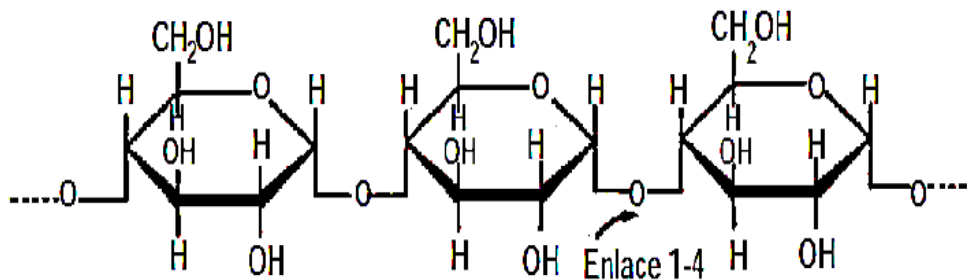


Nota: Estructura química del almidón. Tomado de Labeaga (2018)

Amilosa. Un alto contenido de amilosa genera mayor fuerza de atracción para los gránulos de almidón, este hecho influye en la absorción de agua del granulo (Alarcón Cavero & Arroyo Benites, 2016). En la figura 2, se presenta la estructura química de la amilosa.

Figura 2.

Estructura química de la amilosa

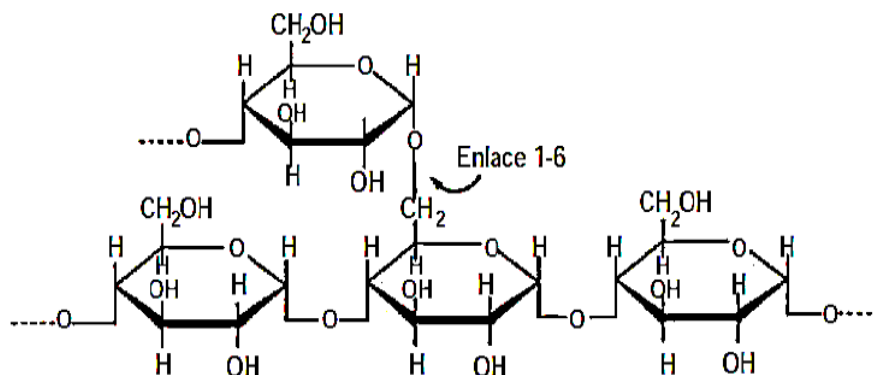


Nota: Estructura química de la amilosa. Tomado de Díaz Barrera (2015)

Amilopéctina. La presencia de este compuesto en el almidón refuerza la formación de geles, gracias a que en su estructura molecular posee unas ramificaciones que permita que sea menos soluble al agua (Charro, 2015; Morales, 2018). En la figura 3, se presenta la estructura química de la amilopéctina.

Figura 3.

Estructura química de la amilopectina



Nota: Estructura química de la amilopectina. Tomado de Díaz Barrera (2015)

Métodos de Extracción

Los métodos de extracción del almidón varían según la clase de proceso que se realice, con esto el método que se utilice, se van a modificar las cualidades fisicoquímicas del almidón, por esto es fundamental elegir el método más adecuado para conseguir los resultados deseados. Los métodos de extracción que se encuentran en la literatura para la obtención de almidón de papa se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Métodos de extracción del almidón de papa

Método de extracción	Tratamiento de extracción
Físicos	- Extracción humedad ^{a,b} - Extracción seca ^c
Químicos	-Álcali (NaOH) ^d - Ácido cítrico ^{e,f}

Notas. Abbasi et al. (2019)^a; Acosta et al. (2018)^b; Kang, Won, Lee, & Min (2015)^c; Karmakar, Ban, & Ghosh (2014)^d; raj et al. (2020)^e; Vera Bravo & Chavarría Chavarría (2020)^f

Métodos Físicos

Extracción Húmeda. Este método consiste en la reducción del tamaño de la materia prima utilizando un medio líquido, para facilitar la separación de componentes que no intervienen en el proceso (Kang et al., 2015; Mogrovejo, 2019).

El procedimiento de extracción se realiza de la siguiente forma:

Recepción. Se selecciona la muestra y se realiza el proceso de limpieza con agua y cepillo.

Licuadao. Se acondiciona la muestra y se procede a procesarse en una licuadora y se añade agua para facilitar el proceso.

Filtrado. Se tamiza la mezcla mediante un lienzo (filtro de tela), se agrega agua para favorecer en la dilución del almidón y se exprime el lienzo para remover el almidón.

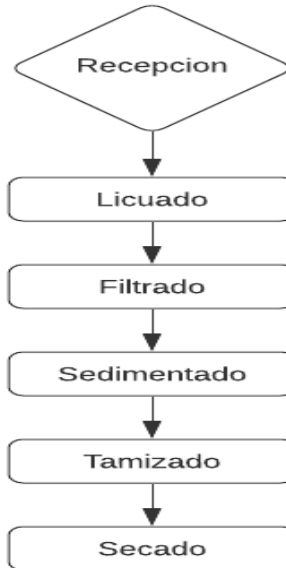
Sedimentación. Se deja reposar la solución por tres horas, se realiza otro enjuague al precipitado y se deja sedimentar nuevamente.

Tamizado. El almidón lavado se tamiza, eliminando los residuos de la fibra, se deja sedimentar por 3 horas y luego se elimina el sobrenadante.

Secado. Se lleva a la estufa a 30°C por dos días, seguido se muele y se almacena.

Figura 4.

Diagrama de flujo extracción húmeda del almidón



Nota. Diagrama de flujo extracción húmeda de almidón. Tomado de Mogrovejo (2019).

Extracción Seca. En este método se aplica calor para reducir el agua presente en la muestra y así obtener el almidón (Mogrovejo, 2019).

Recepción. Se selecciona la muestra y se realiza el proceso de limpieza con agua y cepillo.

Troceado. Se secciona la muestra para facilitar el secado.

Secado. Se procede a secar a 60°C por un tiempo de 48 horas o hasta que la muestra este totalmente seca.

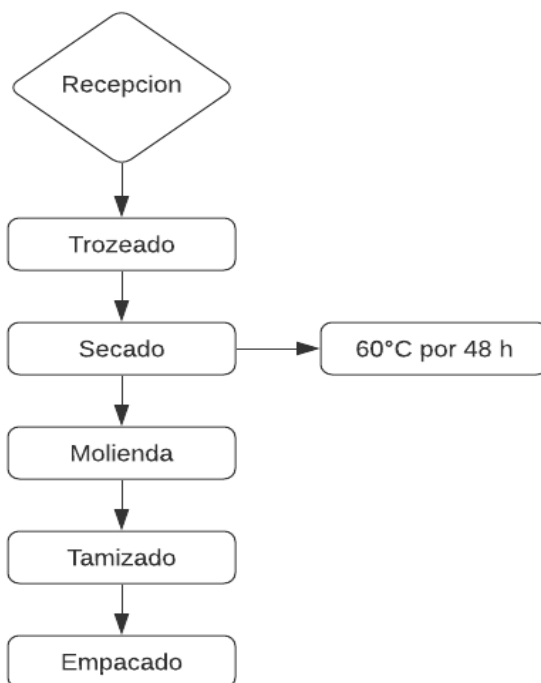
Molienda. Una vez la muestra este completamente seca se tritura por medio de un molino hasta volverla un polvo fino, este proceso debe hacerse por tres horas para evitar que la muestra tome humedad.

Tamizado. Se pasa la muestra por medio de tamices de malla de diferentes calibres hasta retirara todas las impurezas.

Empacado. El almidón se empaca en bolsas de selle hermético para evitar la humedad.

Figura 5

Diagrama de flujo extracción seca del almidón



Nota. Diagrama de flujo extracción seca del almidón. Tomado de Mogrovejo (2019)

Métodos Químicos

Extracción por Medio Alcalino. En este método se utiliza la muestra que es mezclada en solución de NaOH al 0,25 M en una proporción muestra-solvente 1:3 (Gonzalez, 2018)

Recepción. Se toma la muestra, se realiza un tamizado para eliminar cualquier tipo de impureza.

Licuada. Se acondiciona la muestra y se procede a procesarse en una licuadora y se añade agua para facilitar el proceso.

Filtrado. Se tamiza la mezcla mediante un lienzo (filtro de tela), se agrega agua para favorecer en la dilución del almidón y se exprime el lienzo para remover el almidón.

Lavado. Se deja en la solución de NaOH al 0,25M por 24 horas y después de esto se realizaron lavados con esta solución alcalina.

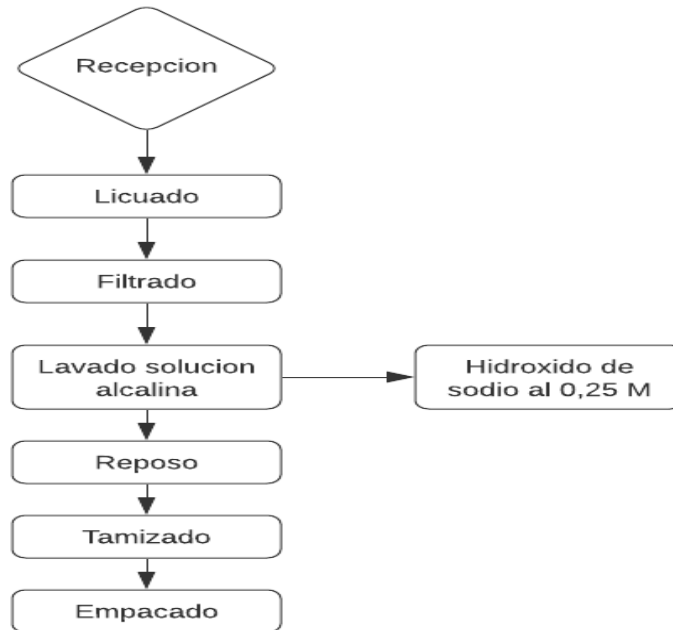
Reposo. Se deja reposar la solución por 5 minutos, se realiza otro enjuague al precipitado y se deja sedimentar nuevamente.

