



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**DESARROLLO DE BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE**

PRESENTADO POR:

12011259 CARLOS ANDRES SIERRA FLORES

ASESOR: ING. PAOLA PASCUA

TEGUCIGALPA; DICIEMBRE, 2024

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

Se investigó el proceso de producción de bioplásticos a base de almidón de maíz, con el objetivo de desarrollar bioplástico con óptima resistencia. El problema planteado fue el uso excesivo de plásticos derivados del petróleo en Honduras, cuya acumulación afecta océanos, suelos y ecosistemas. La metodología incluyó la variación de factores como el tipo de maquinaria (prensa de compresión y extrusora), temperatura de secado, tiempo de curado y proporción de plastificantes, evaluando su impacto en la resistencia del producto de bioplástico.

El análisis factorial y ANOVA permitieron identificar los factores significativos, confirmando que la prensa de compresión da mejores resultados, se identificó una temperatura adecuada de secado de 70°C, tiempo de curado de 2 horas y un 10% de plastificante que optimizaron las propiedades mecánicas del bioplástico. Los resultados mostraron una resistencia promedio de 58.52 MPa. Estas configuraciones contribuyen a mejorar el rendimiento del bioplástico en aplicaciones industriales.

Las conclusiones han señalado que la proporción de plastificantes ha sido el factor más significativo ($p < 0.05$), seguido por el tipo de aditivo utilizado, donde el glicerol y el aceite de ricino han presentado los mejores resultados. Asimismo, la validación por expertos ha corroborado la calidad de los bioplásticos desarrollados, destacando su potencial para aplicaciones industriales y su viabilidad en entornos locales.

Los bioplásticos a base de almidón de maíz pueden contribuir a la producción sostenible en Honduras, reduciendo los impactos ambientales y ofreciendo una solución viable para la industria de empaques. Se ha sugerido como trabajo futuro la exploración de nuevos aditivos y procesos que mejoren la flexibilidad y degradabilidad del material, para que puedan ser utilizados en la comunidad científica e industrial.

Palabras Clave: Bioplástico, Diseño Factorial, Almidón de maíz, Diseño de experimentos, Análisis ANOVA.

RESUMEN EJECUTIVO (INGLES)

The production process of cornstarch-based bioplastics was investigated, with the aim of developing bioplastic products with optimal resistance. The problem posed was the excessive use of petroleum-based plastics in Honduras, whose accumulation affects oceans, soils and ecosystems. The methodology included the variation of factors such as the type of machinery (compression press and extruder), drying temperature, curing time and proportion of plasticizers, evaluating their impact on the strength of the bioplastic product.

The factor analysis and ANOVA allowed the identification of significant factors, confirming that the compression press gives better results, an adequate drying temperature of 70°C, curing time of 2 hours and 10% of plasticizer were identified that optimized the mechanical properties of the bioplastic. The results showed an average resistance of 58.52 MPa. These configurations contribute to improving the performance of bioplastic in industrial applications.

The conclusions have indicated that the proportion of plasticizers has been the most significant factor ($p < 0.05$), followed by the type of additive used, where glycerol and castor oil have presented the best results. Likewise, the validation by experts has corroborated the quality of the bioplastics developed, highlighting their potential for industrial applications and their viability in local environments.

Cornstarch-based bioplastics can contribute to sustainable production in Honduras, reducing environmental impacts and offering a viable solution for the packaging industry. The exploration of new additives and processes that improve the flexibility and degradability of the material, so that they can be used in the scientific and industrial community, has been suggested as future work.

Keywords: Bioplastic, Factorial Design, Corn Starch, Design of Experiments, ANOVA Analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	2
II.	Planteamiento del problema	4
2.1	Precedentes del problema	4
2.2	Definición del problema.....	5
2.3	Justificación.....	6
2.4	Preguntas de investigación.....	6
2.5	Objetivos.....	7
2.5.1	Objetivo General	7
2.5.2	Objetivos Específicos	7
III.	Estado del Arte.....	8
3.1	Bioplásticos.....	8
3.2	Almidón	8
3.3	Diseño de Experimentos.....	9
3.4	Sostenibilidad	10
3.5	Biodegradabilidad.....	10
3.6	Aditivos	11
3.7	Plastificante	12
3.8	Propiedades mecánicas	12
3.9	Diseño Factorial	13
3.10	Análisis ANOVA.....	13
3.11	Materia Prima	14
IV.	Metodología	15

4.1	Enfoque.....	15
4.1.1	Alcance.....	15
4.2	Variables de investigación.....	15
4.3	Técnicas e instrumentos.....	16
4.3.1	Instrumentos.....	16
4.3.2	Técnicas.....	16
4.4	Materiales.....	16
4.5	Población y muestra.....	17
4.5.1	Población.....	17
4.5.2	Muestreo.....	17
4.5.3	Muestra.....	18
4.6	Metodología de estudio.....	19
4.7	Metodología de validación.....	21
4.8	Cronograma de actividades.....	22
V.	Resultados y análisis.....	23
5.1	Identificación del tipo de maquinaria adecuada para la producción de bioplásticos a base de almidón de maíz.....	23
5.1.1	Pilotaje maquinaria.....	23
5.1.2	Identificación del tipo de maquinaria.....	25
5.2	Selección del proceso de producción de bioplásticos a base de almidón de maíz...27	
5.2.1	Pilotaje del proceso de producción.....	27
5.2.2	Selección del proceso de producción.....	28
5.3	Evaluación de los efectos de diferentes aditivos en las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón de maíz.....	32

5.3.1	Pilotaje de los diferentes aditivos y plastificantes	32
5.3.2	Evaluación de los refuerzos.....	33
5.4	Validación de la investigación.....	36
5.4.1	Triangulación por expertos	36
VI.	Conclusiones.....	38
VII.	Recomendaciones.....	40
7.2	Recomendaciones de investigación.....	40
7.3	Recomendaciones para la comunidad.....	41
VIII.	Aplicabilidad/Implementación.....	42
IX.	Evolución de trabajo actual/ Trabajo Futuro	43
	Bibliografía.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:	Cronograma de actividades	22
Ilustración 2:	Diagrama de Pareto maquinaria	25
Ilustración 3:	Grafica de probabilidad de resistencia.....	26
Ilustración 4-	Diagrama de Pareto para selección del proceso de producción	29
Ilustración 5-	Diagrama de tendencia.....	30
Ilustración 6-	Grafica de probabilidad normal	34
Ilustración 7-	Grafica de residuos estandarizados.....	35
Ilustración 8-	Coefficientes codificados del tipo de maquinaria	47

Ilustración 9- Análisis Varianza Maquinaria	47
Ilustración 10- Resumen del modelo maquinaria.....	48
Ilustración 11- Coeficientes Codificados proceso de elaboración	48
Ilustración 12- Análisis Varianza proceso de elaboración	48
Ilustración 13- Resumen del modelo proceso de elaboración.....	49
Ilustración 14- Análisis Varianza de los refuerzos	49
Ilustración 15- Análisis Coeficiente Refuerzos	49
Ilustración 16- Componentes varianza	50
Ilustración 17- Ecuación de Regresión Refuerzos.....	50
Ilustración 18- Términos de error para pruebas experimentales.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Identificación de factores y niveles maquinaria.....	24
Tabla 2- Selección de factores y niveles del proceso de producción	28
Tabla 3-Evaluación de los refuerzos	33
Tabla 4- Corridas experimentales maquinaria	51
Tabla 5- Corridas experimentales proceso de elaboración.....	51
Tabla 6- Corridas Experimentales efectos de los refuerzos	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Muestreo Estratificado Formula.....	17
Ecuación 2: Formula Muestra 1.....	18
Ecuación 3: Formula Muestra 2.....	18
Ecuación 4: Formula Muestra 3.....	19

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Diseño Factorial de selección maquinaria.....	47
Anexo 2- Diseño Factorial del proceso de elaboración.....	48
Anexo 3- Modelo lineal general de la evaluación de los efectos de refuerzos.....	49
Anexo 4- Tablas del orden de corridas experimentales.....	51

LISTA DE SIGLAS

ANOVA Análisis de varianza

DOE Diseño de Experimentos

PE Polietileno

PLA Acido Poliláctico

PVC Policloruro de Vinilo

Aditivos: Es una sustancia con escaso o nulo valor alimenticio que se incorpora en pequeñas cantidades a los alimentos y bebidas para alterar su características sensoriales (ceupe, 2023).

Almidón de maíz: Es un polímero de carbohidratos derivado del maíz, una de las fuentes más habituales de almidón, ampliamente utilizado en la industria alimentaria y en diversos sectores (shaer, 2024).

ANOVA: Es una técnica estadística empleada para analizar y comparar los promedios de dos o más grupos con el fin de identificar si al menos uno de ellos difiere significativamente (Statistical Discovery, 2024).

Plastificantes: Son compuestos químicos añadidos a los plásticos con el propósito de aumentar su flexibilidad y disminuir su fragilidad (Todo en Polímeros, 2018).

Curado: Es un proceso químico o físico por el cual un material, como el bioplástico, obtiene sus propiedades definitivas de resistencia y forma (NETZSCH, 2022).

I. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad será un foco importante para la industria en los próximos años debido al aumento de productos plásticos tradicionales entre otros y su impacto en la contaminación ambiental. Este informe explorará el desarrollo de bioplástico a base de almidón de maíz, una alternativa biodegradable. El uso de bioplásticos ha despertado el interés de la industria en general, específicamente en la industria agroalimentaria; ya que no sólo proporciona soluciones ecológicas sino que también facilita el desarrollo de materiales, promoviendo su adopción en diversas industrias.

Hay empresas como Productos Industriales Honduras, que utilizan el almidón de maíz, están al tanto de reconocer la tendencia global hacia la sostenibilidad, la empresa reconoce la necesidad de encontrar alternativas más ecológicas para sus productos de embalaje. El proyecto se centrará en el desarrollo de bioplásticos para la producción sostenible que puedan cumplir con las exigencias de resistencia.

En esta investigación se desarrollarán bioplásticos a base de almidón de maíz con características óptimas de resistencia, como alternativas sostenibles en Tegucigalpa, Francisco Morazán. Para lograrlo, se utilizará el método de Diseño de Experimentos que permitirá analizar diversas variables que afectan la calidad y eficiencia del bioplástico. El primer objetivo será identificar la maquinaria adecuada para la producción de bioplásticos, evaluando la influencia de factores como la temperatura, presión en el resultado final del producto mediante la herramienta de diseño factorial.

Posteriormente, se seleccionará el proceso de producción más efectivo, considerando variables como el tiempo de curado, la temperatura de secado y la proporción de plastificantes, utilizando un diseño factorial. Finalmente, se evaluarán los efectos de diferentes aditivos, como refuerzos y plastificantes adicionales, en las propiedades mecánicas del bioplástico, tales como la resistencia aplicando un análisis de varianza (ANOVA).

El informe se estructura de varias secciones en donde la segunda sección es el planteamiento del problema, donde se analizan los antecedentes, definición y justificación del problema, además de los objetivos planteados. La tercera sección sería el estado del arte que ofrece el sustento conceptual necesario para el proyecto. La cuarta sección es la metodología que es donde se describe el enfoque, las variables, los materiales y técnicas utilizadas para alcanzar los objetivos, junto con la forma en que se desarrollará el estudio y se analizarán los datos.

La quinta sección trata sobre los resultados y análisis, aquí se presentan los hallazgos y la interpretación de los datos. En la sexta y séptima sección se presentan las conclusiones y recomendaciones que sintetizan los resultados y ofrecen sugerencias de mejora. Finalmente, se incluye una sección de implementación y evolución del trabajo, seguida de la bibliografía y los anexos necesarios para respaldar el informe.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El estudio, realizado en Chennai, India, en 2024 abordó la contaminación por plásticos convencionales al investigar bioplásticos a base de almidón de yuca y batata, abundantes y económicos en regiones tropicales. El equipo empleó herramientas como el mezclador magnético, la máquina de ensayo de tracción, el microscopio electrónico de barrido y el difractómetro de rayos X para sintetizar y caracterizar estos bioplásticos. Buscaban desarrollar materiales biodegradables con buenas propiedades mecánicas, físicas y de cristalinidad, proponiendo una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental causado por los residuos plásticos (Engineering Proceedings, 2024).

