

TRANSFORMANDO EL BAGAZO EN VALOR: DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA BIOPLÁSTICO DE CAÑA DE AZÚCAR

Fecha de aceptación: 01/07/2024

Siro Tagliaferro

Ingeniero de Producción (2012)
Universidad Metropolitana de Caracas,
MBA (2016)
IESA, Ciencia de Datos (2022) UCV,
profesor de tiempo completo en la
Universidad Metropolitana de Caracas
con más de 5 años de experiencia en
Ingeniería de Producción

Gabriel Enrique De Santis Ottati

Ingeniero de Producción (2023)
Universidad Metropolitana de Caracas

María Virginia Temprano Socorro

Ingeniero de Producción (2023)
Universidad Metropolitana de Caracas

RESUMEN: El bagazo de caña de azúcar, un residuo abundante en la industria azucarera venezolana presenta un gran potencial para la producción de bioplásticos sostenibles. El diseño de una planta para tal fin permitiría la diversificación industrial, la valorización de residuos y la generación de productos ecológicos. El proceso comprende el pretratamiento del bagazo, molienda y desfibrado, extracción y purificación de celulosa, modificación de la celulosa, polimerización, moldeado y

extrusión del bioplástico. La capacidad de producción, la tecnología de procesamiento, la disponibilidad de materia prima, el impacto ambiental y la viabilidad económica son factores cruciales en el diseño de la planta. Venezuela posee las condiciones necesarias para prosperar en la industria del bioplástico a partir de bagazo de caña de azúcar, gracias a la disponibilidad de materia prima, la experiencia en el sector agroindustrial y la creciente demanda de productos sostenibles. El desarrollo de esta industria puede contribuir al crecimiento económico del país, la creación de empleos y la reducción del impacto ambiental asociado a los plásticos tradicionales y la combustión del bagazo.

PALABRAS CLAVE: bagazo de caña de azúcar, bioplástico, diseño de plantas, Venezuela, sostenibilidad.

TRANSFORMING BAGASSE INTO VALUE: DESIGN OF AN INDUSTRIAL PLANT FOR SUGARCANE BIOPLASTIC

ABSTRACT: Sugar cane bagasse, an abundant waste in the Venezuelan sugar industry, presents great potential for the production of sustainable bioplastics. The

design of a plant for this purpose would allow industrial diversification, waste recovery and the generation of ecological products. The process includes the reception and pretreatment of bagasse, grinding and shredding, extraction and purification of cellulose, cellulose modification, polymerization, molding and extrusion of the bioplastic. Production capacity, processing technology, raw material availability, environmental impact and economic viability are crucial factors in plant design. Venezuela has the necessary conditions to prosper in the bioplastic industry from sugarcane bagasse, thanks to the availability of raw materials, experience in the agro-industrial sector and the growing demand for sustainable products. The development of this industry can contribute to the economic growth of the country, the creation of jobs and the reduction of the environmental impact associated with traditional plastics and the combustion of bagasse.

KEYWORDS: sugarcane bagasse, bioplastic, plant design, Venezuela, sustainability

INTRODUCCIÓN

El panorama actual del plástico es alarmante. Su consumo global se encuentra en un auge desenfrenado, impulsando la aparición de innumerables empresas que explotan sus ventajas en diversos productos, desde envases de alimentos hasta utensilios, bolsas de basura y una amplia gama más. Sin embargo, este crecimiento desenfrenado ha traído consigo graves consecuencias para el medio ambiente.

La pandemia por COVID-19 exacerbó aún más la problemática. El uso y desecho de plásticos se disparó, evidenciando un nuevo problema: como resultado, millones de mascarillas, guantes y empaques de alimentos contaminados terminaron dispersos en ecosistemas vulnerables, sin posibilidad de ser reutilizados o reciclados.

Ante este escenario desolador, surge la imperiosa necesidad de encontrar soluciones alternativas sostenibles. Es aquí donde nuestro proyecto cobra relevancia. Se propone una solución parcial a la contaminación plástica excesiva mediante la implementación de un proceso productivo innovador. Este proceso aprovecha los residuos de la caña de azúcar, específicamente el bagazo, un material que actualmente se quema, pero que gracias a sus propiedades, puede transformarse en un reemplazo viable para los plásticos de uso cotidiano a través de una serie de procesos químicos y físicos.

No sólo se mitiga el impacto ambiental del plástico, sino que también abre un abanico de posibilidades económicas y sociales. La valorización del bagazo de caña de azúcar impulsa la economía circular, generando nuevas fuentes de empleo y oportunidades de negocio en zonas rurales. Además, contribuye a la independencia energética al reducir la dependencia de los combustibles fósiles utilizados en la producción de plásticos tradicionales.

En definitiva, este proyecto representa un paso crucial hacia un futuro más sostenible, donde la armonía entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente sea una realidad.

ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DEL MERCADO

El punto de partida inicial se determinó utilizando formularios con una serie de preguntas referentes a la compra y consumo de variados productos de uso diario que están hechos de plásticos

Con el fin de evaluar el comportamiento del mercado frente al producto propuesto para su producción, se realizó una encuesta que ilustraba el panorama general del conocimiento de los encuestados en base a un producto bioplástico.

DESARROLLO DEL ESTUDIO TÉCNICO

Una vez realizado el estudio de las encuestas entregadas por los usuarios dentro del mercado, se procede a estimar una producción capaz de suplir con la demanda evidenciada y así seleccionar la maquinaria adecuada, calcular la capacidad productiva y poder establecer la localización estratégica de la planta.

LOGÍSTICA INVERSA

A través de la metodología 11 Rs se plantea la recepción del bagazo desechado por la industria agrónoma para proceder a realizar un producto con características de biodegradabilidad y sostenibilidad.

ESTUDIO DE MERCADO

Para realizar el estudio de mercado se tuvo que encuestar a los potenciales clientes del producto, a través de Google Forms de la cual se obtuvieron 403 respuestas satisfactoriamente. Del siguiente formulario se obtuvo información acerca de los distintos usuarios interesados, al igual que del conocimiento que poseen respecto del producto que será entregado. El tamaño de muestra establecido para que los datos obtenidos fueran representativos de la población fue de 385 personas, según el cálculo por la web de Netquest (2022), por lo que el muestreo del mercado se realizó con éxito y se tiene suficiente sustento para proceder a estudiar las características de la población y sus necesidades. El formulario realizado servirá para segmentar a las personas según sus intereses y determinar el mercado potencial o meta con énfasis en los municipios que conforman Caracas, Venezuela.

