

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Bioplásticos degradables a base de almidón termoplástico modificado y
alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica**

Tesis Presentada para optar el Título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Maria Carla Roman Santa Cruz

Yan Kuper Perez Arriola

Asesor:

PhD. Noé Benjamín Pampa Quispe

Lima, junio de 2019

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “BIOPLÁSTICOS DEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO MODIFICADO Y ALGINATO DE SODIO REFORZADO CON MONTMORILLONITA SÓDICA” constituye la memoria que presenta los bachilleres María Carla Roman Santa Cruz y Yan Kuper Perez Arriola para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, 21 de junio de 2019.



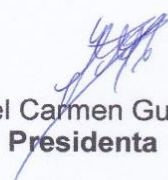
Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

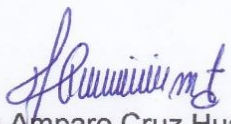
Bioplásticos degradables a base de almidón termoplástico modificado
y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica

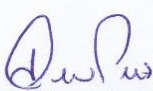
TESIS

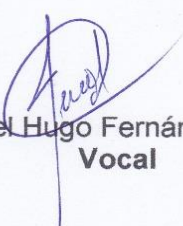
Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

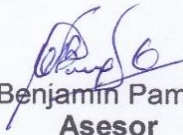
JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Secretaria


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Vocal


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Vocal


Dr. Noé Benjamin Pampa Quispe
Asesor

Lima, 20 de junio de 2019

Dedicatoria

A Dios, quién es nuestro guía celestial, que en su inmenso amor nos fortaleció, nos dio sabiduría y perseverancia para poder culminar este trabajo de investigación.

Con gratitud a nuestros padres, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por permitirnos culminar esta investigación y guiarnos como una luz en nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos por su apoyo, comprensión y motivación durante el desarrollo de esta investigación.

A nuestros familiares y amigos que nos acompañaron en este camino con sus consejos y palabras de aliento.

A nuestro asesor Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe por incentivarnos a la investigación, por su paciencia y comprensión para absolver cada una de nuestras dudas; y dirigirnos en el desarrollo de esta tesis.

A BECA 18 del Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) del Estado Peruano, por la educación y el apoyo financiero para lograr ser agentes transformadores en nuestra familia y la comunidad.

A la Universidad Peruana Unión y a cada docente que fue parte de nuestra formación profesional, personal y espiritual.

A los jefes de Laboratorio de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por brindarnos las instalaciones y aportar bajo sus experiencias criterios para la ejecución de pruebas de laboratorio.

Al Dr. Raúl Siche Jara de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo por brindarnos el acceso a los laboratorios para el desarrollo de pruebas mecánicas.

Resumen

Actualmente es un problema global la alta presencia de residuos plásticos en los diversos ecosistemas que causan una alteración negativa, bajo este marco contextual, el objetivo de la presente investigación fue elaborar un bioplástico degradable a base de almidón de papa modificado y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica. Para ello en la primera etapa se obtuvo la montmorillonita y se le realizó el análisis de propiedades morfológicas mostrando una estructura laminar; la composición mineralógica y la distancia interlaminar presentando 12.26 \AA (1.226 nm). Se caracterizó el almidón obteniendo un biopolímero con 35% de amilosa y 65% de amilopectina. Se utilizó el método casting para obtener los bioplásticos siguiendo el diseño central compuesto (DCC) 2^2 al 95% de confianza el cual comprende relaciones de Alginato/almidón (0.4:1, 0.5:1, 0.75:1, 1:1 y 1.1:1), montmorillonita sódica en concentraciones (0,12, 0,15, 0,225, 0,3, 0,33 gr/100 mL) y se fijó 1.5 mL de glicerol para cada tratamiento como plastificante. Se evaluaron las propiedades mecánicas, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y degradabilidad ambiental. El análisis estadístico tuvo que tanto las relaciones alginato/almidón y la MMT fueron significativos presentando bioplásticos con resistencia a la tracción máxima de 8.97 Mpa, 66.55% máximo de elongación, permeabilidad al vapor de agua mínima de $5.40 \cdot 10^{-11} \text{ g mm/h m}^2 \text{ kPa}$, solubilidad en agua máxima de 61.90% en 24 horas y alta degradabilidad en 35 días. Concluyendo así que el bioplástico obtenido tiene buenas propiedades como empaque generando un impacto mucho menor en comparación al plástico convencional.

Palabras Clave: Bioplásticos, degradable, almidón modificado de papa, montmorillonita sódica, alginato de sodio.