Tamizado. Se pasa la muestra por medio de filtros de papel hasta quedar solo el almidón.

Empacado. El almidón se seca a una temperatura de 50°C y se empaca en bolsas de selle hermético para evitar la humedad.

Figura 6.

Diagrama de flujo extracción alcalina del almidón



Nota. Diagrama de flujo extracción alcalina del almidón. Tomado de Gonzalez (2018)

Extracción Acida. En este método se toma la muestra se procesa y se mezcla en una solución acida (ácido cítrico 3%) (J González, S Godoy, A Jara, 2020)

Recepción. Se selecciona la muestra y se realiza el proceso de limpieza con agua y cepillo y se trocean.

Inmersión Acida. Se sumergen en una solución con ácido cítrico 3%

Licuadao. Se procesa en una licuadora hasta formar una mezcla homogénea.

Filtrado. Se tamiza y filtra la mezcla por medio de filtros hasta obtener una coloración clara en el agua

Sedimentación. Se deja reposar la solución por 24 horas, se realiza otro enjuague al precipitado y se deja sedimentar nuevamente.

Macerado. La torta resultante se macera para desintegrar cualquier granulo que haya quedado.

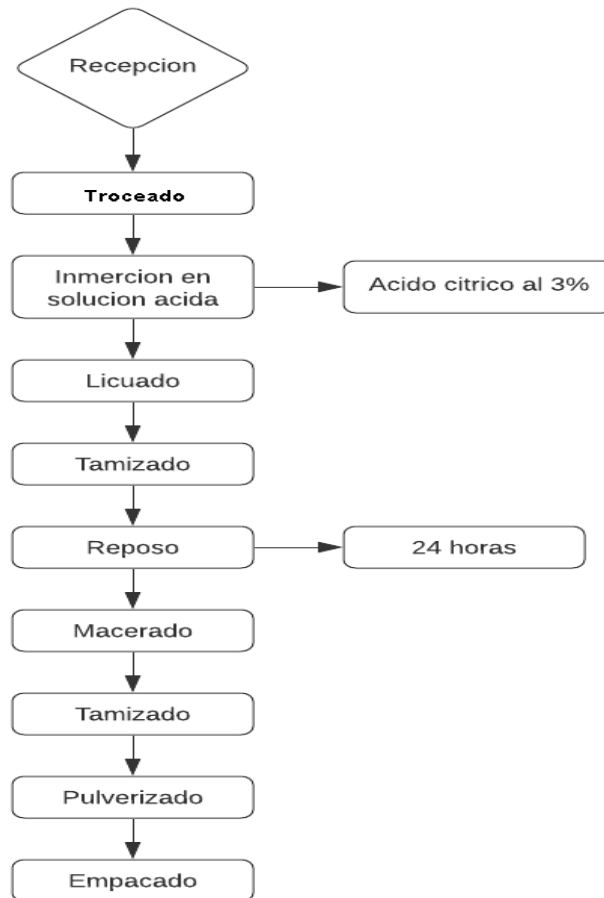
Tamizado. la torta se lava y se tamiza, eliminando los residuos de la fibra, se deja sedimentar.

Pulverizado. El almidón se seca, seguido se muele hasta obtener un polvo fino.

Empacado. El almidón se empaca en bolsas de selle hermético para evitar la humedad.

Figura 7

Diagrama de flujo extracción acida del almidón.



Nota. Diagrama de flujo extracción acida del almidón. Tomado de Gonzalez (2020)

Propiedades Tecno Funcionales del Almidón Nativo

Caracterizar los almidones nativos permitirá establecer el potencial tecno funcional en la industria alimentaria. La cantidad de amilosa y amilopectina son valores importantes para determinar la calidad de un almidón, e influye de forma directa en las características de gelificación, gelatinización, retrogradación, claridad y poder de hinchamiento.

Temperatura de Gelatinización. La temperatura de gelatinización es una propiedad que depende del origen del almidón, su hinchamiento no es reversible, su comportamiento depende de diferentes factores intrínsecos, resaltando la concentración de almidón, y la presencia de otros solutos (Aristizabal, J., & Sanchez, 2007).

Poder de Hinchamiento. El poder de hinchamiento representa cuánta agua puede absorber un almidón, un alto porcentaje significa una reducción de la asociación de los gránulos, de hecho, reportan en diferentes estudios que las propiedades tecno funcionales están directamente correlacionadas (Aristizabal, J., & Sanchez, 2007; Garnica, Romero, Cerón, & Prieto Contreras, 2010). Se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso solubles (g)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Viscosidad. La viscosidad es un parámetro donde se mide la fuerza de torsión sobre la aguja rotante a una temperatura y velocidad estables. Se reporta que un almidón con alta viscosidad se relaciona de forma directa con una baja solubilidad, alto poder de hinchamiento, y una elevada absorción de agua que permita caracterizar un almidón de alta calidad (Aristizabal, J., & Sanchez, 2007; Soto Izarra & Yantas Huaynate, 2012).

Índice de Absorción de Agua. La absorción de agua está directamente relacionada con la viscosidad, encontrando que el granulo se rompe y se genera una mezcla de granos hinchados de amilopectina y moléculas disueltas de amilosa (Aristizabal, J., & Sanchez, 2007). Es importante considerar la ecuación 2.

$$\text{índice absorción de agua} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Índice de Solubilidad en Agua. La solubilidad está relacionada con la cantidad de amilosa y amilopectina presente en el almidón, por enlaces de hidrogeno que los unen que no permiten que sean poco solubles en agua, además de esto la cantidad de contenido lipídico influye en la solubilidad del almidón (Díaz Barrera, 2015). Es importante considerar la ecuación 3.

$$\text{índice de solubilidad en agua} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times \text{Volumen} \times 10}{\text{Peso muestra (g)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

A continuación, se presenta en la tabla 5, una comparación de diferentes almidones, con el fin de relacionar las características tecno funcionales:

Tabla 5

Comparación sobre características tecno funcionales de diferentes almidones nativos

Propiedades funcionales	Fuentes de almidón nativos			
	Papa	Maíz	Trigo	Arroz
Amilosa (%)	22 ^a	28,3 ^b	24,69 ^f	21,37 ⁱ
Temperatura de gelatinización (°C)	62 ^a	76,5 ^c	75 ^f	92,1 ⁱ
Poder de hinchamiento (%)	24,67 ^a	12 ^b	16,75 ^f	29,8 ^d
Viscosidad (cP)	22000 ^a	1388 ^e	4328,5 ^f	3324 ^k
Índice de solubilidad en agua (g/g)	7,59 ^a	11 ^b	20,17 ^g	3,2 ^d
Índice de absorción de agua (g/g)	22,4 ^a	15 ^b	1,92 ^h	1,82 ^j

Nota. Soto Izarra & Yantas Huaynate (2012)^a; Hernández-Medina, et, al.(2008)^b; Bustillos-Rodríguez et al., (2019)^c; Cai et al., (2015)^d; Sandhu & Singh, (2007)^e; R. Kumar & Khatkar, (2017)^f; Ma et al., (2021)^g; Lascano & Sandoval, (2012)^h; Yoon et al., (2012)ⁱ, Gómez et al., (2015)^j, Pereyra, Florencia; Cambra, (2018)^k

En relación a la tabla 5 se puede observar que el porcentaje de amilosa en el maíz es más alto con respecto a las muestras estudiadas, lo que indica que este almidón es ideal para la formación de geles y utilizarlo como espesante para salsas, por su parte el índice de solubilidad del almidón de trigo es mayor con respecto al del almidón de papa, con esto se puede inferir que para realizar mezclas con agua es más factible realizarlas con almidón de trigo y esto se puede ver en la producción de productos de panadería; por otra parte el poder de hinchamiento del almidón de arroz es el más alto de todos los almidones en la tabla; también se puede observar que la temperatura de gelatinización del almidón de papa es la más baja de todas las muestras propuestas.

Al considerar las características funcionales de los almidones permiten definir las posibles aplicaciones del almidón a nivel industrial, por ejemplo se puede emplear para desarrollar algunos edulcorantes, se puede usar para reemplazar harinas en diferentes preparaciones de repostería, mejorar el color y textura en productos de panificación, puede ser empleado como espesantes en sopas o salsas (Soto Izarra & Yantas Huaynate, 2012). De hecho, se reporta que el almidón de tubérculos brinda diferentes beneficios tecno funcionales que el almidón de cereales al ser más limitado (Aristizabal, J., & Sanchez, 2007).

Se reporta que el almidón de papa puede ser una materia prima idónea para la estabilidad de un biopolímero o útil para la industria alimentaria, debido a las propiedades funcionales deseables (Zárate Polanco et al, 2016). A continuación, en la tabla 6, se presenta de forma sintetizada las propiedades funcionales de almidones de papa cultivadas en Colombia y Perú, para corroborar el estudio de (Bertoft et al., 2016), donde menciona que el contenido de amilosa y amilopectina en el almidón es influenciado por la fuente botánica, calidad del suelo y condiciones geográficas y a su vez esta propiedad afecta directamente en las demás propiedades funcionales.