De manera similar en la Universidad Sueca de Ciencias Agrarias, se centró en desarrollar bioplásticos a base de almidón como alternativa a los plásticos sintéticos, cuya creciente producción y desechos están generando un grave impacto ambiental. El estudio abordó los desafíos del almidón, como su sensibilidad al agua y sus propiedades mecánicas limitadas, explorando mejoras en su compatibilidad con otros polímeros para crear bioplásticos sostenibles y funcionales (Polymers, 2022).

Por otra parte un estudio realizado en la Universidad Cesar Vallejo de Colombia, explora alternativas sostenibles, como los bioplásticos elaborados a partir de materias primas renovables como el almidón, para reducir la dependencia de los plásticos derivados del petróleo. La investigación se centró en el desarrollo de bioplásticos a base de almidón entre 2011 y 2019, analizando métodos, equipos y materiales utilizados (Reyes Arteaga, 2020).

Asimismo en la universidad de Indonesia, se exploró la fabricación y caracterización de bioplásticos compuestos a base de almidón y quitosano, reforzados con polipropileno. Para ello, se utilizaron herramientas como el difractómetro de rayos X (XRD) para analizar la cristalinidad, el espectrómetro FTIR para examinar los grupos funcionales y un analizador de textura para probar la resistencia a la tracción. El estudio evaluó diversas proporciones de almidón y quitosano,

centrando su análisis en las propiedades mecánicas y la biodegradabilidad de los bioplásticos (Journal of Physics: Conference Series , 2019).

Mientras que en la Universidad Autónoma del Estado de México, se centró en comprender los mecanismos y la cinética de degradación de películas de almidón de maíz bajo condiciones aceleradas utilizando ácido clorhídrico (HCl). Para ello, se emplearon herramientas como el microscopio óptico y el microscopio electrónico de barrido (SEM) para observar la morfología y la microestructura, El estudio buscó investigar cómo las condiciones ácidas afectaban las propiedades físicas y químicas de las películas biodegradables, esenciales para aplicaciones como el empaquetado (Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2017).

En particular, se enfatiza que en Honduras, hay desechos más frecuentes en áreas costeras y urbanas, lo que subraya la urgencia de enfrentar este problema mediante iniciativas de reciclaje. Se mencionan investigaciones anteriores en México relacionadas con la extrusión de filamentos a partir de desechos plásticos, señalando que únicamente una fracción reducida de los residuos de polímeros se recicla. Esto resalta la necesidad de encontrar métodos más eficientes para aprovechar los desechos plásticos. (Sosa, 2024)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Honduras actualmente se enfrenta a una problemática significativa debido al uso indiscriminado de plásticos derivados del petróleo, cuyos efectos negativos sobre el medio ambiente; al no ser biodegradables contribuyen a la acumulación de residuos en los océanos, suelos, alcantarillas, desagües y ecosistemas, afectando gravemente la biodiversidad, generan crisis en momentos de emergencias por fenómenos tropicales. Esta carencia de alternativas sostenibles impide que la industria pueda adoptar prácticas más ecológicas y seguir las tendencias globales hacia la sostenibilidad, generando un impacto negativo a largo plazo para el medio ambiente.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La acumulación de plástico en el medio ambiente tiene un impacto negativo en los ecosistemas, daña la flora y la fauna. Con la investigación se espera desarrollar bioplástico a base de almidón de maíz para la producción sostenible, porque ofrece una solución viable y eficaz para mitigar estos impactos, utilizando recursos renovables y biodegradables que pueden reducir significativamente la contaminación en Tegucigalpa, Francisco Morazán. Este cambio no sólo mejorará la gestión de residuos, sino que también promoverá un uso más eficiente y responsable de los recursos naturales existentes.

Además, la introducción de bioplásticos en la industria del embalaje también satisface las crecientes necesidades de consumidores más conscientes del medio ambiente. Con el desarrollo de bioplásticos del almidón de maíz se espera obtener los resultados adecuado que estén en armonía con la naturaleza y así estimular la sostenibilidad y biodegradabilidad para lograr tener un impacto positivo.

Desarrollar alternativas de bioplástico sostenibles no sólo mitigará estos daños, sino que también facilitará la transición hacia modelos de producción más responsables y amigables con el medio ambiente, promoviendo así la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad. Este proyecto radica en encontrar una alternativa sostenible al uso indiscriminado de plástico derivado del petróleo.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué tipo de maquinaria es necesaria para realizar bioplástico a base de almidón de maíz, para tener una buena calidad del producto?
2. ¿Cuál es el proceso de producción que se tiene que realizar para obtener un curado adecuado del bioplástico en base de almidón de maíz?
3. ¿Cuáles son los materiales adicionales como aditivos, que puedan mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón?
4. ¿Como se puede validar la calidad de la propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón de maíz?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar bioplástico a base de almidón de maíz con características óptimas de resistencia, como alternativa sostenible en Tegucigalpa, Francisco Morazán, mediante Diseño de Experimentos.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar el tipo de maquinaria adecuada para la producción de bioplásticos a base de almidón de maíz, para las variables de temperatura, presión y velocidad en la calidad final del producto, utilizando la herramienta de diseño factorial.
2. Seleccionar el proceso de producción de bioplásticos a base de almidón de maíz para los factores que afectaran el tiempo de curado, temperatura de secado y proporción de plastificantes mediante un diseño factorial.
3. Evaluar los efectos de diferentes aditivos en las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón, cómo los refuerzos y plastificantes adicionales para la resistencia del material, aplicando análisis de varianza (ANOVA).
4. Realizar la validación de las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón de maíz mediante triangulación por expertos, analizando aspectos de resistencia.

III. ESTADO DEL ARTE

3.1 BIOPLÁSTICOS

Los bioplásticos, al ser de origen renovable, se degradan más rápidamente en el medio ambiente que los plásticos procedentes del petróleo, lo que supone una ventaja ecológica considerable (León D. E., 2024). Los bioplásticos pueden ser de origen biológico y biodegradable y destacan por su capacidad de descomposición sin liberación de residuos tóxicos, por lo que constituyen una alternativa para la industria que no será tan perjudicial para el medio ambiente como las opciones tradicionales (Solórzano, 2023). Por ello, hoy en día, presentan una oportunidad innovadora frente a los plásticos convencionales y son una tendencia emergente.

Seleccionados para descomponerse en compuestos sin impacto ambiental negativo (Reyes Arteaga, 2020). Los bioplásticos se biodegradan rápidamente desintegrándose sin liberar sustancias tóxicas (Samuel, 2024). Además, las alternativas hechas de recursos renovables disminuyen la dependencia de los fósiles industrializados, como la acumulación de desechos y la divergencia (Oluwasina, 2021). La investigación se basará en el uso de herramientas estadísticas para evaluar las propiedades de los bioplásticos como una alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales, se utilizará un instrumento para medir la resistencia de los bioplásticos producidos, con el fin de asegurar la calidad adecuada del producto.

3.2 ALMIDÓN

El almidón compuesto por amilosa y amilopectina que se extrae de varias fuentes naturales y se ha utilizado comúnmente en la extracción de biopolímeros ecológicos para reducir la contaminación a lo largo de su ciclo de vida (SARMIENTO, 2021). El almidón es ampliamente distribuido, además de ser económicamente accesible, tiene la capacidad de biodegradarse con efectividad. Estas capacidades han convertido al almidón en un material significativo para la industria de la producción de bioplásticos (Varón, 2023).

Este producto no solo es ampliamente disponible y económico sino también viable. Todo esto lo convierte en uno de los materiales preferidos al desarrollar productos biodegradables (León D. E., 2024). El almidón es un precursor fundamental que se encuentra en dos importantes industrias como la alimenticia y la bioplástica (Solórzano, 2023). Tiene una muy buena capacidad para formar geles y adaptarse a diversas aplicaciones industriales, el almidón proporciona propiedades valiosas para la producción sostenible (Varón, 2023). El almidón será utilizado como una herramienta clave para la producción de bioplásticos, aprovechando sus propiedades estructurales, que incluyen la amilosa y la amilopectina, compuestos que le otorgan resistencia.

3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño experimental implica tratamientos fisicoquímicos especiales de las materias primas, lo que permite desarrollar procesos controlados en el laboratorio para obtener resultados precisos (Chamorro, 2024). El enfoque del diseño experimental es necesario para aumentar la eficiencia de la producción de bioplásticos a base de almidón, optimizar su eficiencia y promover alternativas sostenibles en la industria (CARDONA, 2019).

El diseño de experimentos influye en varios factores en el proceso, permitiendo evaluar su impacto en la respuesta deseada y al mismo tiempo reducir el número de pruebas necesarias (Solórzano, 2023). Este enfoque es crucial para la adaptación y mejora de procesos industriales como la producción de bioplásticos, ya que optimiza la calidad del producto final así como el tiempo de desarrollo (CARDONA, 2019). Al identificar la combinación ideal de variables, los diseños experimentales pueden producir bioplásticos con mejores propiedades, como mayor estabilidad (Chamorro, 2024). El diseño experimental será una herramienta fundamental para estructurar y controlar los tratamientos fisicoquímicos aplicados a las materias primas del producto final.

3.4 SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad se refiere a un enfoque diseñado para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras (Encalada, 2024) . Este término implica en coordinar aspectos económicos, sociales y ambientales para mejorar el bienestar humano y proteger el medio ambiente. En la investigación de bioplásticos, la sostenibilidad es importante para desarrollar alternativas biodegradables a los plásticos convencionales, lo que ayuda a reducir el impacto ambiental (Paolo, 2023).

El termino de sostenibilidad hace un gran uso de materiales biodegradables, que ofrecen soluciones más amigables con el medio ambiente en comparación con los plásticos tradicionales (Ledesma-Ugusiña, 2021). Además, este concepto incentiva el desarrollo de investigaciones y publicaciones para difundir el conocimiento sobre nuevas alternativas de solución de problemas ambientales (Samuel, 2024). El desarrollo sostenible no sólo pretende conservar los recursos sino también que garantiza un ciclo de vida industrial limpio y eficiente en la producción de plásticos (Chamorro, 2024). La sostenibilidad será un principio clave al seleccionar y evaluar las herramientas y métodos para la producción de bioplásticos.

3.5 BIODEGRADABILIDAD

La biodegradabilidad se entiende como la capacidad de los materiales para descomponerse en compuestos más simples gracias a la naturaleza de los microorganismos, un hecho que depende de la estructura química del material y no sólo del origen del material (León A. C., 2019). Esto supone que no todos los plásticos son biodegradables, ya que, en cuanto a la biodegradabilidad, la química del material que se ha convertido en lo que antes era un producto sintético se transforma en sustancia menos agresiva para el medioambiente. (Paolo, 2023).

La biodegradación juega un papel importante ya que se contempla el impacto ambiental de los productos, representa un criterio fundamental en la propia sostenibilidad y en cómo colaboran para reducir los mismos (RAMOS, 2022). La biodegradación hace alusión a los elementos susceptibles de ser descompuestos a través de la intervención de microorganismos, tales como las bacterias y los hongos en condiciones ambientales (Reyes Arteaga, 2020). La biodegradabilidad será un criterio esencial para evaluar la efectividad de los bioplásticos producidos, esto implica que las herramientas seleccionadas deberán permitir un análisis detallado de la composición química de los bioplásticos.