ANÁLISIS DE ENCUESTAS

Para llevar a cabo la encuesta realizada, se elaboraron un total de 15 preguntas con la finalidad de recolectar algunas características de los encuestados y de comprender el interés y conocimiento que presentan hacia el producto.

INFORMACIÓN ACERCA DE LOS ENCUESTADOS

Clasificación de los encuestados según su lugar de residencia

Las siguientes dos preguntas harían referencia a la ubicación de residencia de estos para evaluar si se encontraban dentro del área metropolitana de Caracas, área de estudio para la siguiente investigación. En la figura 2 se puede observar que cerca del 80% de los encuestados reside en el área metropolitana de Caracas.

Conocimiento de los encuestados acerca de los bioplásticos

Después de conocer las características biológicas y demográficas de las personas, se realizaron preguntas que se refieren al conocimiento de estos acerca de los bioplásticos, de donde los adquirieron en caso de afirmar su conocimiento; sus propiedades y si han estado en contacto con algún producto de este tipo. En la figura 1 se puede visualizar que más de la mitad o un 53,3% de los encuestados conoce el término bioplástico.

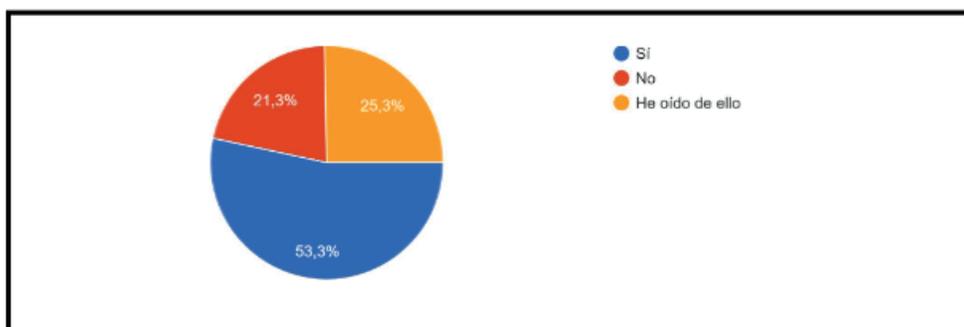


Figura 1. Resultados de la pregunta respecto al conocimiento del término bioplástico.

Al ser afirmativa la respuesta de este porcentaje de los encuestados, se les solicitó señalar de donde tuvieron la oportunidad de conocer acerca de la temática, pregunta de la cual se obtuvo una serie de respuestas en las que mayormente destacan, el internet con un porcentaje predominante de 50,6%, las redes sociales en segunda instancia con un 30,2% y amigos, familiares o profesores con un 24,4%.

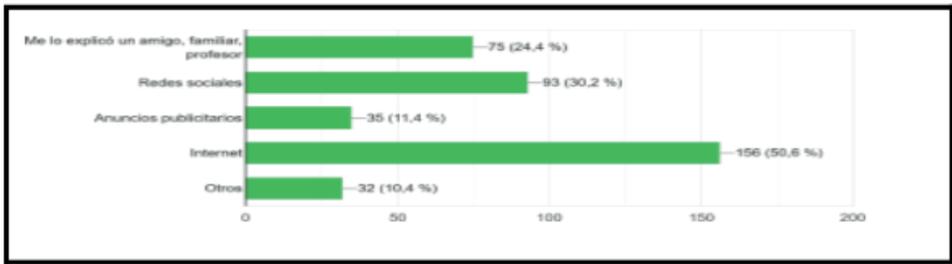


Figura 2. Resultados de la pregunta respecto a la fuente de conocimiento acerca del bioplástico.

Se le preguntó a los encuestados si habría alguna vez observado productos de bioplástico en Venezuela, a lo que un poco más de la mitad o un 50,6% de las personas respondió “No estoy seguro”, índice que permite determinar que la mayoría consume los productos independiente de su origen, un 38,2% afirma no han observado ningún material de este tipo y el porcentaje restante de 11,2% señala alguna vez haber visto productos de bioplástico

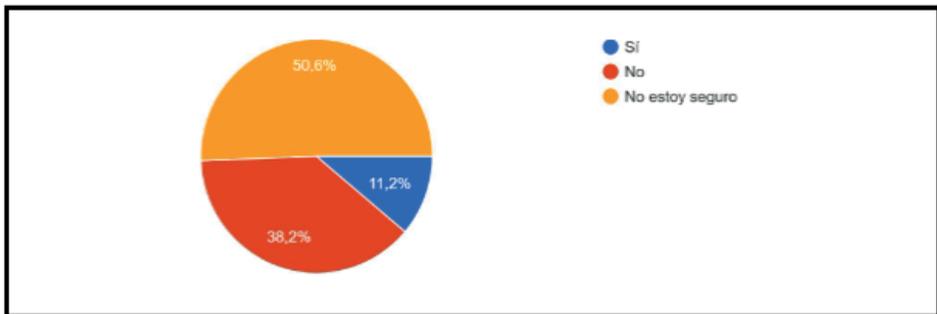


Figura 3. Resultados de la pregunta referente a la visualización de productos a base de bioplástico en Venezuela.

De los encuestados seleccionar la opción “Si” se les realizó la interrogante respecto a que productos de bioplástico habrían avistado. De entre las variadas respuestas descritas, destacan: Bolsas de compra con un 16,7%, pitillos con un 6,3%. Igualmente existirían más opiniones en relación a esta pregunta, pero con porcentajes equitativos. De esta pregunta podemos entender que una gran parte de los encuestados afirman haber avistado bolsas hechas de bioplásticos, lo que supone una gran tendencia de otras empresas a fabricar productos de este estilo.

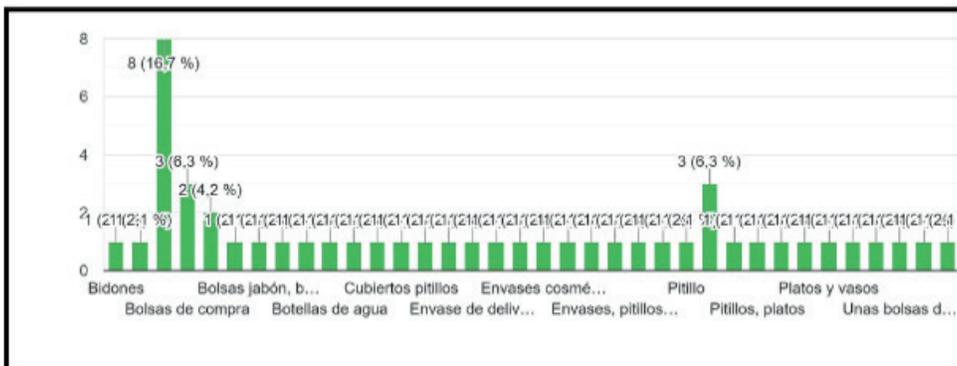


Figura 4. Resultados de la pregunta respecto a avistamientos de productos de bioplástico en Venezuela.