Tabla 6.***Propiedades tecno funcionales del almidón nativo de papa cultivada en Colombia y Perú***

Propiedades tecno funcionales	Valores obtenidos en Colombia, variedad <i>Solanum tuberosum</i> L. sub. <i>Andigena</i>^a	Valores obtenidos en Perú, variedad <i>Solanum tuberosum</i>^b
Temperatura de gelatinización (°C)	29.97 – 64-20	60 - 64
Poder de hinchamiento (%)	6.68 – 15.45	17.97 – 25.56
Índice de solubilidad en agua (g/g)	0.74 – 5.29	3.33 – 11.33
Índice de absorción de agua (g/g)	6.50 – 15.04	17.37 – 22.66
Viscosidad (cP)	22000-23000	11533 - 23000

Notas. Soto Izarra & Yantas Huaynate, (2012)^a; Garnica, Romero, Cerón, & Prieto Contreras (2010)^b.

Polímeros

Los polímeros son macromoléculas, que están formadas por unidades más pequeñas llamadas monómeros, que dependiendo de la cantidad de estas partículas se determina el peso de la molécula del polímero, lo cual determina la densidad, forma o comportamiento de este, al descubrir esto se empezó a experimentar modificando factores como la temperatura, adición de reactivos o algún aditivo que llevaron crear una amplia gama de este compuesto que transformó la industria llevando a otro nivel productivo. El que inició con toda la investigación sobre los polímeros fue Herman Staudinger, fue el primero en llamar este compuesto por este nombre cuando en 1919 publicó el concepto de compuestos con alto peso molecular estaba relacionado con largas cadenas de moléculas unidas covalentemente y Staudinger sintetizó el primer polímero en 1909 llamado baquelita. (Çelik et al., 2018; Wnek, 2015)

Clasificación

La clasificación de los polímeros es muy amplia, porque la naturaleza de esta molécula varía según el material. A continuación, se muestra en la tabla 7, una clasificación que abarca con mayor objetividad a los polímeros, según la base de clasificación y tipo de polímero.

Tabla 7

Clasificación de polímeros

Base de clasificación	Tipo de polímero
Origen	Natural, semisintético, sintético
Respuesta térmica	Termoplástico, termo endurecible.
Modo de formación	Adición, condensación.
Estructura lineal	Lineal, ramificada, reticulada.
Aplicación y propiedades físicas	Caucho, plásticos, fibras
Tacticidad	Isotactica, sindiotactica, atactica
Cristalinidad	No cristalino (amorfo), semicristalino, cristalino
Polaridad	Polar, no polar
Cadena	Hetero, homo cadena

Nota. Çelik et al., (2018); Salih (2010)

Estructura Química de los Polímeros

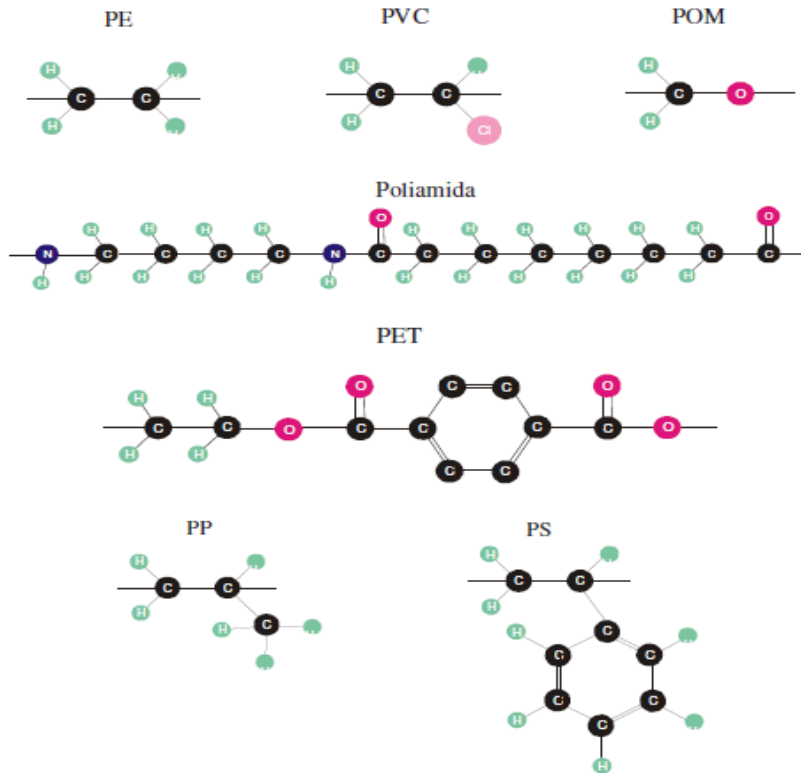
La estructura de los polímeros se debe a la unión de monómeros por medio de enlaces covalentes, las fuerzas de estos son muy diversa y están condicionadas a las características de los átomos y de la cadena principal, a esto se suma la polaridad y el volumen de estos átomos, ya que esto determina la posición en la cadena principal y esta posición determina las características fisicoquímicas del polímero resultante, un ejemplo de esto lo menciona Beltran (2011), dice que el polietileno (PE) es molécula sencilla no polar y sus cadena están atraídas por fuerzas

intermoleculares débiles tipo London, y como resultado las características de este polímero son que es blando y de temperatura de fusión relativamente baja; otro ejemplo mencionado por este autor es el cloruro de polivinilo (PVC) que al ser polar las cadenas están atraídas por enlaces dipolo-dipolo que son enlaces fuertes y como resultado da un polímero rígido, esto quiere decir que hay una relación entre las fuerzas de atracción entre las cadenas los polímeros y la rigidez de estos (Beltran, 2011; Çelik et al., 2018; Wnek, 2015).

Muchas de las características de los polímeros como la elasticidad en los cauchos, la rigidez y la capacidad de resistir altas presiones, está dada por la longitud de la cadena o por el peso atómico del polímero; esto es algo muy importante a la hora de la elaboración de estos compuestos, porque cada molécula tiene un grado de polimerización que determina cuanto peso tendrá la cadena y la características respectivas, esto ocurre cuando se hace la polimerización en cadena y si este proceso se realiza en etapas como es caso de los polímeros sintéticos el resultado va a variar porque en cada etapa las reacciones de los compuestos variaran según las condiciones (Beltran, 2011).

Figura 8

Estructura de los polímeros



Nota. Estructura de los polímeros. Tomado de Beltran (2011)

Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Polímeros

Entre las características que se evalúan a los polímeros están:

Prueba de Tracción. Es un proceso en donde se ejerce presión destructiva que proporciona información sobre la resistencia a la tracción, el límite elástico y la ductilidad del material.

Prueba de Flexión. la prueba de flexión mide la fuerza requerida para doblar una viga en condiciones de carga de tres puntos.

Prueba de Impacto. la prueba de impacto se utiliza explícitamente para evaluar la tenacidad, la fragilidad, la sensibilidad a las muescas y la resistencia al impacto de los materiales de ingeniería para resistir cargas de alta velocidad.

Prueba de Flexión. Se realizan para medir la deflexión y la resistencia a la flexión de los plásticos poliméricos reforzados con fibra.

Densidad. La densidad es uno de los factores más importantes para determinar las propiedades del material compuesto de polímero y se define como la masa del material por unidad de volumen. (Saba, Jawaid, & Sultan, 2018).

Degradación de Polímeros a Través del Tiempo

Como se mencionó anteriormente la conformación de la cadena de los polímeros determina las características de este y con esto también la capacidad de degradación con los factores ambientales existentes, un artículo realizado por Octavio & Denis (2017) menciona que los artículos de plásticos que más se utilizan tienden a degradarse en aproximadamente en 400 años en condiciones ambientales normales, en vista a esto se han realizado estudios para acelerar este proceso Posada Bustamante (2018), menciona que se han implementado tratamiento con lodos activos dado que estos polímeros se elaboran en ambientes aerobios con esto implementar microorganismos para que arremetan con estos compuestos, pero aún no se ha podido identificar este tipo de microorganismos.

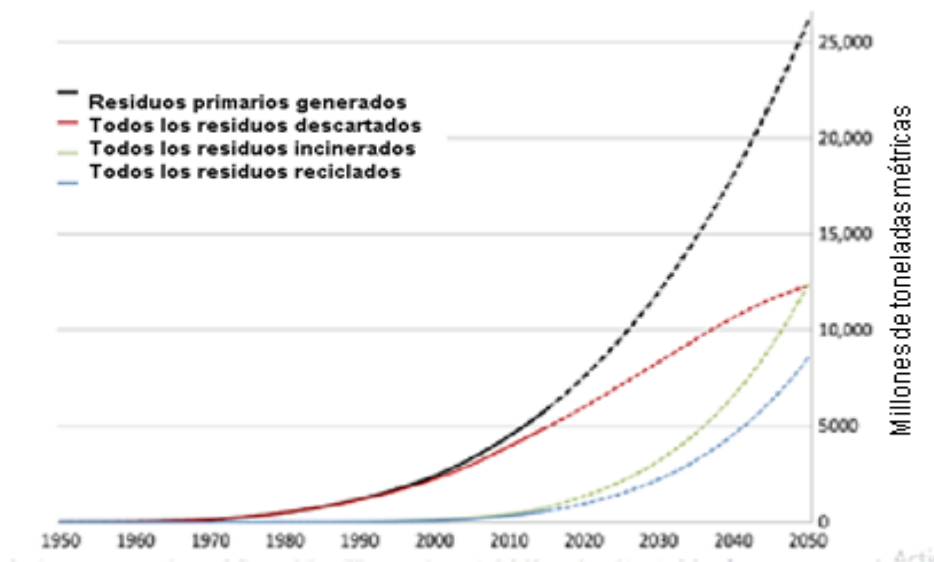
Producción de Polímeros

La producción de polímeros o productos plásticos ha aumentado de manera exponencial desde 1950 que fue descubierto pero no fue hasta después de la segunda guerra mundial donde las nuevos convenios comerciales entre diferentes países y la reconstrucción de Europa después de la

guerra lo que disparó la fabricación de este tipo de artículos por la necesidad de la sociedad de cubrir sus necesidades con artículos nuevos aún bajo costo, solo en este periodo de 1950 a 2015 se produjeron más de 7800 millones de toneladas métricas y de esta cantidad 3900 millones toneladas métricas se produjeron en los últimos 13 años, con estos datos se proyecta que para el 2050 se produzcan alrededor de 26000 millones de toneladas métricas y de esto 12000 millones serán desechados en el medio ambiente (Geyer, Jambeck, & Law, 2017). En la figura 9, se presenta la producción y disposición de residuos plásticos.