3.6 ADITIVOS

Los aditivos empleados en la fabricación de bioplásticos desempeñan un papel crucial, ya que mejoran sus características. En la industria, se utilizan principalmente plastificantes, espesantes y disolventes (León D. E., 2024). La facilidad de manejo del bioplástico, junto con conservantes o estabilizantes que extienden su durabilidad y aumentan su resistencia a condiciones ambientales, es esencial. Elegir los aditivos correctos es fundamental para maximizar el rendimiento del bioplástico y garantizar que satisfaga las especificaciones necesarias para diversas aplicaciones (HUACA, 2021).

Investigaciones previas han demostrado que la cantidad y tipo de aditivos pueden afectar no solo las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y la elongación, sino también la biodegradabilidad del material (RAMOS, 2022). Estos aditivos tienen como objetivo reducir el impacto ambiental de los plásticos, facilitando su descomposición en el entorno (SARMIENTO, 2021). A medida que se profundiza en el entendimiento de cómo estos aditivos influyen en las características del bioplástico, es posible desarrollar una formulación eficiente (Chamorro, 2024). Los aditivos se analizarán como elementos esenciales para optimizar las propiedades de los bioplásticos, ya que cada tipo de aditivo contribuye de manera específica a su funcionalidad.

3.7 PLASTIFICANTE

Los plastificantes disminuyen la dureza del material, aumentan su flexibilidad y facilitan el procesamiento y la conformación del bioplástico en diferentes aplicaciones (Chamorro, 2024). Los plastificantes son fundamentales para obtener las propiedades deseadas en el producto terminado, lo que hace que los bioplásticos sean más adecuados para una variedad de aplicaciones, incluyendo envases y recubrimientos (León D. E., 2024).

A lo largo de la historia, los plastificantes se han empleado en la producción de plásticos tradicionales, como el cloruro de polivinilo (PVC) (Oluwasina, 2021). Ha habido un avance aceptable en la aplicación de plastificantes ya que indica una transición hacia métodos sostenibles en la industria del plástico (Paolo, 2023). La adición de plastificantes como la glicerina y el ácido acético permite que las películas de almidón exhiban propiedades mecánicas superiores (RAMOS, 2022). En la investigación los plastificantes se considerarán como aditivos críticos debido a su capacidad para modificar la rigidez y flexibilidad del bioplástico, lo cual es esencial para adaptarlo a distintas aplicaciones.

3.8 PROPIEDADES MECÁNICAS

Estas propiedades ayudan a determinar la idoneidad de un material en aplicaciones específicas, ya que influyen en su durabilidad, rigidez, deformación y capacidad para soportar cargas sin fallar (SARMIENTO, 2021). En el contexto de los bioplásticos, las propiedades mecánicas son cruciales para asegurar que el material pueda cumplir con su función, como en el caso de las envolturas alimenticias, donde se requiere que sean resistentes y duraderas (Ledesma-Ugshiña, 2021).

Estas propiedades se determinan a través de pruebas específicas que simulan las condiciones de uso real del material, permitiendo así entender su comportamiento ante tensiones, compresiones y otros tipos de esfuerzos (Varón, 2023). Estudios adicionales podrían analizar cómo diversos factores afectan esta relación para mejorar el diseño de bioplásticos con características mecánicas superiores (Chamorro, 2024). Para modificar el almidón y mejorar sus propiedades mecánicas se utiliza su entrecruzamiento con ácido acético (Paolo, 2023). Se utilizarán herramientas de ensayo de carga que permitan evaluar la resistencia del bioplástico para soportar tensiones sin fallar.

3.9 DISEÑO FACTORIAL

Este enfoque estructura los experimentos de forma que se puedan analizar al mismo tiempo diversas combinaciones de los niveles de las variables, lo que facilita el estudio de sus interacciones y efectos en el resultado final (Chanatasig, 2015). Básicamente, proporciona una estructura organizada para llevar a cabo experimentos que tienen en cuenta la variabilidad de las condiciones y su influencia en los resultados (Cesar, 2018).

En el ámbito de la agricultura, surgió con el objetivo de optimizar la producción de cultivos mediante una experimentación sistemática. Su enfoque transformó la manera en que se realizaban los experimentos (RAMOS, 2022). Se considera un recurso clave en el análisis experimental, facilitando a los investigadores examinar cómo estos pueden interactuar para impactar el resultado de un experimento (Ledesma-Ugusiña, 2021). El diseño factorial resultara esencial para observar las interacciones entre factores como temperatura, presión y proporción de aditivos, proporcionando una visión integral de cómo cada combinación influye en el rendimiento y la calidad del bioplástico.

3.10 ANÁLISIS ANOVA

Este enfoque posibilita analizar el impacto de una o más variables independientes sobre una variable dependiente, facilitando la comparación de cambios dentro y entre los grupos, lo que ayuda a determinar si los tratamientos aplicados generan efectos estadísticamente diferentes (Chanatasig, 2015). Este análisis examina la variabilidad dentro de cada grupo en comparación con la variabilidad entre los grupos, permitiendo identificar si al menos una de las medias difiere de las demás. ANOVA se usa comúnmente en experimentos y estudios donde se busca analizar el impacto de distintos factores sobre una variable dependiente (RAMOS, 2022).

ANOVA ha progresado y se ha ajustado a distintas áreas de investigación, como medicina, psicología y ciencias sociales, estableciéndose como un pilar clave en el análisis estadístico contemporáneo (Chamorro, 2024). Esta prueba examina si existen diferencias significativas entre las medianas de dos o más grupos, sin suponer que los datos siguen una distribución normal. Es especialmente útil cuando los tamaños de muestra son reducidos (Oluwasina, 2021). Este método ANOVA permitirá examinar la variabilidad de los resultados dentro de cada grupo experimental y entre ellos, identificando si los cambios en las variables independientes producen efectos estadísticamente significativos en la variable dependiente, que sería la resistencia del bioplástico.

3.11 MATERIA PRIMA

Recursos fundamentales que se emplean en procesos de producción para crear un producto final. Estos componentes pueden ser de origen natural o industrial y son clave para la fabricación de bienes, ya que funcionan como insumos esenciales en la manufactura (Ledesma-Ugasiña, 2021). Estos elementos son obtenidos o recolectados y funcionan como la base esencial para la fabricación y conversión en productos finales. En el ámbito industrial, la materia prima es clave, ya que influye considerablemente en la calidad y características del producto final (León D. E., 2024).

Con la Revolución Industrial, la necesidad de materias primas aumentó considerablemente, favoreciendo la extracción y el procesamiento de recursos naturales como el carbón y el petróleo (Solórzano, 2023). La selección de estos recursos no solo afecta la viabilidad económica del proyecto, sino que también incide en la sostenibilidad ambiental y en la disminución de residuos plásticos (HUACA, 2021). La inclusión ha probado ser efectiva para mejorar las propiedades del bioplástico, lo que facilita un uso eficiente de los recursos naturales (Chanatasig, 2015). Los recursos seleccionados, tanto de origen natural como industrial, funcionarán como insumos fundamentales para la producción, determinando en gran medida la resistencia del bioplástico.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

El enfoque cuantitativo se centra en la obtención de información mediante la recopilación de datos numéricos y su análisis estadístico para probar hipótesis e identificar patrones de comportamiento, probando así teorías (Henández, Fernández, & Baptista, 2014). Se utilizará el enfoque cuantitativo para recopilar y analizar datos numéricos relacionados con las propiedades mecánicas de los bioplásticos a base de almidón de maíz. Mediante el uso de mediciones precisas y herramientas de diseño de experimentos, este método permitirá evaluar las propiedades de los bioplásticos, como la resistencia y la biodegradabilidad.

4.1.1 ALCANCE

El alcance experimental corresponde al diseño de una investigación donde el investigador manipula deliberadamente una o más variables independientes para comprobar el efecto de dicha manipulación en una o más variables dependientes, y controlar las variables externas que podrían alterar los resultados. (Henández, Fernández, & Baptista, 2014). La investigación se enfocará en la realización de un experimento controlado en el cual se variarán de forma sistemática factores clave, como las proporciones de plastificantes y las condiciones específicas de producción. Este enfoque permitirá evaluar de manera precisa el impacto de cada variable en las propiedades mecánicas proporcionando información fundamental para la resistencia y sostenibilidad del material.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

1. Contenido de almidón: Esta variable mide la cantidad de almidón utilizado en la formulación del bioplástico.
2. Tipo y cantidad de plastificante: Tipos de plastificantes (por ejemplo, glicerol) y sus concentraciones para determinar su efecto sobre la resistencia.

3. Condiciones de procesamiento: Se refiere a la temperatura y el tiempo de procesamiento que se ajustarán según su efecto sobre las propiedades mecánicas del bioplástico, como la resistencia.
4. Precio productos: Serían los precios unitarios adecuados para cada producto.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.3.1 Instrumentos

1. Microscopio: Permite observar la microestructura del bioplástico y analizar la distribución de los aditivos en el material.
2. Calorímetro: Mide las propiedades térmicas del bioplástico, como la temperatura de fusión y degradación.
3. Maquinaria de extrusión y moldeo: Utilizada para procesar y moldear el almidón de maíz y los aditivos en la producción de bioplásticos.

4.3.2 Técnicas

1. Diseño de experimentos: Técnica estadística utilizada para planificar, ejecutar y analizar los experimentos, identificando los factores que optimizan las propiedades del bioplástico.
2. Análisis de varianza (ANOVA): Para analizar los datos experimentales y determinar qué variables tienen un impacto significativo en las propiedades del bioplástico.
3. Minitab: Herramienta que facilita el análisis de los datos.

4.4 MATERIALES

1. Almidón de maíz: Material principal para la producción del bioplástico.
2. Plastificantes: Producto para mejorar la resistencia del material.
3. Aditivos: Componente importante para tener una buena durabilidad del producto.

4. Agua destilada: Importante para disolver y mezclar adecuadamente los componentes.

5. Envases o moldes: Para darle una forma adecuada al bioplástico durante el proceso de curado.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.5.1 Población

La población está constituida por todos los materiales posibles que se obtienen para la fabricación de bioplásticos en base de almidón de maíz que se ajustan a los requerimientos de la biodegradabilidad y la resistencia, imprescindibles para efectuar el estudio. Entonces la población serían los tipos de almidones de maíz, plastificantes y aditivos que son accesibles en el mercado local de Tegucigalpa, Francisco Morazán.

Población 1: 1.8 Kg de almidón de maíz

Población 2: 5 aditivos diferentes

Población 3: 5 tipos de plastificantes

4.5.2 Muestreo

Se llevará a cabo un muestreo estratificado con el fin de que todas las variedades de material (almidón, plastificante y aditivos) estén especificadas en el proceso experimental así como temperatura, presión, velocidad estén representadas con proporción. El muestreo estratificado permite segmentar la población y seleccionar muestras de cada estrato para poder asegurar así la heterogeneidad de las variables que entran en juego en el experimento (Muguirá, 2024).

$$n_i = n \cdot \frac{N_i}{N}$$

Ecuación 1: Muestreo Estratificado Formula

Fuente: (Universo Formulas, 2015)

Donde:

n_i : Tamaño de la muestra

N_i : Tamaño de la población

N : Tamaño total de la población

n : Tamaño total de la muestra requerida para toda la población

4.5.3 Muestra

La muestra estará compuesta por un conjunto representativo de materiales y sus combinaciones clave, seleccionados estratégicamente para evaluar su influencia en el desarrollo y optimización del proceso de producción de bioplásticos. Esta selección permitirá un análisis integral de cuáles serían las cantidades ideales para el tamaño de la muestra asegurando una evaluación precisa de las propiedades y resistencia del bioplástico final.