Preferencias del mercado para realización de productos a base de bioplástico

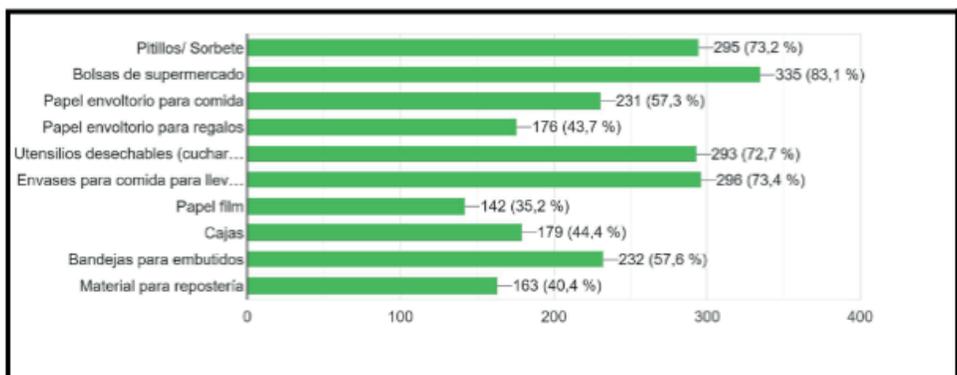


Figura 5. Resultados acerca de la preferencia de los encuestados para la realización de productos de bioplástico.

Preferencias del precio estimado para el producto final

Con esta interrogante se busca conocer la preferencia del mercado en relación a costos de adquisición para productos de bioplástico a un precio mayor que el de la competencia, puesto que el procedimiento para su elaboración pudiese ser más costoso. El 33,7% está de acuerdo con precios que superen el de la competencia dentro del mercado, más por una diferencia casi mínima el 32,3% no accedería a su compra si el precio fuere mayor al 50% de los productos de plástico y anime. Un 28% se vería desinteresado si el precio del bioplástico estuviera un 30% por encima de los productos comentados anteriormente y un 6% no estaría interesado en comprar los mismos

Análisis FODA

Dentro de la matriz se analizan las fortalezas que presenta un bioplástico termoplástico y biodegradable dentro del entorno de Caracas, Venezuela, donde se evaluaron los factores externos e internos que podían verse reflejados tanto en la producción del material como en su comercialización.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none">• Producto de calidad• Es Biodegradable• Materia prima sencilla y económica• Diversidad de uso• Materia prima nacional	<ul style="list-style-type: none">• Amplia aceptación por parte de los consumidores• Un mercado nacional no explotado• Posible expansión nacional e internacional• Producto de consumo masivo
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none">• Falta de divisas para pago de maquinaria• Falta de conocimiento conductual del mercado• Es un producto nuevo	<ul style="list-style-type: none">• Competencia directa e indirecta• Crisis económica e hiperinflación

Tabla 1. Matriz FODA

Se estableció el FODA cruzado donde se trazaron las diversas estrategias que mitiguen el impacto de las amenazas y reduzcan las debilidades para aprovechar, defender, reforzar y movilizar a los productos.

Partiendo del análisis FODA inicial se elaboró un FODA cruzado para establecer las estrategias, empezando por las ofensivas, continuando por las adaptativas y de supervivencia, y acabando por las defensivas.

Estrategias FO: aprovechando las oportunidades y apoyándonos en las fortalezas se definió la estrategia ofensiva.

Estrategias DO: ante la incapacidad de aprovechar una oportunidad por la existencia de una debilidad se estableció la estrategia adaptativa.

Estrategias DA: se basan en la existencia de una amenaza que nos permite apoyarnos en una debilidad; así se establecieron las estrategias de supervivencia y conservación.

Estrategias FA: Ante la posibilidad de apoyarse en una fortaleza para reducir la posibilidad de una amenaza, se establecieron las estrategias defensivas.

FODA cruzado	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<p>→ Ofrecer el material a varias industrias que trabajen con plásticos, para aumentar la recepción del mismo.</p> <p>→ Reactivar el incentivo de producción nacional</p>	<p>→ Diseñar una investigación de mercado y comportamiento del consumidor</p>

Tabla 2. FODA cruzado para la definición de estrategias (Oportunidades).

FODA cruzado	Fortalezas	Debilidades
Amenazas	<p>→ Mantener los precios en moneda internacional para que no sean afectados por la inflación.</p>	<p>→ Se requiere financiamiento externo y/o asociaciones para iniciar la producción</p>

Tabla 3. FODA cruzado para la definición de estrategias (Amenazas).

DEMANDA DEL PRODUCTO

Proyección estimada de la demanda

Para establecer la proyección estimada de la demanda se obtienen las siguientes cifras:

- **Mercado potencial:** 1,4 millones de personas en Caracas con alta capacidad de compra (estratos A y B).
- **Interés en el producto:** 25,06% de la población objetivo estaría dispuesta a comprar bioplástico a mayor precio que la competencia.
- **Demanda estimada:** 14.393 bobinas de bioplástico en tres tamaños.
- **Demanda anual:** 597.622.580 metros cúbicos de bioplástico.

Se realizó un instrumento de medición de conocimiento sobre el proyecto y preferencias del consumidor en base a las respuestas obtenidas dentro de la encuesta realizada, tomando como referencia la encuesta ENCOVI 2022 y la entrevista de Luis Vicente León (abril, 2022), presidente de Datanálisis para el cálculo estimado del mismo.

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el porcentaje de la población total que se encuentra interesado en conseguir el producto.

Población total para adquisición de productos bioplásticos		
Total de personas encuestadas	Total de personas que tienen conocimiento del material a producir	Total de personas que estarían dispuestas a comprar un producto a base del bioplástico a producir aún así el precio fuera superior con respecto al mercado
100%	53,30%	33,70%
403	215	136

Tabla 4. Población total de adquisición de productos bioplásticos en los encuestados.

Si bien el producto final de la planta es un producto semiterminado, que debe procesarse, se indaga en como posibles empresas pueden estar interesadas en utilizar esta nueva materia prima, siendo claramente diferenciadora en el mercado con atributos sostenibles; es por ello que basándose en el estudio de “Percepción del mercado verde en consumidores de productos de consumo masivo” de Uribe, X. realizado en el 2015 en Valencia, Carabobo, se puede estimar que aunque existe un interés en productos amigables para el medio ambiente, el mercado no posee la suficiente información de concientización por lo tanto afirma que “futuros emprendedores que deseen incursionar en este segmento de mercado que deben tomar en cuenta cuidar los costos, los procesos y la cadena de valor”.