Figura 9

Producción y disposición de residuos plásticos (en millones de toneladas)



Nota. Producción y disposición de residuos plásticos (en millones de toneladas). Adaptado de Geyer et al. (2017)

Impacto Ambiental

El alto grado de contaminación que hay en la actualidad con los materiales plásticos es tan alta que ha llegado hasta los mares, estudios que se han realizado muestran que microplásticos de un tamaño de 0.1 μm a 5 mm ya se encuentra dentro del sistema digestivo de los peses y con esto también está presente en el agua (Chia et al., 2020). Otra publicación realizada por la unión europea muestra que de la cantidad total de plásticos enviados a vertederos, el 79% es transportado a los océanos, menos del 10% se recicla y el 12% se incinera (Pinto Da Costa, Rocha-santos, & Duarte, 2020), con esto se puede ver que la cantidad que se reutiliza es mínima y gran parte se va al basurero y otra contamina el aire por cuanto es incinerada esta emite gases nocivos, además otro estudio comprueba que la producción de los polímeros elaborados con petróleo también genera contaminación, porque al tener más demanda de estos productos se deben buscar más yacimientos de este combustible y con se talan bosques, se envenenan ríos y se suma la contaminación producida por los equipos de extracción (Comăniță, Hlihor, Ghinea, & Gavrilescu, 2016).

Continuando con la temática la producción de este tipo de compuesto está haciendo un daño irreversible y solo se puede detener encontrando nuevas tecnologías para contrarrestar el daño que se está haciendo.

Biopolímeros

Un polímero biodegradable es aquel que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental que estos materiales producen (Labeaga, 2018), con esto se puede decir que los biopolímeros son polímeros con la capacidad de degradarse con mayor rapidez a través de factores o agentes como el agua, temperatura o microorganismos y estos pueden ser naturales o sintéticos(Álvarez-da Silva, 2016); para que

ocurra esta degradación deben tener en su estructura polimérica compuestos con una derivación de sistemas biológicos como aminoácidos, azúcares, lípidos, entre otros (Babu, O'Connor, & Seeram, 2013; Vega, 2020)

Clasificación

Los biopolímeros se clasifican según su origen, pueden ser naturales, sintéticos, también cabe mencionar que se realizan mezclas entre estos polímeros creando nuevos polímeros según el requerimiento de los procesos, en la tabla 8, muestra los biopolímeros más conocidos y utilizados en la industria:

Tabla 8

Fuentes de elaboración de biopolímeros

Naturales	Proteínas	Colágeno Gelatina Gluten de trigo Proteína de soya
	Polisacáridos	Quitina/quitosano
	Almidón	Celulosa (acetato de celulosa) Alginato
	Origen bacteriano	PLA: ácido poliláctico PHA: polihidroxicanoatos PHB: polihidroxibutirato
Sintéticos biodegradables	Poliésteres alifáticos	PGA: poliglicólico PLA: ácido poliláctico PLGA: ácido poliglicólico PCL: policaprolactona PBAS: aucionato de polibutileno
	Poliésteres aromáticos	PBAT Ecoflex Biomax poliamidas poliuretanos polianhidridos
	Polímeros de vinilo	PVOH: alcohol polivinílico

Nota. Joana Rodriguez & Orrego (2016)

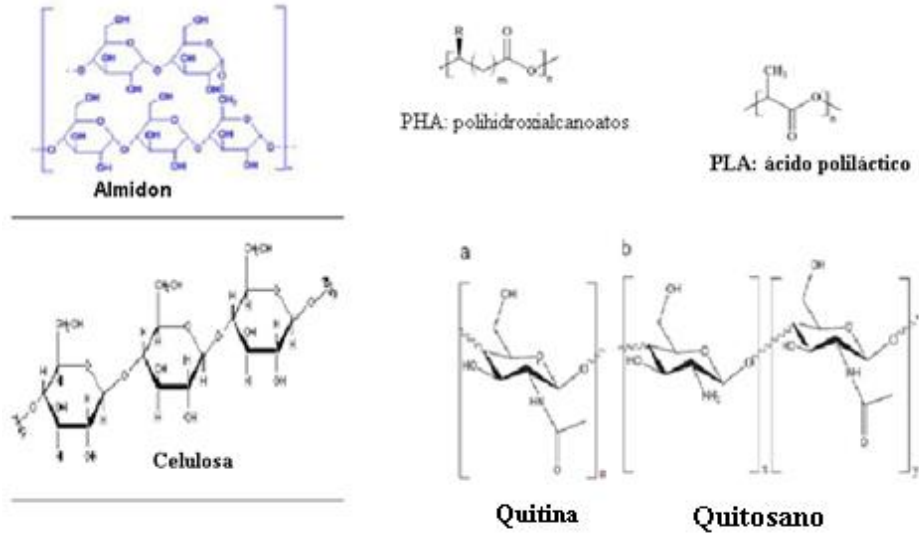
Estructura Química de los Biopolímeros

Al ser los biopolímeros una clase de polímeros también están conformados por la unión de varios monómeros para formar una cadena la cual va dar características específicas a este nuevo polímero, pero con la particularidad que su degradación va a ser más rápida en el medio ambiente; en el caso del almidón y la celulosa al ser polisacáridos están conformados por monosacáridos que están unidos por enlaces glucosídicos que le permiten formar compuestos con peso moleculares altos, lo cual da como resultados bioplásticos rígidos (Rosales, 2016); en el caso del ácido poliláctico que se genera a partir de la fermentación de la glucosa a ácido láctico y de ahí se polimeriza hasta llegar a lo que conocemos como ácido poliláctico el cual es también un polímero de alto peso molecular (Villada, Acosta, & Velasco, 2007)

Como se mencionó anteriormente la mayoría de los biopolímeros son de origen natural, actualmente se investigan y emplean tres tipos de biopolímeros: el almidón y celulosa que son extraídos de recursos renovables, ácidos polilácticos obtenido a partir de ácido láctico, y polihidroxicanoatos que son sintetizados por microorganismos (Siracusa, 2019), . Respecto a la estructura química de los compuestos con los que se elaboran los biopolímeros cumplen parcialmente con las características de los polímeros, y por ser de origen natural son susceptibles a factores como la humedad , su estructura tiende a ser rígida lo cual las vuelven frágiles y de difícil manejo al momento de darle forma, estos factores han provocado que se modifique en su estructura por medio de adición de otros aditivos que no generen reacciones adversas, también se realizan mezclas de biopolímeros para reforzar la falencias de los otros (Imre & Pukánszky, 2013). En la figura 10, se presenta la estructura de biopolímeros.

Figura 10.

Estructura de los biopolímeros.



Nota. Estructura de los biopolímeros. Adaptada de Imre & Pukánszky (2013); Labeaga, (2018)

Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Biopolímeros

Las características evaluadas a un biopolímero son iguales a las de un polímero, entre ellas están:

Prueba de Tracción. Es un proceso en donde se ejerce presión destructiva que proporciona información sobre la resistencia a la tracción, el límite elástico y la ductilidad del material.

Prueba de Flexión. la prueba de flexión mide la fuerza requerida para doblar una viga en condiciones de carga de tres puntos.

Prueba de Impacto. la prueba de impacto se utiliza explícitamente para evaluar la tenacidad, la fragilidad, la sensibilidad a las muescas y la resistencia al impacto de los materiales de ingeniería para resistir cargas de alta velocidad.

Prueba de Flexión. Se realizan para medir la deflexión y la resistencia a la flexión de los plásticos poliméricos reforzados con fibra.

Densidad. La densidad es uno de los factores más importantes para determinar las propiedades del material compuesto de polímero y se define como la masa del material por unidad de volumen (Saba et al., 2018).

Degradación de Biopolímeros a Través del Tiempo

La degradación de los biopolímeros está dada por dos factores que menciona Folino (2020), uno de ellos son los factores abióticos en los que están incluidos los rayos UV, temperatura, humedad, pH y están los factores bióticos (actividad microbiana), los cuales combinados permiten la degradación de los biopolímeros, este proceso permite romper la cadena de polímeros en compuestos de cadena más simples, y la mineralización de estos compuestos por la acción biológica de organismos como bacterias, hongos y algas, producen compuestos que no dañan al medio ambiente; además se han realizado investigaciones con diferentes biopolímeros mezclándolos con diferentes sustancias y ambientes para ver su procedimiento de degradación, mostrando resultados alentadores; pero se debe tener en cuenta que el diámetro y el calibre del biopolímero va afectar el tiempo de desintegración de este (Folino et al., 2020; N. Kumar et al., 2021; Ong & Sudesh, 2016; Wahyuningtyas & Suryanto, 2017)

Producción de Biopolímeros a Nivel Mundial

La producción de bioplásticos para el 2016 era de 4,6 millones de toneladas métricas por año distribuidas en envases y artículos de uso común Vandi (2018), con estos datos refleja que la producción de este tipo de producto biodegradable aún es bajo comparado con la producción de polímeros con base petroquímica que está en 7800 millones de toneladas métricas (Geyer et al., 2017).