Muestra 1: 1.8 Kg de almidón de maíz

$$n_1 = \frac{1.8}{11.8} \times 8 \approx 1.22$$

Ecuación 2: Formula Muestra 1

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 2: 5 tipos de aditivos

$$n_2 = \frac{5}{11.8} \times 8 \approx 3.39$$

Ecuación 3: Formula Muestra 2

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 3: 5 plastificantes

$$n_3 = \frac{5}{11.8} \times 8 \approx 3.39$$

Ecuación 4: Formula Muestra 3

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la distribución de la muestra con las 8 corridas experimentales sería:

- Población 1 (almidón de maíz): Aproximadamente 1 muestra.
- Población 2 (aditivos): Aproximadamente 3 muestras.
- Población 3 (plastificantes): Aproximadamente 3 muestras.

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En dicha investigación, se optó por un enfoque experimental utilizando un Diseño de Experimento (DE) para el desarrollo de bioplásticos a base de almidón de maíz, empleando un diseño experimental factorial completo y el análisis de la varianza (ANOVA). El análisis de la varianza (ANOVA) se empleó para evaluar la significancia estadística de cada factor y sus interacciones, permitiendo identificar aquellos que tienen un impacto directo en las propiedades finales del bioplástico, tales como resistencia.

La maquinaria principal utilizada fue una prensa de presión y una extrusora, seleccionadas por su capacidad para aplicar control preciso de temperatura y presión, factores determinantes en la calidad del bioplástico. En cada ensayo experimental, se manipularon estos parámetros junto con diferentes proporciones de plastificantes y aditivos locales, lo cual ayudó a identificar las propiedades clave como la resistencia del material. Las pruebas fueron repetidas en diversas combinaciones para evaluar sistemáticamente la respuesta del bioplástico bajo condiciones controladas.

Para el análisis de datos, se utilizó el software estadístico Minitab que facilitó el procesamiento de la información y la visualización de los efectos de cada factor. Este software permitió interpretar resultados mediante gráficos de efectos principales e interacciones, identificando los niveles óptimos para maximizar la resistencia y minimizar el impacto ambiental del bioplástico. Los datos obtenidos proporcionaron una base cuantitativa sólida para desarrollar directrices en la producción de bioplásticos y sugirieron ajustes específicos en los parámetros de operación, asegurando que el bioplástico cumpla con los estándares de rendimiento y sostenibilidad deseados.

4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Dicha práctica permitió garantizar el correcto funcionamiento de la maquinaria, es decir, la prensa térmica, como así también verificar las condiciones controladas de la temperatura, la presión y el tiempo. Detectar fallos o ajustes que debían introducirse en el diseño experimental para garantizar que los resultados de los ensayos fueran correctos y coherentes, además de que la disponibilidad de los niveles de los factores de control (como los plastificantes y los aditivos).

La validación por especialistas comenzó con la ingeniera agrónoma haciendo una revisión en general de cómo estaba redactado el informe. Con el ingeniero industrial experto en diseño de experimentos se consultó en cuáles serían los materiales adecuados a utilizarse para obtener el producto final de los bioplásticos y con el ingeniero industrial especializado en procesado de alimentos, se centró en revisar y aprobar el diseño y métodos de captura de datos.

En este contexto, ellos revisaron la captación del correcto uso de los instrumentos, la validez del diseño factorial y las técnicas de análisis de datos como puede ser el ANOVA, asegurando así que fueran rigurosos, fiables y a la vanguardia de las máximas exigencias en ingeniería o procesado de materiales. Durante el pilotaje, se realizaron pruebas preliminares con combinaciones de plastificantes y aditivos, evaluando sus efectos sobre pequeñas muestras de bioplástico. Este proceso permitió detectar fallos o ajustes que debían introducirse en el diseño experimental para garantizar que los resultados de los ensayos fueran correctos y coherentes, además de validar la disponibilidad de los niveles de los factores de control.

4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 5					Semana 6					Semana 7					Semana 8					Semana 9					Semana 10									
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V					
Selección de variables de estudio																																																							
Definir los aditivos y plastificantes																																																							
Identificación de maquinaria a ocupar																																																							
Entrega Primer Avance																																																							
Diseñar el diseño factorial																																																							
Seleccionar los moldes para los productos																																																							
Selección de combinaciones para la mezcla del producto																																																							
Análisis de datos con ANOVA																																																							
Preparación de muestras de bioplásticos																																																							
Realización de pruebas de Curado																																																							
Interpretación de los resultados																																																							
Entrega Segundo Avance																																																							
Evaluar los efectos de los aditivos en el producto																																																							
Realizar pruebas digitales con las muestras																																																							
Realizar validación de los datos																																																							
Realizar aplicabilidad de los resultados																																																							
Entrega Tercer Avance																																																							
Realizar Correcciones finales al proyecto																																																							
Entrega Final del Proyecto																																																							

Ilustración 1: Cronograma de actividades

Fuente: Elaboración Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE MAQUINARIA ADECUADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ

5.1.1 Pilotaje maquinaria

Se llevaron a cabo corridas de prueba en diferentes condiciones controladas, utilizando tanto la prensa de compresión como la extrusora, con variaciones en la temperatura de operación, presión de procesamiento y velocidad de producción. Según el estudio de (Chanatasig, 2015). Estas corridas permiten verificar la viabilidad del proceso y la precisión de los datos obtenidos para la variable de respuesta, que en este caso fue la resistencia del bioplástico. El estudio menciona que la precisión en la recolección de datos y la correcta definición de los niveles de los factores experimentales son esenciales para lograr resultados estadísticamente significativos, especialmente al intentar optimizar la resistencia mecánica en biopolímeros.

Para determinar si estas máquinas son las adecuadas para el desarrollo del bioplástico, se tomaron en cuenta parámetros como la capacidad de generar presión uniforme, el control preciso de la temperatura y la facilidad de integración de los materiales en el proceso. Con la extrusora por su capacidad para procesar materiales de manera continua y a diferentes velocidades, mientras que la prensa de compresión destacó por su capacidad de aplicar presiones elevadas en condiciones controladas de temperatura y tiempo.

Con el estudio de (Chamorro, 2024). Se tomó un criterio clave de resistencia para evaluar la calidad del bioplástico es que este debe superar un umbral mínimo de 60 MPa. Este valor garantiza que el material tenga suficiente capacidad para soportar esfuerzos en condiciones normales de uso. Además, se sugiere que la resistencia del bioplástico se evalúe en relación con su capacidad de mantener estabilidad estructural frente a las variaciones de temperatura y humedad durante su ciclo de vida.

En la tabla 1 se presentarán la identificación de cuatro factores y 2 niveles que fueron aplicados en el pilotaje de las maquinas con diferentes variaciones. Esto ayudó a identificar posibles ajustes en los parámetros y a asegurar que los instrumentos estuvieran correctamente calibrados para obtener mediciones consistentes y que los niveles seleccionados de cada factor proporcionaban una variabilidad significativa en los resultados.

Tabla 1- Identificación de factores y niveles maquinaria

Identificación de factores y niveles		
Factor	Nivel	Valor
Tipo de maquinaria	Nivel 1	Extrusora
	Nivel 2	Prensa de Compresión
Temperatura de operación	Nivel 1	120°C
	Nivel 2	150°C
Presión de procesamiento	Nivel 1	50 Mpa
	Nivel 2	70 Mpa
Velocidad de producción	Nivel 1	10 RPM
	Nivel 2	20 RPM

Fuente: Elaboración Propia

Corridas realizadas con cada nivel de los factores

Durante el pilotaje, se realizaron un total de 8 corridas experimentales, distribuidas equitativamente entre la extrusora y la prensa de compresión. Para cada máquina, se probó con las dos temperaturas de operación definidas (120°C y 150°C) y las dos presiones establecidas (50 MPa y 70 MPa), ejecutando dos repeticiones por combinación de factores. Estas corridas permitieron recopilar datos consistentes, en el cual permitió identificar que las maquinas si eran las adecuados para el proceso.

5.1.2 Identificación del tipo de maquinaria

Para identificar el tipo de maquinaria adecuada (extrusora, prensa de compresión) para la producción del bioplástico. Se aplicó un diseño factorial, que permitió evaluar de forma estructurada el efecto de cada factor y sus interacciones. Durante el proceso, se utilizó el software estadístico Minitab para el diseño y análisis de los experimentos, lo que facilitó la recolección de datos de resistencia como variable de respuesta. Los resultados fueron registrados de manera sistemática, asegurando la precisión de los datos y permitiendo un análisis detallado de los factores que influyen en la calidad del bioplástico.

Los resultados en la ilustración 2 se muestra un diagrama de Pareto en el que se representa que la variable de respuesta es la resistencia del bioplástico y la línea roja discontinua indica el valor crítico de 3.182, que representa el umbral para determinar si un efecto es estadísticamente significativo. En la ilustración 3 se muestran los residuos de los datos de resistencia del bioplástico.

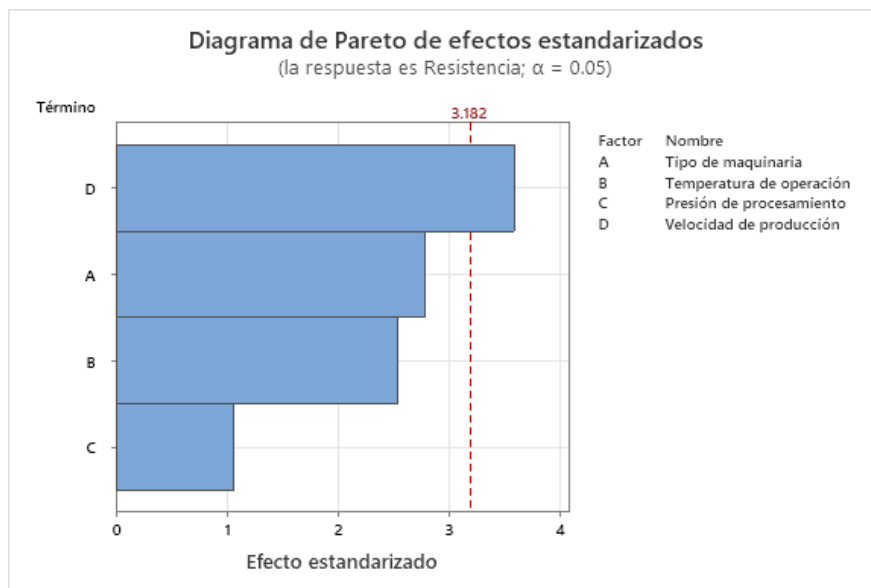


Ilustración 2: Diagrama de Pareto maquinaria

Fuente: Elaboración Propia

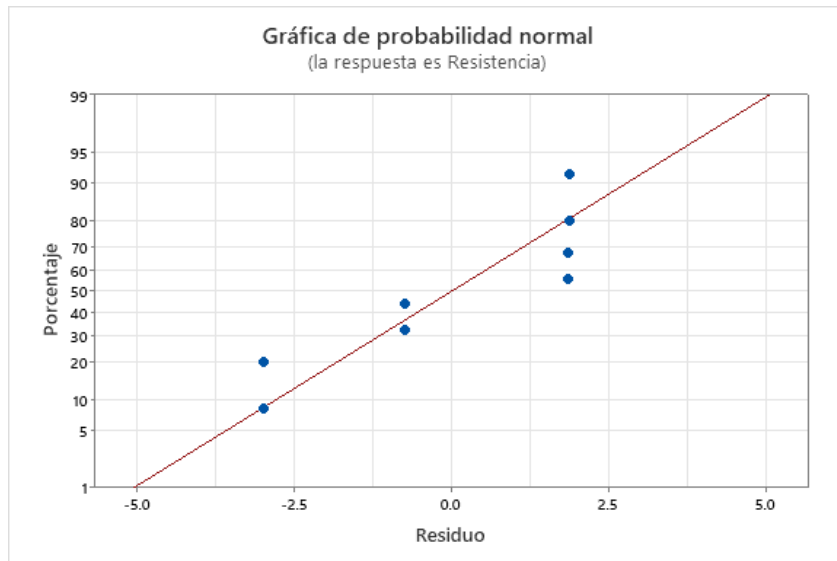


Ilustración 3: Grafica de probabilidad de resistencia

Fuente: Elaboración Propia

Lo mostrado en la ilustración 2 indica que la velocidad de producción (factor D) tiene un impacto significativo en la resistencia del bioplástico. Este hallazgo es particularmente relevante, ya que indica que pequeñas variaciones en la velocidad podrían generar diferencias notables en la calidad del producto final. La interacción entre la temperatura de operación y el tipo de maquinaria (factores B y A), aunque menos significativa, sugiere que estos parámetros también deben ser optimizados para obtener una resistencia adecuada.