Seguidamente, se presenta en la figura 3 la cantidad de personas que residen en el Área Metropolitana de Caracas y estarían dispuestos a pagar el producto así sea el precio fuera mayor al de la competencia como acercamiento a la realidad de la demanda del producto en el mercado dentro del área mencionada.

Población total para adquisición de productos bioplásticos en Caracas a un precio mayor al de la competencia		
Total de personas encuestadas	Total de los encuestados que residen en el Area Metropolitana de Caracas	Total de los encuestados que residen en el Area Metropolitana de Caracas que estarían dispuestos a comprar un producto a base del bioplástico a producir aún así el precio fuera superior con respecto al mercado
100%	79,40%	31,56%
403	320	101

Tabla 5. Población total para adquisición del producto en Caracas a un precio mayor al de la competencia.

La demanda estimada para el primer año de operación es de 14.393 bobinas de bioplástico en tres tamaños, lo que equivale a 597.622.580 metros cúbicos de material al año dividido entre los tres tamaños de bobinas que pueden convertirse en pitillos, envases y bolsas.

MERCADO META

El mercado meta se ha definido como las personas con alto poder adquisitivo que residen en el Área Metropolitana de Caracas y que están interesadas en productos sostenibles.

Ubicación: Área Metropolitana de Caracas.

Tamaño: 350.868 personas.

Características:

- Poder adquisitivo alto.
- Interés en productos sostenibles.
- Disposición a pagar un precio superior por productos ecológicos.

Capacidad requerida

La capacidad requerida para producir en vista del mercado meta definido, será calculada con la proyección de la demanda del producto como se observa en la tabla 7.

Se toman tres tamaños de bobinas que serán destinadas a tres tipos de productos, los mismo fueron los tres más votados en el instrumento realizado como deja claro la figura 11 sobre las preferencias del mercado.

Donde la bobina de 31 cm sería destinada a la fabricación de pitillos, la de 62 cm para fabricación de bolsas y la de 110 cm para envases para comida para llevar, todo esto es posible dada a la formulación del bioplástico que lo hace apto para llevar a cabo dichos subproductos.

En la tabla 8 se observan los cálculos realizados para la estimación de la demanda del mercado meta.

Demanda del mercado meta			
Producto	Bobinas semanales	Bobinas anuales	Kg necesarios de bagazo
Bobina 31 cm	5	186	5.800,89
Bobina 62 cm	140	7.265	453.831,00
Bobina 110 cm	98	6.942	2.252.564,63
Total	243	14.393	2.712.196,52

Tabla 6. Demanda del mercado meta venezolano (Kg de bagazo necesario).

Mercado Meta	350.868	Cantidad de pitillos posibles de consumo semanalmente	2
Porcentaje de personas que consumen plásticos semanalmente	43,90%	Cantidad de pitillos posibles de consumo anualmente	308.063
Personas del mercado meta que consumen plásticos semanalmente	154.031	Cantidad de bobinas de 31 cm necesarias para cumplir con la demanda de pitillos semanalmente	5
Bolsas promedio que consumen los venezolanos mensualmente	3	Cantidad de pedidos realizados en Caracas en el 2021	1.000.000
Cantidad de bolsas posibles de consumo semanalmente	444.321	Área promedio de un envase para llevar de 100 cm x 100 cm	10.000
Cantidad de bobinas de 110 cm necesarias para cumplir la demanda de bolsas semanalmente	98	Cantidad de bobinas de 62 cm necesarias para cumplir la demanda de envases de comida para llevar semanalmente	140

Tabla 7. Demanda del mercado meta venezolano (Cálculo de la demanda).

MERCADO META

Producción inicial

Baca (2008) establece en su libro Evaluación de proyectos que un proyecto que se encuentra en la etapa de inicio, satisfacer el 10% de la demanda total calculada en base al mercado meta, por lo que siguiendo esta teoría la décima parte de las unidades elaboradas será planteada en la tabla 8 para cada producto.

Demanda del 10%		
Producto	Bobinas anuales	Kg necesarios de bagazo
Bobina 31 cm	19	580
Bobina 62 cm	727	45.383
Bobina 110 cm	694	225.256
Total		271.219,65

Tabla 8. Cantidad de bobinas semanales y anuales para la producción inicial

ESTUDIO TÉCNICO

Obtención, revisión y almacenamiento de la materia prima

La materia prima será recibida del Central Azucarero Portuguesa C.A. en el área de entrega donde se descargará, organizará y será pesada, para luego ser dirigida al área de revisión en busca de cualquier detalle que pueda llamar la atención, como pueden ser hongos que comprometan un lote del producto; todo en presencia de un diligente de parte del proveedor. El diseño del proceso productivo permite utilizar el bagazo en su totalidad, ya que este pasará por varios procesos de triturado, tamizado y limpieza hasta obtener la muestra final. Las impurezas que resulten de estos procesos se destinarán a creación de abono.

Una vez se complete el procedimiento anterior se transporta el bagazo hasta el área de almacén inicial, donde la humedad sea mínima (menor al 20%) para conservarlo hasta su ingreso en la cadena de producción. Tales condiciones de humedad mínima se medirán con ayuda de un higrómetro, contando con un espacio con deshumidificador funcional. En este almacenamiento se llevará control de las cantidades disponibles y serán contabilizadas para su manejo en bases de datos.

ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Secado I

El secado inicial del bagazo previamente almacenado y contabilizado es la primera actividad dentro del proceso productivo cuyo fin es el de eliminar todo tipo de humedad y resto de azúcares ya que el siguiente paso se trata de triturado y estas deben de quedar lo más sueltas posibles para un mejor manejo de la materia. Este procedimiento facilitará la siguiente etapa de trituración, puesto que reduciendo dicha humedad hasta mínimo un 10%, facilita la trituración o disminución del tamaño de partículas a ser utilizadas en el resto de la cadena productiva. La temperatura manejada será de 70 °C por 20 horas para alcanzar las propiedades deseadas.

Trituración

Con el fin de un mejor manejo y homogeneización de materia se tritura de primero en un molino de martillo, el mismo de utilidad para materiales desde blandos a medios duros; para reducir el tamaño de las partículas de mayor tamaño en grandes cantidades de manera rápida y eficiente.

Pulverización I

Después del proceso de trituración se lleva la materia a un molinillo donde se reduce el tamaño de partícula aún más, hasta un tamaño no mayor a 1 mm.