Abstract

Currently, the high presence of plastic waste in the various ecosystems that cause a negative alteration is a global problem. Under this contextual framework, the objective of the present investigation was to develop a degradable bioplastic based on modified potato starch and sodium alginate reinforced with sodium montmorillonite. For this, in the first stage the montmorillonite was obtained and the analysis of morphological properties was carried out showing a laminar structure; the mineralogical composition and the interlaminar distance presenting 12.26 Å (1.226 nm). The starch was characterized obtaining a biopolymer with 35% amylose and 65% amylopectin. The casting method was used to obtain the bioplásticos following the central design composed (DCC) 2^2 to 95% confidence which includes alginate / starch (0.4: 1, 0.5: 1, 0.75: 1, 1: 1 and 1.1: 1), sodium montmorillonite in concentrations (0.12, 0.15, 0.225, 0.3, 0.33 g / 100 mL) and 1.5 mL of glycerol was fixed for each treatment as a plasticizer. The mechanical properties, solubility, water vapor permeability and environmental degradability were evaluated. The statistical analysis had that both the alginate / starch ratios and the MMT were significant, presenting bioplastics with a maximum tensile strength of 8.97 MPa, 66.55% maximum elongation, minimum water vapor permeability of $5.40 \cdot 10^{-11}$ g mm / h m² kPa, maximum water solubility of 61.90% in 24 hours and high degradability in 35 days. Concluding thus that the bioplastic obtained has good properties as packaging generating a much lower impact compared to conventional plastic.

Keywords: Bioplastics, degradable, modified potato starch, sodium montmorillonite, sodium alginate.

Índice General

Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos.....	V
Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Índice General.....	1
Índice de Figuras.....	7
Índice de Ecuaciones.....	9
Índice de Anexos.....	10
Símbolos/Nomenclatura.....	12
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	15
1.1.1. Objetivo General.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
CAPÍTULO II.....	16
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Marco legal.....	16
2.2. Bioplástico.....	18
2.2.1. Clasificación de bioplásticos.....	18
2.2.1.1. Polímeros naturales.....	18
2.2.1.2. Materiales hechos de monómeros biológicos.....	18
2.2.1.3. Polímeros producidos por microorganismos.....	19
2.2.2. Aplicaciones de los Bioplásticos.....	19
2.3. Biopolímeros.....	20
2.3.1. Almidón.....	20
2.3.2. Principales fuentes de almidón.....	21

2.4.	Almidón de papa	22
2.4.1.	Almidón termoplástico modificado.....	23
2.4.2.	Propiedades funcionales	24
2.4.2.1.	Gelatinización.....	24
2.4.2.2.	Pre - Gelatinización.....	25
2.4.2.3.	Retrogradación	25
2.5.	Plastificantes.....	25
2.5.1.	Glicerol.....	26
2.6.	Alginato	27
2.6.1.	Aplicaciones del alginato de sodio.....	28
2.7.	Arcilla.....	28
2.7.1.	Bentonita	30
2.7.2.	Montmorillonita	30
2.7.3.	Propiedades de la Montmorillonita	31
2.7.3.1.	Rellenos y refuerzo de montmorillonita sódica.....	31
2.8.	Técnicas para elaborar bioplásticos.....	33
2.8.1.	Método Casting o Vaciado.....	33
2.8.2.	Método de moldeo por compresión y extrusión.....	33
2.9.	Técnicas de caracterización de bioplásticos.....	34
2.9.1.	Propiedades mecánicas.....	34
2.9.1.1.	Resistencia a la tensión y elongación.....	35
2.9.1.2.	Módulo de Young.....	36
2.9.2.	Propiedades de Barrera.....	36
2.9.2.1.	Solubilidad	36
2.9.2.2.	Permeabilidad al vapor de agua	37
2.9.3.	Difracción de rayos X	38
2.9.4.	Microscopía Electrónica de barrido	39

2.10.	Degradabilidad	39
2.10.1.	Mecanismos de degradabilidad	40
2.10.2.	Degradación biológica o Biodegradación	41
2.10.2.1.1.	Biodegradación Aerobia	42
2.10.2.1.2.	Biodegradación Anaerobia	42
2.10.2.1.3.	Degradación ambiental	42
CAPÍTULO III		44
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	44
3.1.	Lugar de ejecución	44
3.2.	Materiales y equipos.....	45
3.2.1.	Materiales	45
3.2.2.	Insumos	45
3.2.3.	Reactivos	45
3.2.4.	Equipos.....	46
3.3.	Metodología	46
3.3.1.	Procedimiento para la obtención de montmorillonita	46
3.3.2.	Caracterización de la Montmorillonita.....	47
3.3.2.1.	Estructura - Difracción de rayos x.....	47
3.3.2.2.	Morfología por MEB.....	47
3.3.3.	Procedimiento para la obtención de amilosa.....	48
3.3.4.	Procedimiento para la obtención de amilopectina.....	49
3.3.5.	Procedimiento para la obtención del bioplástico.....	50
3.3.6.	Caracterización de la película bioplástica	50
3.3.6.1.	Ensayo de propiedades mecánicas	50
3.3.6.2.	Ensayo de permeabilidad	51
3.3.6.3.	Ensayo de Solubilidad	52
3.3.6.4.	Ensayo de degradabilidad ambiental.....	53