Estos resultados están en concordancia con el estudio de (RAMOS, 2022). Que enfatizó la importancia de los factores operativos, como la temperatura y la velocidad de producción, en la determinación de las propiedades mecánicas del bioplástico. Mientras que en dicho estudio se destacó un umbral de resistencia mínima de 60 MPa, los resultados obtenidos en esta investigación mostraron valores promedio de 63.76 MPa utilizando la prensa de compresión bajo condiciones controladas.

En la ilustración 3 revela indicios sobre la adecuación del modelo en términos de variabilidad y posibles problemas de ajuste. Si bien la mayoría de los puntos se alinean razonablemente cerca de la línea de referencia, cualquier desviación notable de esta alineación podría indicar problemas

en el modelo, como la presencia de efectos no modelados o factores externos que afectan la resistencia del bioplástico, que en el estudio de (Chanatasig, 2015). Los puntos en los extremos (colas) proporcionan información sobre posibles valores atípicos o tendencias en los datos que podrían influir en la precisión de las predicciones de los resultados esperados en el producto final. Cada uno de estos factores se evaluó en dos niveles, permitiendo realizar un diseño factorial 2^3 completo, con ocho combinaciones de tratamientos. Este enfoque fue útil asociado al estudio de (Cesar, 2018) en donde menciona que para identificar los efectos principales de cada factor sobre la resistencia, también se tiene que tomar en consideración las posibles interacciones entre ellos, en donde también mencionan que esta parte es crucial en la fabricación de bioplásticos porque la interacción de los componentes puede tener un impacto significativo.

El análisis ANOVA se utilizó para determinar si los efectos observados de los factores y sus interacciones son estadísticamente significativos. Este análisis compara la variabilidad que según (Ledema-Ugsiña, 2021). Mencionan que las medias de los distintos grupos (tratamientos) con la variabilidad dentro de cada grupo, ayudan a identificar cuáles factores o combinaciones de factores influyen significativamente en la resistencia del bioplástico.

5.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ

5.2.1 Pilotaje del proceso de producción

En esta fase, se realizaron pruebas preliminares para identificar posibles variaciones en la respuesta del bioplástico bajo diferentes combinaciones, utilizando un diseño factorial que permitió evaluar la interacción entre ellos. En estudios similares como el de (Cesar, 2018). El diseño factorial que usaron les fue útil para identificar el proceso adecuado para la producción, en donde durante el proceso, observaron y corrigieron detalles técnicos en el manejo de la maquinaria y en la dosificación de los plastificantes, asegurando que el diseño experimental estuviera calibrado para maximizar la relevancia de los datos en la selección del proceso de producción.

En la tabla 2 se muestran los factores que fueron utilizados para el pilotaje del proceso de producción el cual consistía en 3 factores con dos niveles, entonces en las maquinas se fueron

probando varias corridas aleatorias con cada uno de los factores y sus niveles según indicaba el diseño factorial realizado en minitab. Este pilotaje fue esencial para definir las condiciones de operación que se emplearían en los ensayos formales del estudio.

Tabla 2- Selección de factores y niveles del proceso de producción

Selección de factores y niveles		
Factor	Nivel	Valor
Tiempo de curado	Nivel 1	1 Hpra
	Nivel 2	2 Horas
Temperatura de Secado	Nivel 1	50°C
	Nivel 2	70°C
Proporción de plastificantes	Nivel 1	5%
	Nivel 2	10%

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron 8 corridas experimentales basadas en el diseño factorial de tres factores (tiempo de curado, temperatura de secado y proporción de plastificantes), cada uno con dos niveles. Estas corridas incluyeron todas las combinaciones posibles de los niveles para evaluar sus efectos y posibles interacciones. Las combinaciones incluyeron: 1 hora de curado con 50°C y 5% de plastificante, 2 horas de curado con 70°C y 10% de plastificante, y así sucesivamente, cubriendo todas las permutaciones. Cada corrida fue realizada de manera aleatoria para evitar sesgos y garantizar la validez de los resultados.

5.2.2 Selección del proceso de producción

Para la selección adecuada para el proceso de producción del bioplástico se realizó un diseño factorial con el software Minitab, este diseño permitió variar de forma sistemática los factores seleccionados: tiempo de curado, temperatura de secado y proporción de plastificantes para observar su influencia sobre la resistencia del bioplástico a base de almidón de maíz. La resistencia

se midió en cada combinación de factores, y los datos fueron analizados utilizando el análisis de varianza (ANOVA) para determinar el impacto significativo de cada factor.

El diagrama de Pareto presentado en la ilustración 4 se empleó como herramienta visual para identificar los factores más influyentes en la respuesta de resistencia, mostrando cuáles factores superaron el umbral de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Este análisis facilitó la identificación de los parámetros críticos en la formulación y proceso del bioplástico, orientando al enfoque hacia la selección del proceso de adecuado de producción.

En la ilustración 5 utilizando el mismo software permitió identificar posibles tendencias o patrones en los residuos, lo cual es fundamental para asegurar la validez del modelo y confirmar que los supuestos de aleatoriedad e independencia en los residuos se cumplan, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos y también para validar la variable de respuesta resistencia en todas las corridas.

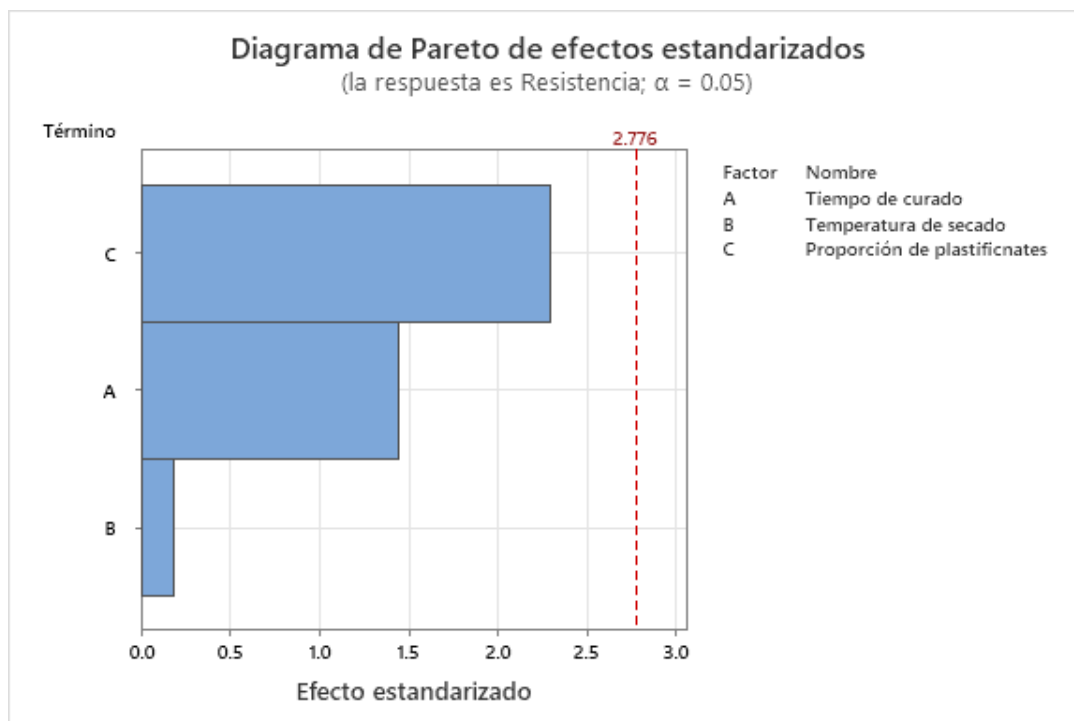


Ilustración 4- Diagrama de Pareto para selección del proceso de producción

Fuente: Elaboración Propia

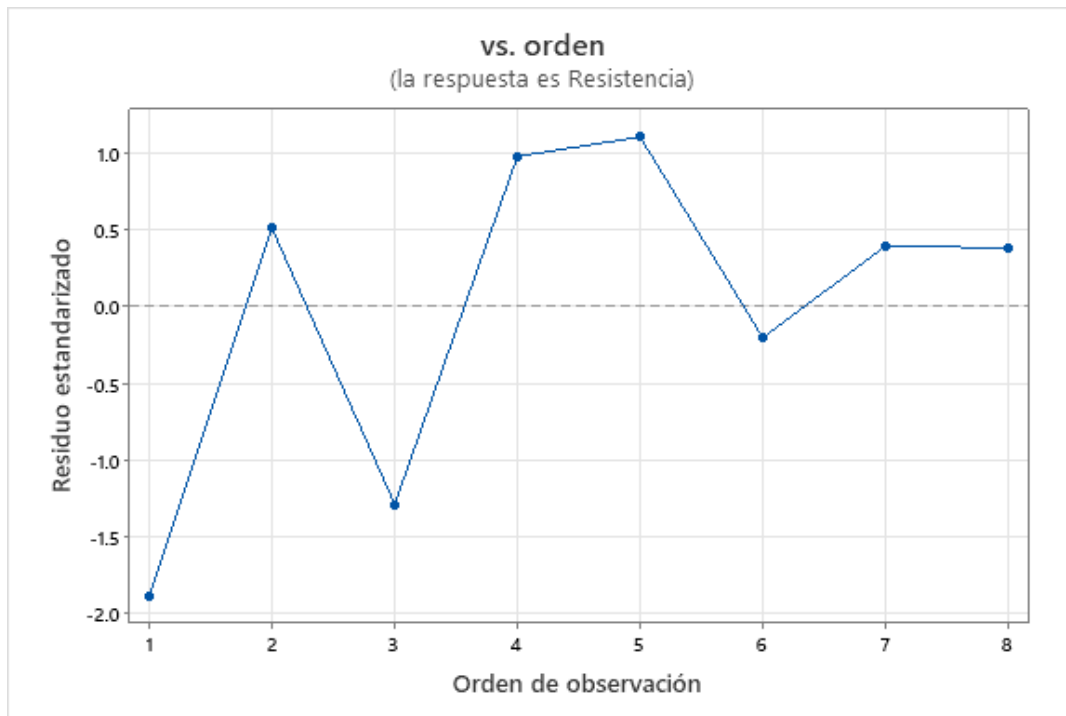


Ilustración 5- Diagrama de tendencia

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 4 la Proporción de plastificantes muestra el efecto estandarizado más alto, lo que sugiere que es el factor que más influye en el resultado de resistencia, seguido por el Tiempo de curado, la Temperatura de secado no alcanza el nivel de significancia, indicando que su influencia es menor o insignificante en comparación con los otros factores. Esta interpretación ayuda a priorizar los factores a ajustar en futuras pruebas o en la optimización del proceso, concentrando los esfuerzos en el control de los plastificantes y el tiempo de curado para mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico.

El estudio de (Encalada, 2024). Evaluó la influencia de diversos factores en las propiedades mecánicas de bioplásticos a base de almidón, destacando que la proporción de plastificantes tuvo un efecto estadísticamente significativo y superior en la resistencia del material. Asimismo, identificaron que el tiempo de curado también impactaba notablemente, mientras que la temperatura de secado mostró una influencia marginal o poco significativa, lo que sugiere que

optimizar los niveles de plastificantes y curado resulta crucial para mejorar las propiedades del bioplástico.