Tamizado I

En esta etapa se tamiza el bagazo molido anteriormente para homogeneizar igualmente las partículas al tamaño descrito en la máquina previa.

Almacenamiento en silos

En esta cadena de valor una parte del lote que ingresa en la línea de producción del área de máquinas será dirigida al almacenamiento en los silos ubicados en la parte exterior de la planta para ser utilizado más adelante cuando sea requerido, mientras que la otra parte del lote sigue el proceso hasta obtener el producto buscado.

Extracción de la celulosa

Cuando el lote designado alcanza esta etapa se procede a la mezcla del bagazo seco, sulfito de sodio y bicarbonato de sodio en un reactor para su cocción a 300°C durante 90 minutos. Las proporciones de cada compuesto se definen de la siguiente manera: 6.24% de bagazo, 0.57% de sulfito de sodio $Na(SO)$, 0.36% de bicarbonato de sodio ($NaHCO$) y 92.83% de agua (H_2O), según Naranjo y Temprano (2022). Una vez se cumpla el período establecido de cocción, se desactiva el calentamiento del reactor para que alcance una temperatura ambiente para después poder retirar la ahora pasta celulosa resultante de este proceso.

Tamizado II

En este tamizado se captura la celulosa separándola del licor negro que contiene los xilanos (hemicelulosa y lignina) para así transportarla al primer lavado de la fibra.

Lavado de fibra

Durante el proceso de extracción de la celulosa se desprende un licor negro, el cual debe ser retirado con un lavado y filtrado del mismo, éste se procede a realizar con agua limpia la cual es extraída del tanque de agua de la planta. Se realiza con una relación de 3:1 agua-celulosa.

Secado II

Al salir del lavado de fibra se realiza nuevamente un secado a 70 °C por 20 horas para eliminar el exceso de humedad a causa del lavado intenso con agua para proceder con el blanqueamiento.

Blanqueamiento

La finalidad del blanqueamiento es neutralizar el pH para prevenir la modificación del mismo en los alimentos, por lo que es medido durante la duración entera del proceso y el rango esperado para el valor de este estaría entre 6,5 y 7,2.

En este proceso la fibra de celulosa obtenida de la anterior etapa es sometida a un blanqueamiento utilizando una solución acuosa al 3% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) como agente oxidante, la misma es utilizada en conjunto con agua destilada para formar una solución al 19% v/v mediante la agitación de este y ser vertida sobre la pulpa.

Secado III

Posterior a esto, se filtró y se secó nuevamente a 70 °C durante 20 horas. El producto obtuvo un pH en un rango de 6,8 hasta 7,2. Cuando el pH es básico se obtiene una pasta de color marrón claro, al tener en pH neutro cambia de color a amarillo claro después del secado

Pulverización II

Una vez más y a causa del aumento del tamaño de las partículas en el transcurso de los procesos anteriores, se ejecuta un procedimiento de pulverización para disminución de las dimensiones de estas.

Tamizado III

El segundo tamizado realizado busca homogeneizar el tamaño de la partícula a un equivalente de 0,425 mm. La fibra tanto del bagazo como la de la celulosa se expande al contacto con los líquidos y para maximizar su acoplamiento con el aglutinante se debe homogeneizar el tamaño de la partícula.

Mezclado del aglutinante

El aglutinante es la mezcla de los reactivos que se emplean para adherir los distintos elementos, estos serían el almidón de yuca y celulosa como los polímeros, glicerina siendo el elemento plastificante, agua como disolvente y ácido acético que aumenta la resistencia de la composición por sus cualidades estabilizantes y extensoras.

Extrusión de película

La extrusión consiste en calentar el bioplástico y empujarlo a través de una matriz el cual procede a ser rebobinado.

Rebobinado

Con el fin de comercializar el bioplástico como producto semiterminado, se decide realizar tres tipos de bobinas para los tres productos más solicitados en la encuesta como se observa en la figura 12, los tamaños a realizar son los que se encuentran en la tabla 9.

	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area (cm ²)
Laboratorio	10,0	10,0	100,0
Bobina 31 cm	31,0	22200,0	688200,0
Bobina 62 cm	62,0	22200,0	1376400,0
Bobina 110 cm	110,0	65000,0	7150000,0

Tabla 9. Medidas de las bobinas a realizar en la planta.

PRUEBAS REALIZADAS AL BIOPLÁSTICO

Como todo producto, la calidad debe ser revisada con el fin de buscar una mejora continua y garantizar las propiedades del producto final, es por ello que se aplican dos tipos de prueba calidad siendo fundamentales las de biodegradabilidad y análisis mecánico.

Prueba de biodegradabilidad

Los ensayos de biodegradabilidad estudiarán el deterioro de las propiedades físicas de los productos y materiales con respecto al medio ambiente en condiciones ambientales específicas. En este caso se utilizará la prueba ISO 20200, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) está diseñada específicamente para materiales plásticos, este método de ensayo permite evaluar el grado de desintegración en condiciones de compostaje aeróbico simulado, mediante técnicas de tamizado y cambio de masa. De este modo, indica la probabilidad de que un plástico se desintegre cuando se coloca en el entorno del compost.

Prueba de análisis mecánico dinámico (DMA)

Este es un análisis de caracterización dinámica que mide la tensión en función de la deformación o la fuerza en función del desplazamiento. Se aplica una deformación sinusoidal al material y se mide la tensión resultante.

Diagrama de procesos

En el apéndice 8 se demuestra el diagrama de procesos involucrados en la elaboración del bioplástico.

Diagrama de bloque de los procesos

La extracción de la celulosa y producción de bioplástico consta de 6 pasos como se muestra en la siguiente figura:

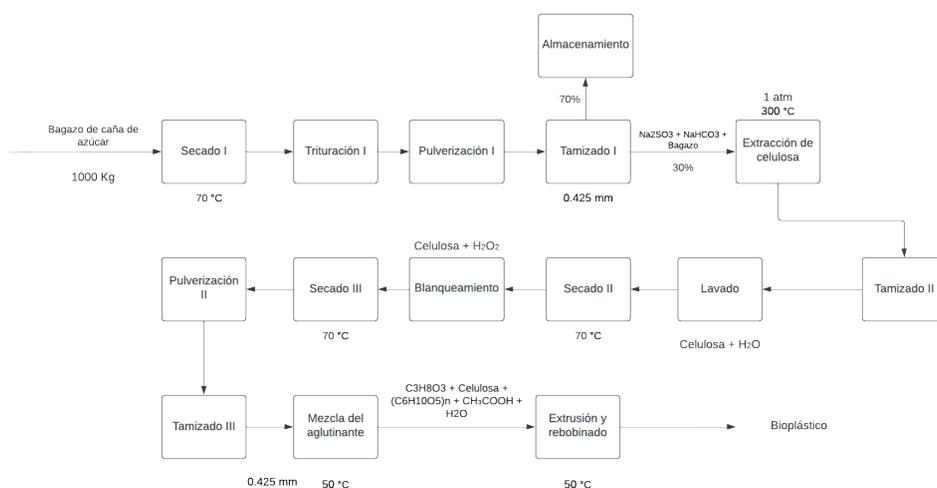


Figura 6. Diagrama de bloques de los procesos en planta.