Las tasas de crecimiento en la producción de bioplásticos para el 2011 fue del 10%, para el periodo de los 2014 al 2016 se mantuvo en un 4%, estos valores son muy bajos a las proyecciones esperadas, este comportamiento en la producción de biopolímeros se deben entre otras cosas el bajo precio del petróleo, ya que este es la materia prima para la realización del plástico convencional; otra causa que influye de manera fundamental en la baja producción de este tipo de material es la mala información que tiene la sociedad acerca de utilizar productos de este tipo, se basan en el hecho que la elaboración de estos puede generar daño al medioambiente, como deforestación, agotamiento de recursos entre otros, a esto se suma la falta de políticas que respalden la producción de productos biodegradables por parte de los gobiernos. Aún falta mucha conciencia social y políticas gubernamentales para el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan favorecer al medioambiente (Lackner, 2016). En la figura 11, se presenta los artículos elaborados con biopolímeros.

Figura 11.

Artículos elaborados con biopolímeros para el 2016.



*PEF. Está actualmente en desarrollo y producido para estar disponible en escala comercial en 2020.

Nota. Artículos elaborados con biopolímeros para el 2016. Adaptado de Vandi, (2018)

Continuando con el estudio que realizó Vandi (2018), la materia prima más utilizada para la fabricación de bioempaques son los almidones con un 10,3%, y le sigue los elaborados con ácido poliláctico (PLA) con un 5,1%, y sumados todos los materiales biodegradables utilizados en la industria suman aproximadamente un 20%, lo cual es un valor significativo en la última década, cabe resaltar en este estudio que la utilización de mezclas de insumos biodegradables en la elaboración de empaques plásticos es significativo como se puede ver en la figura 11, la utilización de poliuretano (PUR) que es un material muy utilizado en la elaboración de espumas y otros productos y también está el polietileno (PET), muy utilizado en la industria de bebidas como material de envase, cuenta con un 22,8% de participación en la producción de plásticos elaborados con insumos biodegradables.

Figura 12.

Capacidades de producción global de bioplásticos en el 2012.



Nota. Capacidades de producción global de bioplásticos en el 2012. Adaptado de Lackner (2016).

La figura 12, muestra las cantidades de material biodegradable y con base biodegradable utilizadas en diferentes sectores, se puede observar que materiales como Bio-PET, que es una mezcla de poliéster con compuestos biodegradables como un diol generados por la fermentación de la glucosa (Siracusa & Blanco, 2020); el cual es muy utilizado en la elaboración de botellas y con este la utilización del PLA, almidones y otras mezclas de materiales biodegradables, con respecto a los productos de consumo y servicios de catering suman 210 toneladas métricas, estas cifras son alusivas con la producción del año 2012, reportados por Lackner (2016), donde menciona que estas cantidades tienden a subir en los próximos años.

Impacto Ambiental

Los biopolímeros como se ha mencionado tiene un alto índice de degradación y biodegradación ya sea expuesto al medio ambiente o con ayuda de otros compuesto, además se han realizado estudios de Evaluación de ciclo de vida LCA (Life Cycle Assessment), que es una prueba avalada por la ISO, donde se demuestra la impacto que puede tener algún producto hacia el medio ambiente (Mercado et al. , 2017), otro estudio realizado por Weiss (2012), expone más pruebas LCA realizadas a bioempaques con resultados negativos en la producción de sustancias dañinas al medio ambiente; con esto, queda claro que la producción de materiales biodegradables para elaboración de artículos para empaacar alimentos o de uso frecuente es una opción que se podría tomar y con esto disminuir la producción de residuos plásticos que están llenando al planeta.

Análisis y Discusión del Uso de los Biopolímeros en la Industria de Alimentos en Colombia

La aplicación de biopolímeros en la industria alimentaria ha tomado fuerza, por la tendencia de consumir o adquirir productos orgánicos que sean amigables con el medio ambiente lo cual ha reactivado la exploración de nuevas tecnologías que puedan crear productos que logren reemplazar a los artículos de uso común elaborados con material fósil que tienen una degradación lenta. Estas innovaciones hasta el momento han arrojado el desarrollo de materiales de empaques para alimentos con resultados prometedores, entre ellos la reutilización de estos como material de compostaje, la degradación por vía microbiana en corto tiempo, la baja emisión de gases con efecto invernadero; utilizando almidones, proteínas, celulosa, algas entre otros, (Chia et al., 2020; Gahlawat, 2019; Rosales, 2016; Stoica et al. , 2020; Wahyuningtyas & Suryanto, 2017).

A continuación, en la tabla 9 se muestran diferentes investigaciones de bioplásticos elaborados con biopolímeros de origen natural.

Tabla 9.

Biopolímeros empleados para el desarrollo de bioplásticos

Recursos naturales	Pruebas realizadas	Conclusiones
Almidón de yuca ^a	Biodegradabilidad, vida útil, propiedades morfológicas, adsorción de humedad, microscopía electrónica de barrido (SEM)	La degradación se ve afectada por la cantidad de agua del producto, la humedad del medio, del oxígeno presente, a mayor concentración de glicerol mayor degradación del bioplástico.
Quitina, cáscara de coco, aceite de resino ^b	Propiedades físico-mecánicas, SEM, solubilidad, hinchamiento, biodegradabilidad	El biopolímero se degradó en 15 días en condiciones aerobias, la solubilidad es baja gracias a las propiedades del aceite de resino, lo cual es ideal para empaques de alimentos, la proporción ideal de los materiales son: quitina 60%, cáscara de coco 25%, aceite de resino 15%.
Almidón de papa ^{c,d}	Humedad, espesor, resistencia, determinación de la biodegradabilidad	La cantidad de amilosa presente en el almidón permite la combinación con el plastificante, la concentración del plastificante determinara las características de la película, como la solubilidad y las propiedades mecánicas.
Almidón de semillas de mango ^e	Espesor, densidad, absorción de agua, solubilidad, evaluación metodológica Green Star	El contenido de amilopectina presente en el almidón determina la solubilidad y el índice de absorción del bioplástico en este caso oscilaron entre el 64,6% y 71,5% respectivamente arrojando buenos resultados y con la metodología Green Star obtuvo un cumplimiento del 88%.
Almidón de malanga ^f	Análisis de dureza, humedad, densidad, flexibilidad y biodegradabilidad	La dureza fue baja y entra en la clasificación de plásticos blandos, la densidad obtenida es comparable con los plásticos convencionales, la flexibilidad no cumplió por ser muy frágil y se partía con facilidad, el bioplástico se degrado en 2 meses lo cual es positivo para este tipo de material.

Notas. Wahyuningtyas & Suryanto, (2017)^a; Seenuvasan, Malar, & Growther, (2021)^b; Charro, (2015)^c;

Kang, Won, Lee, & Min, (2015)^e; Ortiz Ramírez, (2019)^d; Rosales, (2016)^f

La producción de biopolímeros ha incrementado en la última década, para el 2015 la producción de bioplásticos llegó a 20 millones de toneladas, esto se debe a la presión ejercida por los diferentes gobiernos para la reducción de polímeros convencionales a base de petróleo, ya que la producción de este tipo de material para envasado de alimentos el 63% se convierte en desechos plásticos que acaban en los vertederos, por esto la aplicación de estas nuevas tecnologías para el envasado y empaquetado de alimentos a seguido avanzando y han surgido nuevos materiales que tienen muchas posibilidades de reemplazar a los polímeros convencionales, entre los cuales están los elaborados con ácido polilácticos (PLA) están a la cabeza en producción con el 10,9%, poliésteres biodegradables 10,8%, mezcla de almidón 9,4% y PHA con 3,6% y el mayor productor de bioplástico es Asia con el 63,1% (Arora, 2018), estos materiales se han estado aplicando como empaques flexibles para alimentos.

La producción de biopolímeros aún es baja pero con de tendencia a incrementar, aún quedan muchas aspectos por mejorar a nivel estructural, una mayor resistencia a la humedad, entre otras (Stoica et al., 2020), que con los avances tecnológicos se pueden lograr; con los bioplásticos falta mucho por investigar y descubrir, solo falta respaldo o apoyo por parte de los gobiernos haciendo leyes que restrinjan el uso de plásticos convencionales y promuevan el uso de materiales que sean amigables con el medio ambiente, también incentivar a las grandes industria la utilización de estos bioplásticos o materiales que sean biodegradables para así darle un mejor tratamiento a la generación de residuos sólidos.

En Colombia la producción de biopolímeros para uso en la industria de alimentos es baja se han realizado ensayos con almidones y harinas de algunos alimentos; las empresas representativas en la elaboración de este tipo de productos en el país son: Greenpack S.A.S. el biopolímero que utilizan es el PLA extraído del maíz, Empresa Colombiana de bioplásticos SAS,

fabricación de plásticos en formas primarias, Seed pack elabora empaques para alimentos con compuestos ecológicos que son amigables con el medio ambiente; durante la realización de esta revisión no se encontraron estudios que indiquen las cantidades de productos biodegradables elaborados en el país. El panorama aún es sombrío en cuanto a la implementación de este tipo de tecnologías, la normativa existe, pero aún falta más apoyo por parte del estado.

Oportunidades del Uso de los Biopolímeros en la Industria de Alimentos

Disminución del Impacto Ambiental

Con la utilización de biopolímeros en la industria de alimentos, los efectos sobre el medio ambiente se verían reflejados en la degradación de estos en un menor tiempo, esto se debe a que los biopolímeros son susceptibles a la temperatura y humedad, algunos de estos son fotosensibles lo cual es una ventaja ya que en la actualidad muchos de estos productos son desechados en la intemperie, por lo cual, si se reemplazan por bioplásticos se degradarían en sustancias que se encuentran en el medio ambiente como lo son dióxido de carbono (CO₂) y agua por el efecto de estos factores antes mencionados (Polman et al., 2021), también cabe mencionar otra ventaja en utilizar este tipo de material es la capacidad de convertirse en compostaje para los cultivos, por lo que se ha mencionado la capacidad de degradación o mineralización lo cual proporciona minerales que fortalecen al suelo en donde se va a cultivar (Ballesteros, 2014).