3.4.	Diseño experimental.....	54
3.4.1.	Diseño estadístico.....	54
CAPÍTULO IV		58
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1.	Resultados morfológicos de la montmorillonita sódica	58
4.2.	Caracterización mineralógica de la montmorillonita	59
4.3.	Caracterización del contenido de amilosa y amilopectina	61
4.4.	Elaboración del bioplástico	62
4.4.1.	Ensayo de Propiedades mecánicas	64
4.4.2.	Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua.....	71
4.4.3.	Ensayo de Solubilidad.....	75
4.4.4.	Ensayo de Degradabilidad.....	79
4.4.4.1.	Modelo Polinomial.....	82
4.4.4.2.	Modelo Lineal	84
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1.	Conclusiones	89
5.2.	Recomendaciones.....	90
6.	REFERENCIAS	91
7.	ANEXOS.....	106

Índice de Tablas

Tabla 1 Normativas relacionadas.....	17
Tabla 2 Taxonomía de la papa.....	22
Tabla 3 Tipos de minerales.....	29
Tabla 4 Clasificación de mecanismos de degradación.....	41
Tabla 5 Materiales.....	45
Tabla 6 Insumos.....	45
Tabla 7 Reactivos.....	45
Tabla 8 Equipos utilizados.....	46
Tabla 9 Factores de corrección para los valores azules no valorados a 20 °C.....	49
Tabla 10 Parámetros y niveles del diseño central compuesto (DCC) 2 ²	56
Tabla 11 Relación de los biopolímeros.....	56
Tabla 12 Variables de respuesta codificada y no codificada.....	57
Tabla 13 Contenido de amilosa y amilopectina.....	61
Tabla 14 Resultados generales.....	63
Tabla 15 Resultados de fuerza de ruptura y elongación.....	64
Tabla 16 Análisis de varianza de fuerza de ruptura.....	64
Tabla 17 Análisis de varianza de elongación.....	67
Tabla 18 Coeficiente de Regresión Lineal de Elongación.....	69
Tabla 19 Resultados de Permeabilidad al vapor de agua.....	71
Tabla 20 Análisis de varianza de permeabilidad al vapor de agua.....	72
Tabla 21 Coeficiente de Regresión Lineal de Permeabilidad al vapor de agua.....	74
Tabla 22 Resultados de solubilidad.....	75
Tabla 23 Análisis de Varianza de Solubilidad al agua.....	76
Tabla 24 Coeficiente de Regresión Lineal de Solubilidad en Agua.....	78
Tabla 25 Modelo lineal y cuadrático de datos ajustados.....	81

Tabla 26 Modelo polinómico de datos de Degradabilidad	82
Tabla 27 Análisis de Varianza de Degradabilidad de MP 35 días.....	82
Tabla 28 Modelo lineal de datos de Degradabilidad	84
Tabla 29 Análisis de Varianza de ML 50 días.....	84

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de bioplásticos según su origen.	19
Figura 2. Estructura química de la amilosa (a) y amilopectina (b).	21
Figura 3. Estructura molecular del glicerol.	26
Figura 4. Estructura del alginato de sodio.	27
Figura 5. Estructura de las arcillas.	29
Figura 6. Estructura de la montmorillonita.	31
Figura 7. Formación de compuestos (morfología polímero-arcilla).	32
Figura 8. Esquema de extrusora de biopolímeros.	34
Figura 9. Gráfico de las curvas tensión-deformación obtenidas por flexión más comunes.	35
Figura 10. Esquema de la Ley de Bragg.	38
Figura 11. Proceso de degradación de plásticos.	40
Figura 12. Proceso de biodegradación de bioplásticos.	41
Figura 13. Ubicación de laboratorios.	44
Figura 14. Diseño central compuesto para dos factores.	54
Figura 15. Micrografías de Montmorillonita sódica.	58
Figura 16. Difractograma de la Montmorillonita.	59
Figura 17. Gráfica de Pareto de fuerza de ruptura (MPa).	65
Figura 18. Diagrama de superficie de respuesta de fuerza de ruptura.	66
Figura 19. Diagrama de contorno de fuerza de ruptura.	66
Figura 20. Gráfica de Pareto de elongación (%).	67
Figura 21. Diagrama de superficie de respuesta de elongación.	68
Figura 22. Diagrama de contorno de elongación.	68
Figura 23. Gráfica de Pareto de permeabilidad al vapor de agua.	72
Figura 24. Diagrama de superficie de respuesta de permeabilidad al vapor de agua.	73