DISEÑO DE PLANTA

Maquinaria y equipos necesarios

El proceso de elaborar el bioplástico deseado está compuesto de dos etapas: la primera para obtener el bagazo seco, triturado y molido, y la segunda para la extracción de celulosa y almacenamiento final.

Selección de maquinaria y equipos

Una vez establecida la maquinaria y equipos necesarios para la producción del bioplástico se eligieron los proveedores de los mismos utilizando una matriz ponderación, la ponderación establecida tiene un rango del 0-10, donde 0 es la puntuación más baja y 10 la más alta.

A continuación, se expresan los factores con su respectiva ponderación, los cuales fueron avalados por expertos:

Capacidad (25%) C: cantidad máxima de producción de cada equipo, siendo los de mayor capacidad, los de mayor puntuación.

Costo (25%) Ct: inversión a realizar para la adquisición de los equipos

Garantía (15%) G: tiempo límite desde la compra del equipo para probar y verificar que el mismo funcione adecuadamente y que se posea las especificaciones indicadas.

Instalación (10%) I: configuración y acondicionamiento de los equipos en la planta, siendo los proveedores que incluyan este servicio en su precio, los de mayor puntuación.

Unidades requeridas (15%) Ur: los equipos que sean capaces de producir la demanda requerida sin la necesidad de unidades extra se les concede mayor puntuación.

Operadores (10%) O: personal necesario para poner a funcionar la maquinaria así como también de llevar el control de las mismas, siendo las máquinas que necesiten menor personal las de mayor puntuación.

Máquina	Función	Modelo	Capacidad (kg)	Potencia (kw)	Cantidad de máquinas
Horno I	Secado	Horno de convección eléctrico	200	0,8	5
Trituradora I	Trituración	Molino de martillo	250	11	1
Pulverizador I	Pulverizador	Molinillo industria eléctrico	250	22	1
Tamizador I	Tamizado	Tamizador por vibración	250	0,55	1
Reactor	Extracción de celulosa	Reactor encamisado de doble capa	200	0,2	2
Tamizador II	Tamizado	Tamizador por vibración	200	0,55	2
Tanque con agitador I	Lavado de la fibra	Tanque con agitador	500	3	1
Horno II	Secado	Horno de convección eléctrico	150	30	2
Tanque con agitador II	Blanqueamiento	Tanque con agitador	500	3	1
Horno III	Secado	Horno por convección de aire caliente	150	30	2
Pulverizador II	Pulverizado	Molinillo industria eléctrico	150	22	2
Tamizador III	Tamizado	Tamizador por vibración	200	0,55	1
Tanque con agitador III	Mezclado del aglutinante	Tanque con agitador	500	3	1
Extrusora	Extrusora	Extrusión con rebobinado	240	5,5	1

Tabla 10. Selección de maquinaria y equipos.

Horno de secado I

- Mayor capacidad para recibir la materia prima (bagazo) una vez al año.
- Funciona al vacío con una capacidad de 200 Kg cada uno.
- Se propone la compra de 5 equipos para mejorar los tiempos de producción.

Trituradora I

- Molino de martillo para mejorar el tamaño de las fibras del bagazo.
- Potencia suficiente para manejar la dureza del material.

Pulverizador I

- Transforma tiras y pedazos en polvo de bagazo.
- Minimiza el tamaño del material para la extracción de celulosa.

Tamizador I

- Verifica que el tamaño de las partículas sea de 0.436 mm.
- Captura y descarta impurezas.

Reactor

- Extrae la celulosa del bagazo con agua, monosulfito de sodio y bicarbonato de sodio.
- Presión de 1 atm y temperatura de 300 C.

Tamizador II

- Filtrar líquidos y pequeños externos que se desprendieron durante la reacción.
- Prepara la mezcla para el siguiente paso.

Tanque con agitador I

- Lava la celulosa con licor negro desprendido.
- Llenado con agua y agitando continuamente durante dos horas.

Horno II

- Horno de bandejas donde se seca la pulpa celulósica durante 20 horas a 70 C.
- Elimina toda el agua absorbida durante la extracción de la celulosa y el lavado.

Tanque con agitador II

- Realiza el blanqueamiento y corrección del pH de la celulosa con peróxido de hidrógeno, agua y un phmetro.

Horno III

- Seca la celulosa durante 20 horas a 70 C en un horno de bandejas con aire caliente.

Pulverizador II

- Mantiene el tamaño de la partícula de la celulosa para mejorar la absorción del aglutinante.
- Capacidad de 200 Kg.

Tamizador III

- Asegura el tamaño de la partícula de la celulosa y la mantiene pura.
- Capacidad de 1000 Kg por hora.

Tanque con agitador III

- Mezcla el aglutinante (glicerina, almidón de yuca, agua, ácido acético) y la celulosa para crear el bioplástico.
- Agitación continua a 50 C durante 90 minutos.

Extrusora

- Complejo de máquinas donde el bioplástico se calienta, comprime y sale por una boquilla cilíndrica.
- Se coloca el bioplástico caliente sobre rodillos calientes que estiran y calientan el material para crear una película.
- La película se rebobina para su venta.

LAYOUT

La figura 8 presenta el diseño del layout, presentando todas las áreas fundamentales para el funcionamiento de la planta, permitiendo una eficacia y continuación del procedimiento y las conexiones con todas las secciones.

La figura muestra el flujo de materia prima hasta llegar a un producto semiterminado en forma de U. Una vez finalizado el proceso productivo, el producto se almacena en el área que conecta el santuario de la planta con el despacho de gandolas. La planta se divide en varias áreas, que incluyen recepción, gestión, venta, almacenes, bagazo, maquinaria y almacenamiento de producto semiterminado. Las áreas externas incluyen silos de almacenamiento y almacenamiento de agua potable.