Otro factor importante es la disminución del gasto de energía no renovable en la producción de biopolímeros y además la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, lo cual es un problema en el que se ha venido trabajando para buscar alternativas para la reducción o no emisión de estos, estudios demuestran que con la producción de biopolímeros se estaría ahorrando 316 Mt de CO₂ por año si se sustituye el 65,8% de plásticos convencionales (Brizga, Hubacek, & Feng, 2020), con esto se demuestra que hay factores y variables positivos para la

producción de estos materiales lo cual permite seguir promocionando estas nuevas tecnologías que pueden dar un alivio y reducir el daño que se ha provocado con los polímeros de base fósil.

Aprovechamiento de Subproductos

Según la FAO (2011) el desperdicio por año son 1300 billones de toneladas de comida y eso equivale al 33% a toda la oferta mundial, dentro de este porcentaje un 20% es de raíces y tubérculos, un 19% es de cereales; con referente a Colombia el DNP (2016) realizó un estudio donde mencionó que la oferta nacional disponible de alimentos es de 28,5 millones de toneladas, 9,76 millones de toneladas se desperdician de este valor equivale al 34% del valor total, además de esto alrededor de 6 millones de toneladas de alimentos se pierden la etapa de producción cosecha y almacenamiento; dentro de estas cifras el desperdicio las raíces y tubérculos tienen 25% y los cereales un 8%, se hace énfasis en este grupo de alimentos porque estos contienen una materia prima como lo es el almidón la con la que se elaboran biopolímeros.

Las cantidades mencionadas son elevadas y al saber que más de la mitad de estos desperdicios se generan en las etapas primarias de la cadena de producción, se debería aprovechar todo esto en la generación de nuevos productos entre los cuales están los bioplásticos y con esto se estaría generando nuevos ingresos a los empresarios que descartan estos subproductos que terminan como compostajes cuando son tratados correctamente o solo los descartan en los vertederos o en campo abierto; aprovechar estos recursos se estaría generando nuevas alternativas sostenibles para el medioambiente y además se producirían nuevas fuentes de empleo para la comunidad.

Identificación de los Biopolímeros de Almidón de Papa Aplicados en la Industria de Alimentos en Colombia

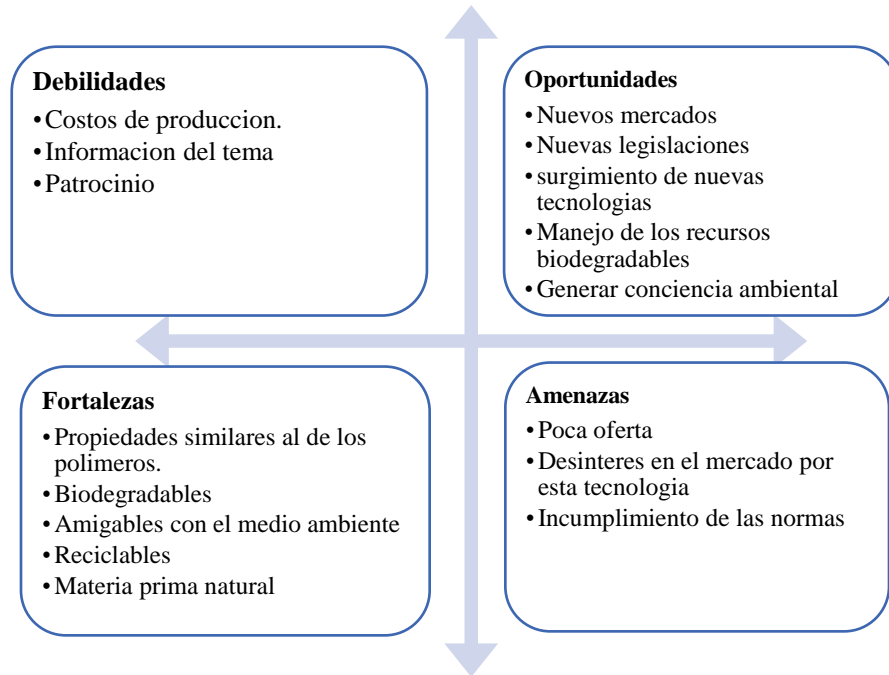
En Colombia la producción de biopolímeros elaborados con almidón de papa es baja, se han realizado varios estudios y ensayos utilizando este material con resultados prometedores entre los cuales está el realizado por Morales (2018), donde utiliza el material de desecho de las cosechas de papa en el departamento de Boyacá, al igual que Acosta (2018), en el departamento de Nariño donde evaluó la calidad de un bioplástico elaborado con 5 variedades de papa y reportó que el material obtenido tenía aspectos a mejorar, pero que estos se pueden corregir al seguir investigando e innovando con otros aditivos. Como se puede observar la elaboración de biopolímeros con esta materia prima solo se ha realizado en laboratorios con resultados positivos en su aplicabilidad como material de empaque en alimentos.

A nivel nacional el desarrollo de este tipo de materiales se ha detenido por la falta de patrocinio por parte del estado y las grandes empresas, porque en el país se cuenta con la tecnología, la maquinaria, el personal capacitado y la materia prima para la elaboración de estas; además de lo mencionado en el país se cuenta con leyes ambientales que permiten que la elaboración de estos productos sea una obligación y es aquí cuando las autoridades deben hacer cumplir estas normas y además crear la oportunidad en el mercado, dado que la tendencia al uso de materiales amigables con el medio ambiente se está presentando a nivel mundial, sería una puerta a mercados internacionales que tienen como norma la utilización de estos materiales biodegradables.

A continuación, se presenta en la figura 13, un análisis DOFA de biopolímeros a base de almidón de papa, presentando las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas como alternativa de aplicación en la industria de alimentos en Colombia.

Figura 13

Matriz DOFA de biopolímeros a base de almidón de papa como alternativa de aplicación en la industria de alimentos en Colombia.



Nota. Matriz DOFA de biopolímeros a base de almidón de papa como alternativa de aplicación en la industria de alimentos en Colombia. Fuente: autoría propia

La opción de elaborar bioplásticos utilizando almidón de papa como biopolímeros brinda algunas ventajas significativas como se muestra en la matriz DOFA, entre las cuales está la oportunidad de abrir nuevos mercados, porque existe una nueva tendencia de utilizar materiales biodegradables y se están imponiendo como norma en otros países, además de esto también se estaría dando un mejor manejo a los recursos biodegradables que cuenta el país y con esto se empezaría a establecer una conciencia ambiental, fortaleciendo el reciclaje al utilizar artículos elaborados con materia prima naturales.

También cabe mencionar que la aplicación de estas nuevas tecnologías implica retos que son superables, entre los cuales están los costos de producción que sobrepasan a la producción de plásticos convencionales, además está la poca propaganda que se le da a este tipo de materiales por la falta de patrocinio de sectores de la industria que son los principales consumidores de artículos de plásticos para sus operaciones; otra amenaza que se presenta para este producto es el desinterés que muestra el mercado por este tipo de material, porque se cuenta con leyes que promueven el uso de este tipo de material y las ventajas que tiene pero en la actualidad no se están promoviendo ni haciéndose cumplir; por eso es necesario seguir realizando ensayos y estudios para demostrar que este tipo de materiales hacen parte de la solución para enfrentar este problema de la contaminación por plásticos no degradables.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Mediante la revisión bibliográfica se encontró que Colombia siembra papa en promedio 129 mil hectáreas por año, al considerar los valores reportados por el Ministerio de Agricultura para el año 2018 y 2019. Se cuenta con una alianza entre productores de papa en el país conocida como FEDEPAPA, al brindar información exacta de las cifras que se manejan en la actualidad de este producto agrícola en el país, información importante para hacer cálculos más certeros de producción, exportación, y pérdidas postcosecha por no cumplir con los estándares del mercado, cifras importantes para promover investigación y aprovechamiento de subproductos como el almidón.

En Colombia la producción de polímeros convencionales para el 2017 fue de 86 mil toneladas aproximadamente, y se le suma el mal manejo que se le da cuando son desechados; hace que surja necesidad de crear nuevas tecnologías para elaborar materiales biodegradables y así brindar alternativas que ayuden a reducir la contaminación por plástico.

Elaborar bioplástico con almidón de papa pueden ser una alternativa viable para la industria de alimentos en Colombia, sin embargo, depende de las mezclas con otros plastificantes, debido a las características propias del almidón dado que su índice de absorción de agua es alto e influye en la textura, al ser necesario añadir aditivos que mejore su aspecto como la firmeza, característica fundamental en películas y materiales de empaque.

El potencial que tiene la implementación de esta nueva tecnología en el país como es la elaboración de bioplásticos con almidón de papa para la industria de alimentos son positivas, porque no solo se estaría dando un nuevo uso a este alimento que está en los tres primeras casillas en consumo, sino que se está aprovechando en mayor porcentaje la producción de este,

porque se utilizaría el producto de descarte de la cosecha para elaborar almidón, y dado que las importaciones de papa procesada han aumentado en 7% para el 2019 esto ha bajado la cantidad de hectáreas cultivadas en el país y en vista a esto si se implementa estos nuevos procesos se generaría más empleo con la creación de nuevas empresas, todo esto si se cuenta con el respaldo por parte del estado en la promoción, la utilización de este tipo de material y con la exigencia del cumplimiento de las normas vigentes, se estaría promoviendo una cultura que es más amigable con el medio ambiente.