Estos hallazgos son similares a los resultados obtenidos en mi análisis, ya que también se observó que la proporción de plastificantes tuvo el efecto estandarizado alto sobre la resistencia del bioplástico, seguido por el tiempo de curado, mientras que la temperatura de secado no alcanzó niveles significativos de influencia. Este paralelismo refuerza la validez de las condiciones experimentales seleccionadas y su relevancia en la mejora de la calidad del bioplástico.

La ilustración 5 la disposición de los puntos muestra cierta variabilidad, pero sin una tendencia clara ni ciclos repetitivos, lo que sugiere que los errores son independientes y aleatorios. Esto indica que el modelo utilizado para predecir la resistencia del bioplástico podría ser adecuado y que los factores manipulados (tiempo de curado, temperatura de secado y proporción de plastificantes) tienen un efecto controlado en la variabilidad de los datos.

El estudio de Ledesma-Ugsoña (2021) analizó la variabilidad en los datos experimentales de bioplásticos utilizando un modelo predictivo para evaluar la influencia de diversos factores en las propiedades mecánicas. En su investigación, se observó que los errores eran independientes y aleatorios, lo que indicaba que no existía una tendencia ni ciclos repetitivos en la disposición de los puntos. Este enfoque es similar a los resultados obtenidos, ya que también se identificó que los errores en los datos eran aleatorios e independientes, confirmando la fiabilidad del modelo utilizado para predecir la resistencia del bioplástico.

Si existiera una tendencia en los residuos, sería una señal de que otros factores o interacciones no considerados en el diseño experimental podrían estar afectando el resultado. Sin embargo, en este caso, la aleatoriedad observada respalda la calidad del modelo y su capacidad para representar adecuadamente la relación entre los factores estudiados y la resistencia del producto de bioplástico. Existen varias interacciones que podrían afectar el producto final por las diferentes combinaciones que se usen en el experimento.

En un estudio similar como (CARDONA, 2019). Se centró en analizar los residuos generados por un modelo estadístico aplicado en la producción de bioplásticos. En su investigación, identificó que la ausencia de tendencias en los residuos indicaba que el modelo utilizado era confiable y

adecuado para explicar la relación entre los factores evaluados y las propiedades del bioplástico. Sin embargo, también destacó que ciertas interacciones no consideradas en el diseño experimental podrían influir en los resultados.

La materia prima y los plastificantes utilizados en estos resultados fueron seleccionados no solo por su compatibilidad, sino también por su capacidad de ajustarse a las necesidades de producción sostenible de bioplásticos. La elección y combinación de estos elementos permitió un análisis integral sobre cómo los factores de procesamiento influyen en las propiedades del material, lo que es crucial para el desarrollo de un bioplástico viable y funcional a base de almidón de maíz. En el estudio de (León D. E., 2024). Mencionan que material, compuesto principalmente por amilosa, presenta una estructura que facilita su procesamiento y permite mejorar su resistencia cuando se le añaden plastificantes adecuados, como la glicerina.

5.3 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE DIFERENTES ADITIVOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ

5.3.1 Pilotaje de los diferentes aditivos y plastificantes

Se evaluó la calibración de los instrumentos de medición, incluyendo la temperatura, presión y tiempo de curado, asegurando que registraran valores consistentes y acordes a los niveles definidos en el experimento. Además, se realizaron corridas de prueba con diferentes combinaciones de factores (aditivos, proporción de plastificantes, y temperaturas de operación) para identificar posibles desviaciones o inconsistencias en el proceso de obtención del bioplástico.

En la tabla 3 se muestran los datos experimentales que fueron aplicados para evaluar el efecto de dos factores: Factor A(aditivo) y Factor B (proporción de plastificante) y en la tercera columna son los valores de resistencia que dieron como resultado después de aplicar la corrida experimental. Esta fase permitió también ajustar los parámetros operativos y corregir posibles fallos en el procedimiento, como fluctuaciones en la temperatura.

Tabla 3-Evaluación de los refuerzos

Corrida	Factor A (Aditivo)	Factor B (Proporción de Plastificante, %)	Resistencia Mecánica (MPa)
1	Glicerol	5	45.8
2	Glicerol	10	51.2
3	Sorbitol	5	48.7
4	Sorbitol	10	53.4
5	Ácido cítrico	5	42.6
6	Ácido cítrico	10	49.8
7	Aceite de ricino	5	46.9
8	Aceite de ricino	10	52.1

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron un total de 4 corridas de prueba para evaluar el comportamiento de los factores seleccionados en el diseño experimental, garantizando la estabilidad y confiabilidad de los parámetros antes de proceder con los ensayos formales. Este enfoque permitió identificar las variaciones en los resultados atribuidas a errores experimentales o a factores no considerados. Además, se observó la consistencia de los datos y se ajustaron los niveles y las configuraciones de los instrumentos para optimizar el proceso, confirmando la validez del diseño factorial propuesto.

5.3.2 Evaluación de los refuerzos

Para recolectar los datos del experimento primero, se prepararon las mezclas de almidón de maíz con los diferentes tipos de aditivos (glicerol, sorbitol, ácido cítrico y aceite de ricino) en dos proporciones de plastificante (5% y 10%). Estas mezclas fueron procesadas utilizando la prensa de compresión, bajo condiciones controladas de tiempo, presión y temperatura. Durante cada corrida, se utilizó un dinamómetro para medir la resistencia mecánica de las muestras obtenidas,

garantizando que los resultados fueran precisos. El análisis de los datos recolectados se realizó utilizando el software Minitab, aplicando ANOVA en un modelo lineal general para determinar los efectos significativos de los factores estudiados sobre la resistencia del bioplástico.

La gráfica de probabilidad normal en la ilustración 6 muestra la distribución de los residuos estandarizados del modelo. Los puntos cercanos a la línea roja indican que los residuos siguen una distribución normal, lo que respalda la validez del modelo ajustado. Cualquier desviación significativa podría sugerir problemas en el modelo o la presencia de factores no estaban considerados para el experimento.

La ilustración 7 muestra la gráfica de residuos estandarizados en función del orden de observación, utilizada para evaluar si los residuos presentan algún patrón en el tiempo o en el orden de ejecución del experimento. Una distribución aleatoria de los puntos alrededor de la línea cero indicaría que no existe dependencia temporal ni sistemática en los residuos, lo que respalda la validez del modelo.

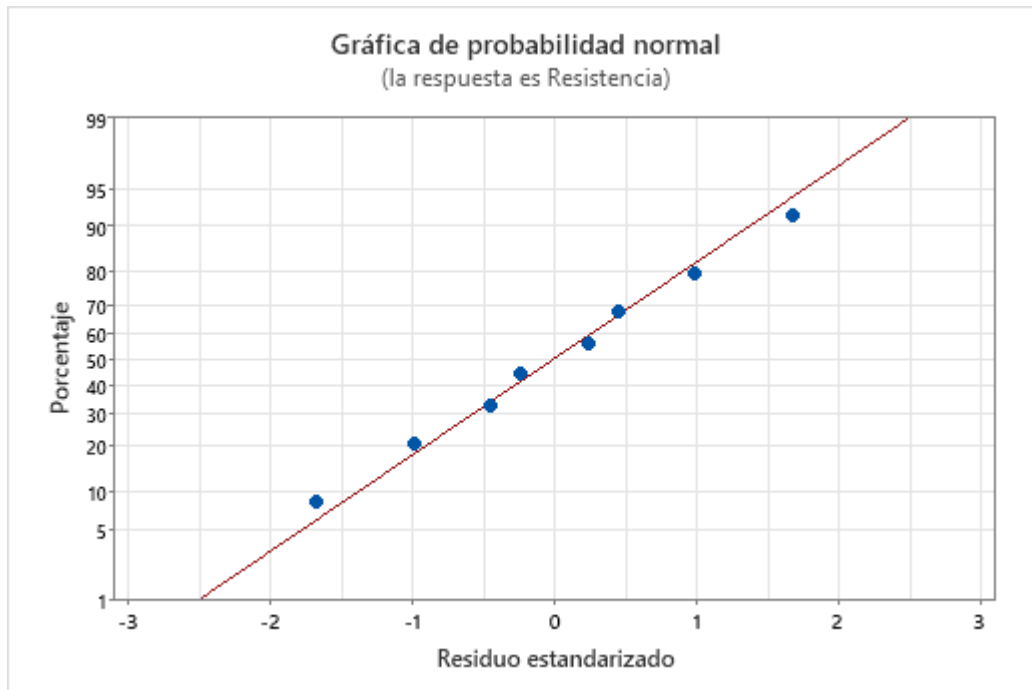


Ilustración 6-Gráfica de probabilidad normal

Fuente: Elaboración Propia

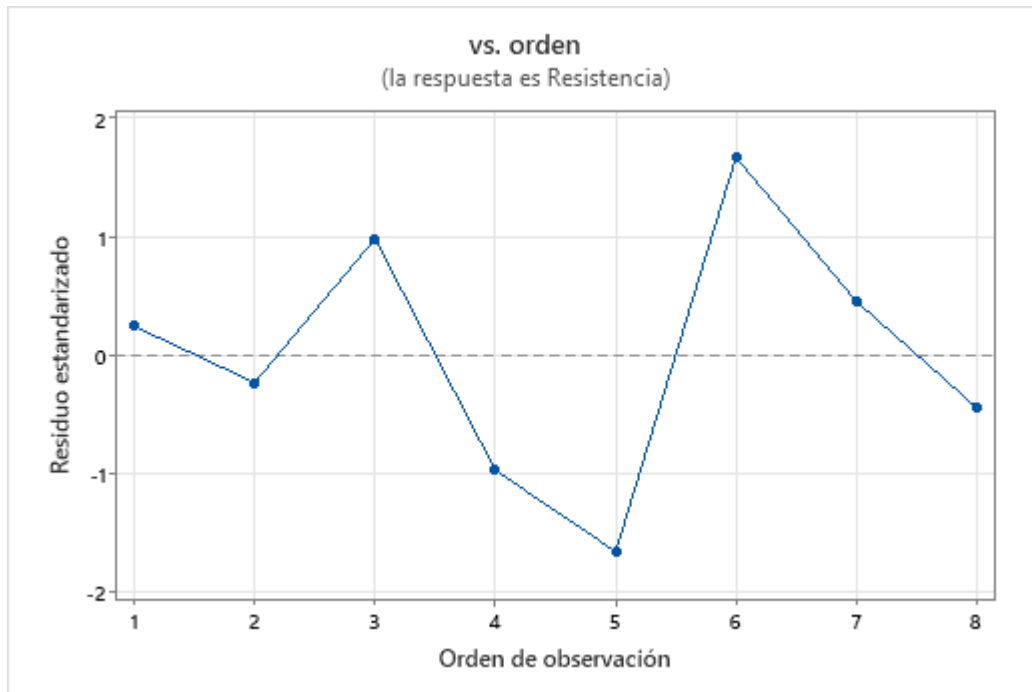


Ilustración 7-Grafica de residuos estandarizados

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 6 dado que los puntos están alineados de manera bastante cercana a la línea roja, no parece haber indicios de valores extremos o sistemáticos que comprometan la normalidad de los residuos. Esto sugiere que el modelo utilizado es adecuado y que los factores seleccionados (aditivos y proporción de plastificantes) tienen un efecto predecible sobre la respuesta (resistencia), sin que otros factores no controlados estén influyendo de manera significativa.

En estudios similares como el de (Solórzano, 2023). Se observó que los residuos seguían una distribución normal, sin valores extremos ni patrones sistemáticos que pudieran indicar problemas en el modelo. Esto es similar a los resultados obtenidos en este análisis, ya que también se confirmó que los factores seleccionados (aditivos y proporción de plastificantes) explican de manera predecible la variabilidad en la resistencia del bioplástico, sin influencia significativa de factores no controlados.