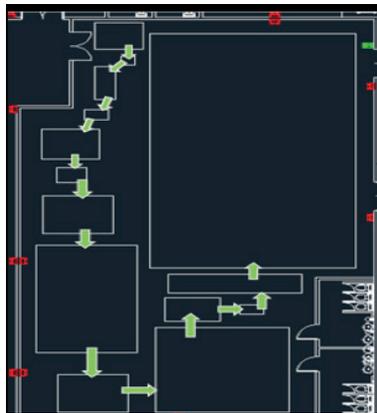


Figura 7. Flujo de la producción.



Figura 8. Señalización de las áreas de la planta.

Nro.	Denominación de área
1	Secado
2	Triturado
3	Pulverizado
4	Tamizado
5	Extracción de celulosa
6	Tamizado
7	Lavado de fibra
8	Secado
9	Blanqueamiento
10	Secado
11	Pulverizado
12	Tamizado
13	Mezclado del aglutinante
14	Extrusión
15	Recepción de materia prima
16	Revisión de materia prima
17	Almacenado de materia prima
18	Almacenado de producto semi-terminado
19	Almacenado de bagazo tamizado
20	Tanque de almacenamiento de agua
21	Recepción
22	Oficina del gerente general
23	Oficinas de la gerencia
24	Oficina de las jefaturas
25	Comedor y área de descanso
26	Sala de conferencias

Tabla 11: Denominación de áreas del Layout de la planta

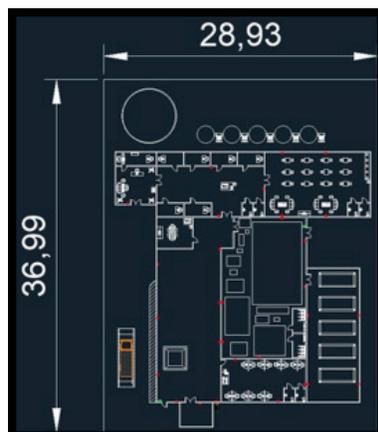


Figura 9. Dimensiones de la planta.

CAPACIDAD INSTALADA

El bagazo se recolecta en zafra, de 9 meses a 1 año, manteniendo un stock óptimo y un pescado preasignado, recolectado y revisado.

El software Arena Simulación determina la capacidad de la planta, y se encuentra que el primer lote tenía una capacidad de 1000 kg durante 20 horas, mientras que el segundo tenía una capacidad de 200 kg.

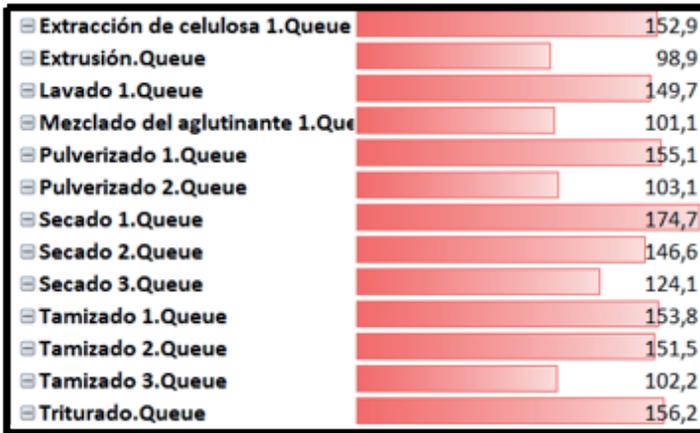


Figura 10. Resultados de Arena.

CAPACIDAD ESTÁNDAR

Las máquinas en el diseño de la planta de Arena Simulación pretenden operar entre 8 y 24 horas, con la última máquina dividida en tres turnos para tres cambios en la jornada de los operadores y equipos de seguridad, lo que resulta en horas de trabajo similares.

LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa se centra en la mejora continua tanto de los procesos como de los productos, buscando que el material, diseñado y fabricado haciendo uso del modelo de logística inversa, generando beneficios al productor, consumidor y medioambiente. En el presente caso se presenta una metodología nueva en un proceso productivo con una empresa de 52 años en el mercado, como lo es el Central Azucarero Portuguesa, donde el desperdicio de la extracción del azúcar es transportado para dar un nuevo producto que está en alta demanda.

MÉTODO DE LAS 11 RS

El árbol de decisión se encuentra ubicado en el apéndice 7, y siguiendo las preguntas del mismo, se obtuvo el tipo de R al que pertenece el bioplástico que se implementa en la logística inversa para así analizar sus posibles destinos y usos posteriores una vez haya cumplido su función principal:

¿Se pueden establecer procesos de recolección tanto para la LIA como la LIS a costos razonables?

Sí.

Ante una respuesta afirmativa, se procede a seguir entonces con la pregunta 2.

¿Se tiene la capacidad de recibir y clasificar los productos que vienen tanto de la LIA como de la LIS, a costos razonables?

Sí, se considera contar con el personal preparado para la clasificación del bagazo, además de que pasa por una serie de tratamientos para descartar impurezas.

Ante una respuesta afirmativa, se procede entonces con la pregunta 4.

¿Lo recibido es el producto completo o cuasi completo?

Si, el producto retorna a la fábrica es de manera cuasi completa, siendo completa la caña de azúcar y cuasi completo el bagazo.

Al ser una respuesta afirmativa se continúa con la pregunta 6.

¿Está muy deteriorado?

No, este producto es un desperdicio para una industria, pero la materia prima de ésta, una vez ingresado se procede a triturar, tamizar y separarlo de cualquier impureza presente.

Al presentar una respuesta negativa se procede a la pregunta 6.

¿Requiere reemplazo de piezas mayores?

Sí, no siendo un reemplazo sino transformaciones químicas.

Por lo tanto, después de realizar el cuestionario y afirmaciones se determinó que es un proceso que encaja en R07, es decir reprocesables.

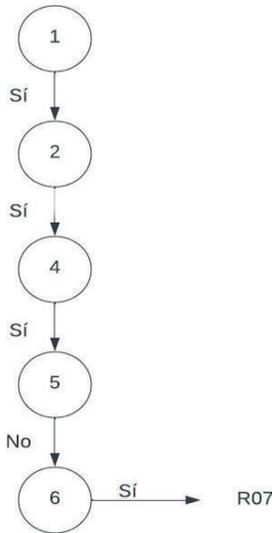


Figura 11. Estructura de árbol de decisión para el 11 Rs del bioplástico a partir de bagazo de caña de azúcar.