Recomendaciones

El estado de arte sobre la implementación de este tipo de biopolímeros en alimentos es amplio y se cuenta con el respaldo científico para seguir mejorando las características de estos y así empezar a sustituir los polímeros convencionales utilizados en alimentos

Se debe realizar la divulgación y promoción de este tipo de tecnologías, porque en la actualidad solo se cuenta con la información sobre el daño que está provocando el mal manejo que se le da a los residuos plásticos en el medio ambiente.

Un factor clave para promover este tipo de emprendimiento es mayor apoyo por parte del gobierno a nivel económico y siendo más riguroso en el cumplimiento de la normativa existente para el desarrollo de estas nuevas alternativas para reducir el impacto negativo al medio ambiente.

A nivel informativo esta revisión sirve como base de datos bibliográficos para las personas que estén interesadas en el desarrollo de empaques de alimentos biodegradables con almidón de papa.

Referencias Bibliográficas

- Abbasi, K. S., Qayyum, A., Mehmood, A., Mahmood, T., Khan, S. U., Liaquat, M., ... Ahmad, A. (2019). Analysis of selective potato varieties and their functional assessment. *Food Science and Technology*, 39(2), 308–314. <https://doi.org/10.1590/fst.26217>
- Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., & Valenzuela, F. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura*, 01(Bionatura Conference Serie). <https://doi.org/10.21931/rb/cs/2018.01.01.2>
- Acosta, W., & Rios, M. (2018). *ELABORACIÓN DE EMPAQUES PLÁSTICOS BIODEGRADABLES POR PARTE DE LA EMPRESA PRODIPOL & CÍA. LTDA., PARA SU POSTERIOR EXPORTACIÓN A MÉXICO*. 15(40), 6–13. Retrieved from http://awsassets.wfnz.panda.org/downloads/earth_summit_2012_v3.pdf<http://hdl.handle.net/10239/131>[https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion para el aprendizaje Perspectiva alumnos.pdf](https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion_para_el_aprendizaje_Perspectiva_alumnos.pdf)<https://www>
- Alarcón Cavero, H. A., & Arroyo Benites, E. (2016). Evaluación De Las Propiedades Químicas Y Mecánicas De Biopolímeros a Partir Del Almidón Modificado De La Papa. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(3), 315–323. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i3.92>
- Álvarez-da Silva, L. (2016). Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxicanoatos. *Universidad de Sevilla*, 38.
- Aristizabal, J., & Sanchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. 49–57.

- Arora, S. (2018). Biopolymers as packaging material in food and allied industry Value addition of makhana and its by-products View project. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 2411–2418. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/342765641>
- Babu, R. P., O'Connor, K., & Seeram, R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8>
- Ballesteros, L. (2014). *Los Bioplasticos como alternativa verde y sostenible de los plasticos basados en petroleo.*
- Beltran, M. (2011). *Tema 1. estructura y propiedades de los polímeros.* 1–42.
- Bertoft, E., Annor, G. A., Shen, X., Rumpagaporn, P., Seetharaman, K., & Hamaker, B. R. (2016). Small differences in amylopectin fine structure may explain large functional differences of starch. *Carbohydrate Polymers*, 140, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.025>
- Brizga, J., Hubacek, K., & Feng, K. (2020). The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water. *One Earth*, 3(4), 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.004>
- Bustillos-Rodríguez, J. C., Tirado-Gallegos, J. M., Ordóñez-García, M., Zamudio-Flores, P. B., Ornelas-Paz, J. de J., Acosta-Muñiz, C. H., ... Rios-Velasco, C. (2019). Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches. *Food Science and Technology*, 39(1), 149–157. <https://doi.org/10.1590/fst.28117>
- Cai, J., Man, J., Huang, J., Liu, Q., Wei, W., & Wei, C. (2015). Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. *Carbohydrate Polymers*, 125, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.067>

- Capuano, E., & Burny, J. (2008). The potato. *Green Europe: Newsletter, Common Agricultural Policy*, 222. <https://doi.org/10.1126/science.45.1167.462-a>
- Çelik, A., Yaman, H., Turan, S., Kara, A., Kara, F., Zhu, B., ... Dutta, D. (2018). POLYMERS. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252><http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001>
- CFIA. (1997). The Biology of *Solanum tuberosum* (L. Linnaeus) (Potatoes). *Plant Biosafety Office, December*(5), 1–8. Retrieved from <https://www.inspection.gc.ca/plant-health/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/solanum-tuberosum-1-eng/1330982063974/1330982145930#a26>[http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-](http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/solanum-tuberosum-1-eng/1330982063974/1330982145930#a26)
- Charro, M. (2015). *Obtencion de plastico biodegradable a partir de almidon de patata*. 2015. Retrieved from <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Chia, W. Y., Ying Tang, D. Y., Khoo, K. S., Kay Lup, A. N., & Chew, K. W. (2020). Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100065>
- Clínica Jurídica de Medio Ambiente Y salud publica (MASP); Greenpeace Colombia. (2019). Situación actual de Colombia y su impacto en el medio ambiente. *Green Peace*, 14. Retrieved from http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf
- Comăniță, E. D., Hlihor, R. M., Ghinea, C., & Gavrilesco, M. (2016). Occurrence of plastic waste

in the environment: Ecological and health risks. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(3), 675–685. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.073>

Díaz Barrera, Y. (2015). *Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/decongelación del almidón de cuatro variedades de solanum tuberosum ssp. andigenum (papa nativa)*. 1–39. Retrieved from [http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/213/19-2015-EPIA-DiazBarrera -Determinación de propiedades de variedades de papa nativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/213/19-2015-EPIA-DiazBarrera-Determinación%20de%20propiedades%20de%20variedades%20de%20papa%20nativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

DNP. (2016a). Documento CONPES 3874. Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos. *Consejo Nacional de Política Económica y Social República De Colombia. Departamento Nacional De Planeación (DNP)*, 1–73. Retrieved from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>

DNP. (2016b). Pérdida y Desperdicio de alimentos en colombia. *Ria*, 39, 116.

Empresarial, V. D. E. F. (2015). *Manual papa*. 1–54.

FAO. (2008). *El Año Internacional de la Papa 2008 Las papas , la nutrición y la alimentación*.

FAO. (2011). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. In *Nucleus* (Vol. 25). Retrieved from <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiSibrS2KXKAhVH1h4KHT9qBnAQFggjMAE&url=http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835629.pdf&usq=AFQjCNF3btvIR4OMtzYXBPmSEYNxulUBzQ&bvm=bv.111396085,d.dmo%5Cnht>

Fedepapa. (2020). Nuestros Héroes del Campo no paran frente al COVID-19. *Revista Papa*, (50).

Retrieved from <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/04/REVISTA-50-completa-2.pdf>

Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P. S., & Komilis, D. (2020). Biodegradation of wasted bioplastics in natural and industrial environments: A review. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(15), 1–37. <https://doi.org/10.3390/su12156030>

Gahlawat, G. (2019). *Production Strategies for Commercialization of PHA*.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-33897-8_4

Garnica, A. M., Romero, A. R., Cerón, M. D. S., & Prieto Contreras, L. (2010). Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* l. subespecie andigena) para la industria de alimentos. *Revista Alimentos Hoy*, *19*(21), 3–15. Retrieved from

<http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/1/10>

Getor, R. Y., Mishra, N., & Ramudhin, A. (2020). The role of technological innovation in plastic production within a circular economy framework. *Resources, Conservation and Recycling*, *163*(August). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105094>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made.

Science Advances, *3*(7), 25–29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Giovanna Mercado, Martha Dominguez, Israel Herrera, & Rosa María Melgoza. (2017). Are

Polymers Toxic? Case Study: Environmental Impact of a Biopolymer. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, *6*(3). [https://doi.org/10.17265/2162-](https://doi.org/10.17265/2162-5263/2017.03.002)

[5263/2017.03.002](https://doi.org/10.17265/2162-5263/2017.03.002)

- Gómez-Aldapa, C. A., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-Rosas, J., Jiménez-Regalado, E. J., & Aguirre-Loredo, R. Y. (2020). Characterization of Functional Properties of Biodegradable Films Based on Starches from Different Botanical Sources. *Starch/Staerke*, 72(11–12). <https://doi.org/10.1002/star.201900282>
- Gómez, M., Galicia, T., Márquez, R., Quintero, A., Gutierrez, N., Salmerón, I., ... Estrada, I. (2015). CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y TÉRMICA DE ALMIDON DE ARROZ EN EL DESARROLLO DE UN MATERIAL DE PARED PARA SU USO EN MICROENCAPSULACIÓN Resumen Introducción Metodología Resultados y Discusiones. *Memorias de Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria*, (1), 122–127. Retrieved from [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1351/1/2015 Memoria Artículo CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y TÉRMICA DE ALMIDON DE ARROZ.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1351/1/2015%20Memoria%20Articulo%20CARACTERIZACION%20FISICOQUIMICA%20Y%20TÉRMI%20CA%20DE%20ALMIDON%20DE%20ARROZ.pdf)
- Gonzalez, J. C. (2018). Análisis comparativo de los métodos húmedo y alcalino en la extracción de almidón de semillas de *Amaranthus quitensis* L. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 21(41), 35–44.
- Gutierrez, R. (2016). *Caracterizacion morfologica y biometrica de hojas y flores de papas nativas (Solanum sp.) cultivadas en la region de pasco*. 100.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>

- Hohn, S., Acevedo-Trejos, E., Abrams, J. F., Fulgencio de Moura, J., Spranz, R., & Merico, A. (2020). The long-term legacy of plastic mass production. *Science of the Total Environment*, 746. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141115>
- Imre, B., & Pukánszky, B. (2013). Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *European Polymer Journal*, 49(6), 1215–1233. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019>
- Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (2016). Botánica y morfología de la papa. *Manual de Papa Para La Araucanía*, 1, 7–13.
- J Gonzalez, S Godoy, A Jara, L. P. (2020). *Extracción de almidón de malanga blanca, una alternativa socioambiental para la producción de bases poliméricas biodegradables.pdf*.
- Joana Rodriguez, Lady, & Orrego, C. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. *Revista Científica*, (0124 2253), 1–13. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9>
- Kang, H. J., Won, M. Y., Lee, S. J., & Min, S. C. (2015). Plasticization and moisture sensitivity of potato peel-based biopolymer films. *Food Science and Biotechnology*, 24(5), 1703–1710. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0221-x>
- Karmakar, R., Ban, D. K., & Ghosh, U. (2014). Comparative study of native and modified starches isolated from conventional and nonconventional sources. *International Food Research Journal*, 21(2), 597–602.
- Kumar, N., Anil, N., Hazarika, D., Bhagabati, P., Kalamdhad, A., & Katiyar, V. (2021). *Biodegradation and characterization study of compostable PLA bioplastic containing algae*

biomass as potential degradation accelerator. 3(February).