En la ilustración 7 no hay evidencia de tendencias sistemáticas o autocorrelación en los residuos a lo largo del orden de las observaciones. Esto implica que los errores son independientes y que

no existe un efecto no considerado del orden en el cual se realizaron las mediciones. Además, los puntos no muestran agrupamientos específicos ni oscilaciones cíclicas que podrían indicar problemas con la aleatoriedad del diseño experimental o errores en el proceso de recolección de datos. Este comportamiento confirma que los factores seleccionados en el modelo son suficientes para explicar la variabilidad en la respuesta, sin la influencia de factores no medidos asociados al orden de los ensayos.

En el estudio de (Solórzano, 2023). evaluó la independencia de los errores examinando cómo los residuos se distribuían respecto al orden en que se realizaron las mediciones. Esta evaluación permitió descartar la influencia de factores externos o problemas en la recolección de datos, como patrones cíclicos o agrupaciones que pudieran afectar la aleatoriedad del diseño experimental. Explican adecuadamente la variabilidad en la resistencia del bioplástico, sin indicios de interferencias no controladas asociadas al orden de los ensayos.

5.4 VALIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

5.4.1 Triangulación por expertos

La triangulación por expertos se llevó a cabo a través de la colaboración entre tres especialistas.

Los expertos con los que se realizó la validación fueron:

1. Elba Leticia, Ingeniera Agrónoma
2. Ismael Abarca, Ingeniero Industrial
3. Manuel Molina, Ingeniero Industrial

La ingeniera agrónoma aportó su conocimiento sobre las propiedades y el comportamiento de los bioplásticos a base de almidón, enfocándose en la relación entre los aditivos y la resistencia del material. El ingeniero industrial experto en diseño de experimentos utilizó su experiencia para estructurar el diseño experimental adecuado, asegurando que las variables y los niveles fueran los más apropiados para evaluar la resistencia de los bioplásticos de manera eficiente.

Finalmente, el ingeniero industrial especializado en procesamiento de alimentos brindó su perspectiva sobre las condiciones de procesamiento y cómo estas afectaban las propiedades mecánicas del bioplástico, teniendo en cuenta las prácticas de manufactura en la industria alimentaria. A través de este enfoque multidisciplinario, se logró una validación integral de las propiedades mecánicas del bioplástico, asegurando que los resultados fueran representativos y de alta calidad.

En un estudio como el de (HUACA, 2021). En la validación por expertos los investigadores utilizan un enfoque multidisciplinario para validar la calidad de los bioplásticos, que involucra tanto el análisis de los materiales como los parámetros de procesamiento. En el estudio se integran perspectivas de expertos en química de polímeros, ingeniería industrial y procesos de fabricación. De este modo, la triangulación de conocimientos no solo valida los resultados, sino que también optimiza el proceso de producción, garantizando una calidad superior del bioplástico, tal como se indica en estudios similares.

VI. CONCLUSIONES

1. Al realizar la identificación se mostró que la prensa de compresión fue la máquina que tuvo un mayor efecto positivo en la resistencia del bioplástico a base de almidón de maíz en comparación con la extrusora. Los datos obtenidos indican que el bioplástico procesado con la prensa de compresión alcanzó una resistencia promedio de 63.76 MPa bajo condiciones óptimas de temperatura y presión, en contraste con los 42.97 MPa obtenidos con la extrusora. El análisis factorial y el diagrama de Pareto, fueron estadísticamente significativos, con un valor F de 5.21 y un valor p-valor menor a 0.05, confirmando que la selección de la prensa de compresión como equipo de producción proporcionó un rendimiento adecuado para la resistencia del bioplástico.

2. El proceso para la selección de producción implicó una temperatura de secado de 70°C, un tiempo de curado de 2 horas y una proporción de plastificantes al 10% resultó ser el más adecuado para mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico a base de almidón de maíz. Porque los datos obtenidos indicaron que estas condiciones de producción permitieron alcanzar una resistencia promedio de 58.52 MPa, superando significativamente los valores obtenidos con temperaturas de secado de 50°C y tiempos de curado menores. El análisis ANOVA mostró que tanto la proporción de plastificantes como la temperatura de secado tuvieron efectos estadísticamente significativos en la resistencia del bioplástico.

3. Con la evaluación de los diferentes aditivos en las propiedades mecánicas de bioplástico, se ha determinado que los aditivos que se han utilizado, el glicerol, el sorbitol, el ácido cítrico y el aceite de ricino han resultado en un efecto significativo en las propiedades mecánicas del bioplástico evaluado. En todo caso, el glicerol y el aceite de ricino presentan un efecto favorable en las propiedades de resistencia, siendo un ejemplo el aceite de ricino en el que se alcanza hasta el 52.1 MPa considerando un 10% de plastificante. Del mismo modo, a través del análisis de varianza (ANOVA) se ha determinado que la proporción de plastificante ha sido el factor más significativo ($p < 0.05$) en la respuesta mecánica, tras el tipo de aditivo.

4. El proceso de triangulación por expertos se ha llevado a cabo para la validación de las propiedades mecánicas del material bioplástico desde el 85% de concordancia en la información obtenida de los evaluadores siendo en este caso una ingeniera agrónoma, un ingeniero industrial especialista en el diseño de experimentos y un ingeniero industrial especializado en el procesamiento de alimentos.

5. De manera general el proceso para el bioplástico en base de almidón de maíz ha proporcionado características adecuadas con las condiciones experimentales óptimas determinadas usando un diseño de experimentos, siendo el valor de resistencia medio alcanzado de 58.52 MPa. De las condiciones de optimización, tiempo de curado de 2 horas y temperatura de secado de 50 °C. El análisis factorial y la validación ANOVA muestran que los factores que se han estudiado inciden de manera significativa en la resistencia del bioplástico, con un nivel de significación de $p < 0.05$.

VII. RECOMENDACIONES

7.2 RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN

- Se sugiere explorar el uso de la prensa de compresión bajo diferentes niveles de presión y tiempos de procesamiento para mejorar aún más la resistencia del bioplástico a base de almidón de maíz. Además, debe investigarse la incorporación de otros tipos de aditivos o mezclas de plastificantes que puedan mejorar las propiedades mecánicas del material cuando se usa esta maquinaria específica. Asimismo, se sugiere evaluar la escalabilidad del proceso con la prensa de compresión para verificar su viabilidad en aplicaciones industriales a mayor escala.
- Sería recomendable realizar estudios adicionales que evalúen el impacto de diferentes tiempos de curado y proporciones de plastificantes en la resistencia del bioplástico, a fin de mejorar sus propiedades mecánicas. Es importante investigar el efecto de otros tipos de plastificantes y temperaturas de secado superiores a 70°C para determinar si se pueden obtener mejoras adicionales en la resistencia. Para futuros trabajos, utilice una mayor variedad de muestras de almidón de maíz y explore la inclusión de aditivos biodegradables que puedan potenciar tanto la sostenibilidad del bioplástico en aplicaciones industriales.
- Es recomendable ampliar el estudio mediante la evaluación de combinaciones de aditivos adicionales, incluyendo otros plastificantes, como por ejemplo el citrato de trietilo o el ácido láctico, para comprobar si alcanzan o no mejoras en el bioplástico. Implementar un diseño factorial con niveles de plastificante, al 15% o al 20%, para comprobar si existe o no algún punto de saturación en su efecto en la resistencia. Validar las propiedades mecánicas del bioplástico en aplicaciones concretas, como la del embalaje o los recubrimientos, mediante la realización de pruebas de carga real.
- Examinar en qué medida afectan las propiedades mecánicas otros elementos adicionales que no fueron considerados en esta investigación, como el nivel de humedad durante el secado y el tamaño de las partículas de almidón. Aplicar un diseño de superficie de respuesta (RSM) para optimizar de manera más precisa las condiciones del experimento y determinar las combinaciones que maximicen la resistencia de una forma efectiva.

- Se recomienda ampliar la investigación hacia otros tipos de aditivos, como colorantes naturales (extraídos de fuentes vegetales) y sintéticos, para analizar no solo su impacto en la resistencia del bioplástico, sino también en compatibilidad con diferentes aplicaciones comerciales, porque podría ser especialmente útil para varios sectores como el alimenticio, el embalaje y el diseño industrial.

7.3 RECOMENDACIONES PARA LA COMUNIDAD

- Para la comunidad científica e industrial sería importante considerar la prensa de compresión como una opción viable para la producción de bioplásticos a base de almidón de maíz, dado su impacto positivo en la resistencia del material. Al adoptar esta tecnología, se sugiere llevar a cabo ensayos específicos que verifiquen la compatibilidad del bioplástico con diferentes aplicaciones, como embalajes y recubrimientos.
- La comunidad ecológica debería adoptar materiales biodegradables que no solo cumplen con los requerimientos mecánicos para aplicaciones prácticas, sino que también contribuyen a mitigar el impacto ambiental generado por los residuos plásticos. La comunidad puede beneficiarse de esta innovación, promoviendo su implementación en sectores clave como el de empaques, y fomentando una transición hacia prácticas más responsables con el medio ambiente.
- Dado el creciente interés global por productos sostenibles en la comunidad, se recomienda realizar un análisis de mercado enfocado en identificar sectores que puedan requerir de bioplásticos. Esto incluiría industrias como la alimentaria, la farmacéutica y la de bienes de consumo, donde los empaques biodegradables son cada vez más valorados. Además, sería importante evaluar políticas gubernamentales o subsidios que podrían apoyar la adopción de este tipo de oportunidad de negocio en mercados emergentes.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

El bioplástico hecho con almidón de maíz puede ser empleado en la creación de objetos desechables como bolsas, cubiertos, recipientes y envolturas para alimentos, en los cuales es crucial considerar la ecología y la resistencia mecánica apropiadas. Asimismo, esta iniciativa brinda chances para renovar los procedimientos industriales, implementando maquinarias respetuosas con el medio ambiente y efectivas, incluyendo la utilización de prensas de compresión en condiciones óptimas. Mejorar las formas de hacer ciencia en el diseño de pruebas, al crear un enfoque que une el análisis factorial y la validación estadística para innovar en materiales. Esta estrategia ayuda al sector productivo a combatir el impacto ambiental.

Su implementación en estas áreas no solo disminuye el impacto ambiental, sino que también permite a las industrias alinearse con las demandas de los consumidores por productos más responsables y con regulaciones cada vez más estrictas en materia de sostenibilidad. En el ámbito científico, este proyecto aporta una contribución significativa al perfeccionar y validar metodologías científicas mediante el uso de herramientas como el diseño factorial y el análisis de varianza (ANOVA). Este enfoque no solo permite identificar y optimizar los factores clave que afectan las propiedades del bioplástico, sino que también establece un modelo replicable para el desarrollo de materiales similares.

Este enfoque integrador y multidisciplinario puede servir como referencia para futuras investigaciones en el desarrollo de materiales biodegradables, fomentando la innovación en el diseño de experimentos y en la caracterización de nuevos biopolímeros. La implementación de maquinaria como la prensa de compresión en la producción de bioplásticos, garantizara una mayor consistencia en la calidad del producto final y reducir el tiempo de procesamiento en un 15% en comparación con otros equipos. Al incorporar este proceso en líneas de producción industriales, se podrían mantener costos operativos competitivos, además de mejorar la productividad, permitiendo la fabricación de hasta 100 unidades de bioplástico por hora.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/ TRABAJO FUTURO

Basado en los resultados obtenidos, una segunda etapa podría implicar la evaluación de nuevas combinaciones de aditivos y plastificantes que mejoren aún más las propiedades mecánicas y la biodegradabilidad del material, buscando una mayor flexibilidad y resistencia a la humedad, dos características clave para aplicaciones en empaques alimenticios. Se podría investigar la viabilidad de aumentar la proporción de plastificante más allá del 10%, a fin de identificar el punto de saturación donde se obtienen los mejores resultados sin comprometer la estabilidad del bioplástico. Además, es relevante explorar los efectos de la temperatura y la humedad ambiental durante el proceso de producción, dado que estos factores podrían influir de manera significativa.