Aspecto a evaluar	Rango de puntaje	Puntaje obtenido	Impacto						Puntos totales
			Ambiental (1 a 7)		Mercado (1 a 5)		Económico (-3 a 3)		
Recolección (costo)	1 a 50	50	7	350	7	350	-3	-150	550
Recepción	1 a 50	50	7	350	7	350	-3	-150	550
Ingreso por venta	1 a 200	200	5	1000	6	1200	3	600	2800
Ahorro por la no adquisición	1 a 90	1	7	7	7	7	0	0	14
Puntos adicionales por mantener el producto íntegro	500 o 1000	1000	7	7000	5	5000	-3	-3000	9000
Reembalaje	1 a 30	1	7	7	7	7	0	0	14
Limpieza	1 a 30	25	3	75	2	50	3	75	200
Piezas a reemplazar	1 a 60	40	5	200	77	3080	3	120	3400
Reparación	1 a 80	80	5	400	7	560	3	240	1200
Desmontado	1 a 80	60	2	120	2	120	0	0	240
Costo a redirigirlo	1 a 90	1	7	7	7	7	0	0	14
Costo a eliminarlo	1 a 100	1	7	7	5	5	0	0	12
Máximo alcanzable	28050		9523		10736		-2265		17994
Valor porcentual con respecto a puntos máximos alcanzables									64,15%

Tabla 12. Matriz de ponderación del proyecto de logística inversa

Finalmente, a través de la matriz de ponderación al momento de efectuar dicho estudio se obtuvo una R con un valor de 64,15%, lo que conlleva a un resultado de R07, corroborando así el resultado obtenido por medio del diagrama de árbol.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis de los resultados para la elaboración de una planta productora de bioplástico a partir del bagazo de la caña de azúcar, se llegó a las siguientes conclusiones:

Un estudio de mercado en Caracas revela un mercado objetivo de 350.868 personas interesadas en adquirir productos a precios más altos. La demanda estimada para este mercado es de 14.393 bobinas al año, de las cuales el 10% apunta a 1.439 bobinas. La mayoría de la población (53,3%) conoce los bioplásticos, favoreciendo su introducción en el mercado. Se diseña una planta con un sistema de producción capaz de satisfacer la demanda, requiriendo maquinaria eficiente.

RECOMENDACIONES

De igual manera, con el fin de mejorar los futuros estudios, relacionados con la elaboración de bioplástico y utilización de celulosa a partir del bagazo de caña de azúcar se proponen las siguientes recomendaciones:

Indagar a profundidad el comportamiento de los venezolanos con respecto a sus prácticas eco-amigables.

REFERENCIAS

Cruz, E. (18 febrero, 2021). Plástico biodegradable destructivo Informe de investigación actualizado de lMercado 2021. <http://gammaboxtech.com/plastico-biodegradable-destructivo-cuota-de-merca-do-ultima-actualizacion/>

García, F. (2004). Distribución de planta. <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/gsfran/Asignaturas/ProduccionI/DISTRIBUCIONdePLANT1.pdf>

García, M. (2004). Los elementos integrantes de la nueva riqueza de la empresa.

Intangible Capital. <https://www.redalyc.org/pdf/549/54900201.pdf>

Greenpeace. (2020). Plásticos en los océanos.n http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf

Greenpeace. (2021). Datos sobre la producción de plásticos. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

Hernández, J.G., García, M.J., Hernández, G.J., De Burgos, J. (2011). Once Erres (11-Rs) en la Logística Inversa. (PDF) Once Erres (11-Rs) en la Logística Inversa (researchgate.net)

Infinitia (2021) Biodegradación de un producto: Análisis y normativa. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/biodegradacion-de-un-producto-analisis-y-normativa/#:~:text=Los%20ensayos%20de%20biodegradaci%C3%B3n%20miden,de%20uso%20determinado%20o%20previsto.>

Martínez, G. (s.f.). El desarrollo sustentable. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654255>

Montoyo, A. Marco, M. (2011). Tema 4: Proceso de producción. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19047/1/Tema_4_-_Proceso_de_produccion.pdf

Naranjo, E., Temprano, M. (2022). Elaboración de un bioplástico a base de bagazo de la caña de azúcar. [Tesis de grado, Universidad Metropolitana].

Noticias ONU. (2021). El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302#:~:text=Su%20aumento%20ha%20sido%20tal,zonas%20m%C3%A1s%20vulnerables%20del%20planeta>.

Resano, D., Guillen, O.W., Ubillús, F.D.R., Barranzuela, J.L. (2021). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-076420220002_00247&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Saari, B. (s.f.) Uso de dma para caracterizar elastómeros, polímeros y aleaciones con memoria de forma. MTS. <https://www.mts.com/la/articles/materials/dma-characterization#:~:text=R%3A%20EI%20an%C3%A1lisis%20mec%C3%A1nico%20din%C3%A1mico,y%20medir%20la%20tensi%C3%B3n%20resultante>.

Rajaram, B. y Onpe, M. (2022) Análisis de Materiales para Garantía de Calidad y Degradación de Bioplásticos. <https://www.tainstruments.com/material-analysis-for-bioplastics-quality-assurance-and-degradation/?!lang=es>

APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de procesos.

Nro.	Actividad	Operación	Transporte	Revisión	Almacenamiento
1	Pesado de gandola en balanza romana	●	⇒	□	△
2	Depositado del bagazo en mesa alimentadora	●	⇒	□	△
3	Traslado del bagazo a area de recepción y revisión	○	⇒	□	△
4	Revisión del bagazo	○	⇒	■	△
5	Almacenamiento del bagazo	○	⇒	□	▲
6	Traslado del bagazo a hornos de secado	○	⇒	□	△
7	Secado	●	⇒	□	△
8	Triturado del bagazo	●	⇒	□	△
9	Pulverizado del bagazo	●	⇒	□	△
10	Tamizado	●	⇒	□	△
11	Traslado del bagazo tamizado a silos de almacenamiento	○	⇒	□	△
12	Almacenamiento del bagazo tamizado	○	⇒	□	▲
13	Extraccion de la celulosa	●	⇒	□	△
14	Tamizado	●	⇒	□	△
15	Lavado de fibra	●	⇒	□	△
16	Secado de fibra	●	⇒	□	△
17	Blanqueamiento	●	⇒	□	△
18	Secado	●	⇒	□	△
19	Pulverizado	●	⇒	□	△
20	Tamizado	●	⇒	□	△
21	Mezclado del aglutinante	●	⇒	□	△
22	Extrusión Y rebobinado de película	●	⇒	□	△
23	Traslado de la bobina al área de pruebas	○	⇒	□	△
24	Prueba de biodegradabilidad	●	⇒	□	△
25	Prueba de resistencia a ondas de microondas	●	⇒	□	△
26	Traslado de la bobina al almacén de producto semi-terminado	○	⇒	□	△
27	Almacenamiento de bobinas	○	⇒	□	▲
	Total	18	5	1	3