Kumar, R., & Khatkar, B. S. (2017). Thermal, pasting and morphological properties of starch granules of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2403–2410. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2681-x>

Labeaga, A. (2018). Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. *Files.Bartolomevazquezbernal*. ..., 1–50.

Lackner, M. (2016). Biopolymers. *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*, 1–4(October), 1–3331. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14409-2>

Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). *Influencia De La Sustitución Parcial De Trigo Por Harina De Quinoa Y Papa En Las Propiedades Termomecánicas Y De Panificación De Masas*
Influence of the Partial Substitution of Wheat Flour for Quinoa and Potato Flour on the Thermomechanical and Breadmaking. 199–207.

Lim, T. K., & Lim, T. K. (2016). *Solanum tuberosum*. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*, 12–93. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26065-5_2

Lizarazo H., S. P., Hurtado R., G. G., & Rodríguez C., L. F. (2015). Caracterización fisicoquímica y morfológica del almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.) como materia prima con propósito de obtención de bioetanol. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 244–252.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.47239>

Ma, Y., Zhang, W., Pan, Y., Ali, B., Xu, D., & Xu, X. (2021). Physicochemical, crystalline characterization and digestibility of wheat starch under superheated steam treatment. *Food Hydrocolloids*, 118(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106720>

- Minagricultura. (2019). *Cadena de la papa. indicadores e instrumentos*.
<https://doi.org/10.17533/udea.le.n52a4904>
- Minambinte. (2013). *Diagnostico Nacional de Salud Ambiental*. (2040).
- Mogrovejo, A. (2019). Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad amarilla. *Universidad Politécnica Salesiana*. Retrieved from
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>
- Morales, A. (2018). Analisis , Riesgos Y Oportunidades Biopolimeros. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1–161.
- Moreno Mendoza, J. D. (2000). *Variedades de papas cultivadas en Colombia*. Retrieved from
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1633>
- Navarre, R., & Pavek, M. (2014). *The Potato botany, production and uses*.
- Octavio, J., & Denis, I. (2017). Tendencia del crecimiento en la cultura del reciclaje. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3(10), 48–56. Retrieved from
http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol3num10/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V3_N10_6.pdf
- Ong, S. Y., & Sudesh, K. (2016). Effects of polyhydroxyalkanoate degradation on soil microbial community. *Polymer Degradation and Stability*, 131, 9–19.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.06.024>
- Ortiz Ramírez, M. A. (2019). Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (mangifera indica) con aplicación potencial en envases. *Repositorio Institucional*

Universidad El Bosque, 7–97. Retrieved from
<https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2106>

Ovchinnikova, A., Krylova, E., Gavrilenko, T., Smekalova, T., Zhuk, M., Knapp, S., ... Rodriguez, F. (2016). Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: Solanaceae). *Green Europe: Newsletter, Common Agricultural Policy*, 222(December 2016), 1–28.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00001-7>

Peña, C. B. (2015). *Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en Solanum tuberosum grupo Phureja*. 149. Retrieved from
[http://bdigital.unal.edu.co/50055/1/Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en Solanum tuberosum grupo Phureja Final.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/50055/1/Evaluación%20del%20contenido%20nutricional%20y%20actividad%20antioxidante%20en%20Solanum%20tuberosum%20grupo%20Phureja%20Final.pdf)

Pereyra, Florencia; Cambra, M. (2018). Obtención y caracterización de almidón químicamente modificado de arroz. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1–12.

Pinto Da Costa, J., Rocha-santos, T., & Duarte, A. C. (2020). *The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures - Requested by the PETI committee. European Union - PE 658.279*. (October), 1–72.

Polman, E. M. N., Gruter, G. J. M., Parsons, J. R., & Tietema, A. (2021). Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review. *Science of the Total Environment*, 753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141953>

Posada Bustamante, B. (2018). La degradacion de los plasticos. *Resvista Universidad Eafit*. Retrieved from <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1408/1280/>

- raj, N., Dalal, N., Bisht, V., & Dhakar, U. (2020). Potato Starch: Novel Ingredient for Food Industry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 1718–1724. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.190>
- Rajmohan K., S., C, R., & Varjani, S. (2019). Plastic pollutants: Waste management for pollution control and abatement. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.08.006>
- Rodrigues, N. H. P., de Souza, J. T., Rodrigues, R. L., Canteri, M. H. G., Tramontin, S. M. K., & de Francisco, A. C. (2020). Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.). *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/app10072235>
- Rodríguez, L. E. (2010). Origins and evolution of cultivated potato. *Agronomia Colombiana*, 28(1), 9–17.
- Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación.*
- Saba, N., Jawaid, M., & Sultan, M. T. H. (2018). An overview of mechanical and physical testing of composite materials. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00001-1>
- Salih, S. E. (2010). Classification of polymeric materials. In *Polymers Engineering* (pp. 1–13).
- Samer, M., Khalefa, Z., Abdelall, T., Moawya, W., Farouk, A., Abdelaziz, S., ... Mohamed, M. (2019). Bioplastics production from agricultural crop residues. *Agricultural Engineering*

International: CIGR Journal, 21(3), 190–194.

- Samir, S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-sheekh, M., Abdelkarim, E. A., ... Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment : A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment Journal*, 771.
- Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101(4), 1499–1507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.060>
- Seenuvasan, M., Malar, C. G., & Growther, L. (2021a). Production of a biopolymer film from biological wastes and its statistical analysis. *Science of the Total Environment*, 753(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109327>
- Seenuvasan, M., Malar, C. G., & Growther, L. (2021b). Production of a biopolymer film from biological wastes and its statistical analysis. *Bioresource Technology Reports*, 13(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100610>
- Sharmila, G., Muthukumaran, C., Kumar, N. M., Sivakumar, V. M., & Thirumarimurugan, M. (2020). Food waste valorization for biopolymer production. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Resource Recovery from Wastes*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00012-4>
- Siracusa, V. (2019). Microbial degradation of synthetic biopolymers waste. *Polymers*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/polym11061066>
- Siracusa, V., & Blanco, I. (2020). Bio-polyethylene (Bio-PE), Bio-polypropylene (Bio-PP) and

- Bio-poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent developments in bio-based polymers analogous to petroleum-derived ones for packaging and engineering applications. *Polymers*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/APP10155029>
- Sivakanthan, S., Rajendran, S., Gamage, A., Madhujith, T., & Mani, S. (2020). Antioxidant and antimicrobial applications of biopolymers: A review. *Food Research International*, 136(May). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109327>
- Soto Izarra, R. D., & Yantas Huaynate, P. E. (2012). Evaluación de la calidad del almidón obtenido de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Jauja. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10–11.
- Stoica, M., Marian Antohi, V., Laura Zlati, M., & Stoica, D. (2020). The financial impact of replacing plastic packaging by biodegradable biopolymers - A smart solution for the food industry. *Journal of Cleaner Production*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124013>
- Suquilanda, M. B. (2009). *Producción orgánica de cultivos andinos*. 126, 199. Retrieved from http://www.mountainpartnership.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf
- Vandi, L. J., Chan, C. M., Werker, A., Richardson, D., Laycock, B., & Pratt, S. (2018). Wood-PHA composites: Mapping opportunities. *Polymers*, 10(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym10070751>
- Vega, O. (2020). *Biopolímeros , definiciones , caracterización y aplicaciones Resumen*. (July).
- Vera Bravo, A. F., & Chavarría Chavarría, M. A. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*,

10(2), 26–34. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550>

Villada, H., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolymers naturals used in biodegradable packaging. *Journal of the American Chemical Society*, 12(4), 5–13. Retrieved from <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/documentos/12-2/122-1.pdf>

Wahyuningtyas, N., & Suryanto, H. (2017). Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 24–31. <https://doi.org/10.17977/um016v1i12017p024>

Weiss, M., Haufe, J., Carus, M., Brandão, M., Bringezu, S., Hermann, B., ... Patel, M. K. (2012). *Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials This is the accepted version of the following article : Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials. 16.*

Wnek, G. (2015). *Polymers*. (October). <https://doi.org/10.1081/E-EBBE>

Yoon, M.-R., Chun, A.-R., Oh, S.-K., Hong, H.-C., Choi, I.-S., Lee, J.-H., ... Kim, Y.-G. (2012). Physicochemical Characteristics of Starches in Rice Cultivars of Diverse Amylose Contents. *Korean Journal of Crop Science*, 57(3), 226–232. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2012.57.3.232>

Zárate Polanco et al, L. (2016). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.37066/ralap.v18i1.206>

Zhang, C., Lim, S. T., & Chung, H. J. (2019). Physical modification of potato starch using mild heating and freezing with minor addition of gums. *Food Hydrocolloids*, 94(November 2018), 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.027>

Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021).

Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>