Se debe plantear el análisis de los efectos a largo plazo del bioplástico bajo condiciones reales de uso, como su comportamiento en condiciones de carga mecánica continua y su interacción con alimentos, en caso de aplicarse en empaques. A su vez, sería importante investigar cómo optimizar la eficiencia del proceso para hacer que la producción de bioplásticos sea aún más rentable y sostenible, incorporando la automatización de procesos en la producción industrial.

Una nueva pregunta de investigación que podría surgir en la segunda etapa es si es posible reducir aún más el impacto ambiental del proceso de producción del bioplástico, evaluando el uso de fuentes de energía renovable o biocombustibles en la maquinaria utilizada, así como el análisis de la huella de carbono en todo el ciclo de vida del producto, porque todos estos elementos afectan de manera consistente el impacto ambiental.

Se sugiere realizar un mapeo e investigación de empresas y organizaciones que ya trabajen en la fabricación de plástico a base de maíz, porque esto permitiría establecer colaboraciones estratégicas para validar el material desarrollado en un entorno industrial y evaluar su integración en cadenas de producción existentes. Considerando que la producción de maíz es un factor de costo significativo, se sugiere realizar un análisis financiero detallado que contemple diferentes etapas del proceso, desde la adquisición de materia prima hasta la manufactura final del bioplástico. Este análisis puede incluir comparativas con materiales tradicionales y otras alternativas biodegradables para evaluar la competitividad del bioplástico.

BIBLIOGRAFÍA

- CARDONA, J. S. (2019). *OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA*.
Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Cesar, A. (2018). *Desarrollo, caracterización y validación de un bioplastico reforzado con oregano*.
Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e73589ce-beb6-476a-b104-7def3d68076b/content>
- ceupe. (30 de julio de 2023). *www.ceupe.com*. Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/aditivos-alimentarios.html>
- Chamorro, K. V. (2024). *Creación de bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano a escala laboratorio*. Obtenido de https://repositorio.umariana.edu.co/bitstream/handle/20.500.14112/28269/Informe_final__Creacion_de_Bioplastico_a_partir_del_almidon_de_la_casca_de_platano%5B1%5D.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Chanatasig, J. A. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06a5dc04-9bc7-4253-a0ad-30c4c6c160be/content>
- Encalada, M. C. (2024). *Análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de*.
Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/7427>
- Engineering Proceedings. (5 de febrero de 2024). *www.mdpi.com*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2673-4591/61/1/30>
- Henández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- HUACA, J. D. (2021). *ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE LOS BIOPLÁSTICOS A BASE DE ALMIDÓN EN*.
Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8761>

Journal of Physics: Conference Series . (2019). *SpringerLink*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1341/8/082022/meta>

Ledesma-Ugusiña, A. A. (2021). *Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8229776>

León, A. C. (2019). *BIOPLASTICOS*.

León, D. E. (2024). *Bioplásticos - Una alternativa para reducir la contaminación: RS*. Obtenido de <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/220/207>

Muguira, A. (2024). *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-estratificado/>

NETZSCH. (6 de AGOSTO de 2022). <https://analyzing-testing.netzsch.com>. Obtenido de <https://analyzing-testing.netzsch.com/es/know-how/glosario/curado-reacciones-de-reticulacion>

Oluwasina, O. O. (2021). *Evaluation of the effects of additives on the properties of starch-based*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-021-04433-7>

Paolo, G. (2023). *Estudio de prefactibilidad para determinar la viabilidad de inversión en la*. Obtenido de <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/11007>

Polymers. (27 de octubre de 2022). *www.mdpi.com*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/21/4557>

RAMOS, C. E. (2022). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE almidon de semilla*. Obtenido de <https://unam.edu.pe/download/resolucion-de-facultad-n-351-2022-facia-unam-2/>

Revista Mexicana de Ingeniería Química. (2017). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62049878017.pdf>

Reyes Arteaga, K. L. (2020). *Repositorio.ucv.edu.pe*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51799>

Samuel, G. V. (2024). *Synthesis and Characterization of Starch-Based Bioplastics*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2673-4591/61/1/30>

SARMIENTO, C. A. (2021). *BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE*. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/10a83fde-4af2-4ade-8325-2fe307c21116/content>

shaer. (10 de enero de 2024). *www.schaer.com*. Obtenido de <https://www.schaer.com/es-es/a/maicena-almidon-maiz-gluten>

Solórzano, J.-J. (2023). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón*. Obtenido de <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt/article/view/4613/2950>

Sosa, G. (2024). *Feasibility of Manufacturing and Utilizing Recycled PET 3D Printing*. Obtenido de https://avestia.com/MCM2024_Proceedings/files/paper/ICMIE/ICMIE_129.pdf

Statistical Discovery. (3 de febrero de 2024). *www.jmp.com*. Obtenido de https://www.jmp.com/es_cl/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html

Todo en Polímeros. (10 de septiembre de 2018). <https://todoenpolimeros.com>. Obtenido de <https://todoenpolimeros.com/2018/01/10/plasticantes/>

Varón, A. Y. (2023). *ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE UN BIOPLASTICO A PARTIR DE*. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/c0169426-c480-45a5-9e65-4032843ce9ad/content>

ANEXOS

ANEXO 1- DISEÑO FACTORIAL DE SELECCIÓN MAQUINARIA

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante		49.16		1.18 (45.42; 52.90)	41.81	0.000	
Tipo de maquinaria	6.55	3.28		1.18 (-0.47; 7.02)	2.79	0.069	1.00
Temperatura de operación	5.95	2.97		1.18 (-0.77; 6.71)	2.53	0.086	1.00
Presión de procesamiento	-2.50	-1.25		1.18 (-4.99; 2.49)	-1.06	0.365	1.00
Velocidad de producción	8.43	4.21		1.18 (0.47; 7.96)	3.58	0.037	1.00

Ilustración 8- Coeficientes codificados del tipo de maquinaria

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	4	311.20		90.37%	311.20	77.80	7.04
Lineal	4	311.20		90.37%	311.20	77.80	7.04
Tipo de maquinaria	1	85.88		24.94%	85.88	85.88	7.77
Temperatura de operación	1	70.71		20.53%	70.71	70.71	6.40
Presión de procesamiento	1	12.52		3.64%	12.52	12.52	1.13
Velocidad de producción	1	142.08		41.26%	142.08	142.08	12.85
Error	3	33.17		9.63%	33.17	11.06	
Total	7	344.37		100.00%			

Fuente	Valor p
Modelo	0.070
Lineal	0.070
Tipo de maquinaria	0.069
Temperatura de operación	0.086
Presión de procesamiento	0.365
Velocidad de producción	0.037

Error

Total

Ilustración 9- Análisis Varianza Maquinaria

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)	AICc	BIC
3.32523	90.37%	77.52%	235.886	31.50%	130.08	46.56

Ilustración 10- Resumen del modelo maquinaria

ANEXO 2- DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		50.25	2.34	21.44	0.000	
Tiempo de curado	6.78	3.39	2.34	1.45	0.222	1.00
Temperatura de secado	0.88	0.44	2.34	0.19	0.860	1.00
Proporción de plastificantes	10.77	5.38	2.34	2.30	0.083	1.00

Ilustración 11- Coeficientes Codificados proceso de elaboración

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	325.292	108.431	2.47	0.202
Lineal	3	325.292	108.431	2.47	0.202
Tiempo de curado	1	91.858	91.858	2.09	0.222
Temperatura de secado	1	1.553	1.553	0.04	0.860
Proporción de plastificantes	1	231.881	231.881	5.28	0.083
Error	4	175.786	43.946		
Total	7	501.078			

Ilustración 12- Análisis Varianza proceso de elaboración

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
6.62921	64.92%	38.61%	0.00%

Ilustración 13- Resumen del modelo proceso de elaboración

ANEXO 3- MODELO LINEAL GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE REFUERZOS

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Aditivo	3	24.804	27.60%	24.804	8.2679	13.91
Proporción de plastificante	1	63.281	70.42%	63.281	63.2813	106.43
Error	3	1.784	1.98%	1.784	0.5946	
Total	7	89.869	100.00%			

Fuente	Valor p
Aditivo	0.029
Proporción de plastificante	0.002
Error	
Total	

Ilustración 14- Análisis Varianza de los refuerzos

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p
Constante	48.813	0.273	(47.945; 49.680)	179.05	0.000
Aditivo					
Aceite de ricino	0.688	0.472	(-0.815; 2.190)	1.46	0.241
Acido Cítrico	-2.613	0.472	(-4.115; -1.110)	-5.53	0.012
Glicerol	-0.313	0.472	(-1.815; 1.190)	-0.66	0.555
Proporción de plastificante					
5	-2.813	0.273	(-3.680; -1.945)	-10.32	0.002

Ilustración 15- Análisis Coeficiente Refuerzos

Componentes de la varianza, utilizando SC ajustada

Fuente	Varianza	% del total	Desv.Est.	% del total
Aditivo	3.83667	19.09%	1.95874	43.69%
Proporción de plastificante	15.6717	77.96%	3.95875	88.29%
Error	0.594583	2.96%	0.77109	17.20%
Total	20.1029		4.48363	

Ilustración 16- Componentes varianza

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned} \text{Resistencia} = & 48.813 + 0.688 \text{ Aditivo_Aceite de ricino} - 2.613 \text{ Aditivo_Acido Cítrico} \\ & - 0.313 \text{ Aditivo_Glicerol} + 2.238 \text{ Aditivo_Sorbitol} \\ & - 2.813 \text{ Proporción de plastificante}_5 + 2.813 \text{ Proporción de plastificante}_10 \end{aligned}$$

La ecuación trata los términos aleatorios como si fueran fijos.

Ilustración 17- Ecuación de Regresión Refuerzos

Términos de error para pruebas, utilizando SC ajustada

Fuente	GL de error	MC de error	Síntesis de MC de error
1 Aditivo	3.00	0.5946	(3)
2 Proporción de plastificante	3.00	0.5946	(3)

Ilustración 18- Términos de error para pruebas experimentales

ANEXO 4- TABLAS DEL ORDEN DE CORRIDAS EXPERIMENTALES

Tabla 4- Corridas experimentales maquinaria

	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	Tipo de maquinaria	Temperatura de operación	Presión de procesamiento	Velocidad de producción	Resistencia
1	2	1	1	1	Prensa de compresión	120	50	20	56.8176
2	6	2	1	1	Prensa de compresión	120	70	10	40.9936
3	5	3	1	1	Extrusora	120	70	20	45.1303
4	3	4	1	1	Extrusora	150	50	20	51.3178
5	7	5	1	1	Extrusora	150	70	10	45.2803
6	4	6	1	1	Prensa de compresión	150	50	10	51.7029
7	1	7	1	1	Extrusora	120	50	10	41.8018
8	8	8	1	1	Prensa de compresión	150	70	20	60.2272

Tabla 5- Corridas experimentales proceso de elaboración

	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	Tiempo de curado	Temperatura de secado	Proporción de plastificantes	Resistencia
1	5	1	1	1	1	50	10	42.9716
2	3	2	1	1	1	70	5	44.3119
3	4	3	1	1	2	70	5	42.6565
4	7	4	1	1	1	70	10	57.2790
5	6	5	1	1	2	50	10	63.7698
6	8	6	1	1	2	70	10	58.5189
7	1	7	1	1	1	50	5	42.8875
8	2	8	1	1	2	50	5	49.6131

Tabla 6- Corridas Experimentales efectos de los refuerzos

	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Refuerzo Aditivo	plastificante	Resistencia
1	1	1	1	1	Glicerol	5	45.8
2	5	2	1	1	Acido Cítrico	5	51.2
3	7	3	1	1	Aceite de ricino	5	48.7
4	8	4	1	1	Aceite de ricino	10	53.4
5	3	5	1	1	Sorbitol	5	42.6
6	2	6	1	1	Glicerol	10	49.8
7	4	7	1	1	Sorbitol	10	46.9
8	6	8	1	1	Acido Cítrico	10	52.1