Figura 25. Diagrama de contorno de permeabilidad al vapor de agua.	73
Figura 26. Gráfica de Pareto de solubilidad en agua.	76
Figura 27. Diagrama de superficie de respuesta de solubilidad.	77
Figura 28. Diagrama de contorno de solubilidad.....	77
Figura 29. Degradación ambiental en 35 días.....	80
Figura 30. Gráfica de Pareto de degradabilidad en MP 35 días	83
Figura 33. Gráfica de Pareto de degradabilidad en ML 50 días.	85
Figura 34. Diagrama de superficie de respuesta de degradabilidad en ML 50 días. .	86
Figura 35. Diagrama de contorno de degradabilidad en ML 50 días.	86

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Resistencia a la tensión (RT)	35
Ecuación 2. Elongación (X).....	35
Ecuación 3. Módulo de Young (E)	36
Ecuación 4. Solubilidad (S)	37
Ecuación 5. Valor azul (VA)	49
Ecuación 6. Porcentaje de amilosa (%)	49
Ecuación 7. Porcentaje de amilopectina (%)	49
Ecuación 8. Ley de Bragg.....	47
Ecuación 9. Permeabilidad al vapor agua (PVA)	51
Ecuación 10. Permeanza	52
Ecuación 11. Permeabilidad al vapor de agua final (PVA)	52
Ecuación 12. Solubilidad en agua (%).....	53
Ecuación 13. Pérdida de peso (%)	54
Ecuación 14. Número de tratamientos	55
Ecuación 15. Elongación (%)	69
Ecuación 16. Permeabilidad al vapor de agua	74
Ecuación 17. Solubilidad en agua.....	78

Índice de Anexos

Anexo 1. Procedimiento de obtención de montmorillonita sódica.....	106
Anexo 2. Secado y molido de la Montmorillonita sódica.....	106
Anexo 3. Equipo de Difracción de Rayos X.....	107
Anexo 4. Microscopio electrónico de barrido	107
Anexo 5. Cuantificación de amilosa y amilopectina	108
Anexo 6. Procedimiento para la obtención del bioplásticos.....	108
Anexo 7. Tratamientos según diseño estadístico DCC 2 ²	109
Anexo 8. Probetas de bioplásticos para el ensayo de propiedades mecánicas	110
Anexo 9. Texturómetro.....	110
Anexo 10. Análisis de propiedades mecánicas de bioplásticos	111
Anexo 11. Curvas del ensayo de fuerza de ruptura y elongación.....	111
Anexo 12. Ensayo de permeabilidad al vapor de agua	112
Anexo 13. Ensayo de solubilidad en agua	112
Anexo 14. Procedimiento de adecuación para la degradación de bioplásticos	113
Anexo 15. Proceso de degradación ambiental de bioplásticos	114
Anexo 16. Ficha Técnica del almidón de papa modificado.....	116
Anexo 17. Ficha Técnica de Alginato de sodio	117
Anexo 18. Ficha técnica de bentonita sódica.....	118
Anexo 19. Constancia de análisis de montmorillonita sódica	119
Anexo 20. Operacionalización.....	120
Anexo 21. Matriz de Consistencia.....	121
Anexo 22. Resultados de ensayo de fuerza de ruptura y elongación.....	123
Anexo 23. Registro del incremento del peso en la prueba de permeabilidad.	124
Anexo 24. Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua.	125
Anexo 25. Registro de peso diario de bioplásticos en el ensayo de degradabilidad	126

Anexo 26. Registro de cálculo de datos de Solubilidad 127

Símbolos/Nomenclatura

\AA	Angstrom
<i>DCC</i>	Diseño central compuesto
<i>ML</i>	Modelo lineal
<i>MP</i>	Modelo polinomial
<i>DRX</i>	Difracción de rayos x
<i>FAO</i>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<i>g/100ml</i>	Partes por cada 100 mililitros
<i>HR</i>	Humedad relativa
<i>INACAL</i>	Instituto Nacional de Calidad
<i>MEB</i>	Microscopía electrónica de barrido
<i>Mer</i>	Monómero
<i>MINAM</i>	Ministerio del Ambiente
<i>MMT</i>	Montmorillonita
<i>MPa</i>	Mega Pascal
<i>N</i>	Newton
<i>nm</i>	nanómetros
<i>NTP</i>	Norma Técnica Peruana
<i>pH</i>	Potencial de Hidrógeno
<i>PVA</i>	Permeabilidad al vapor de agua
<i>RPM</i>	Revoluciones por minuto
<i>SA</i>	Solubilidad en agua
<i>T°</i>	Temperatura
<i>TPS</i>	Almidón termoplástico
<i>UTM</i>	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
<i>TM</i>	Tonelada
<i>ANOVA</i>	Análisis de Varianza

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los plásticos derivados del petróleo, son considerados como los polímeros más utilizados en nuestra vida diaria, especialmente en aplicaciones de embalaje, en su mayoría de un solo uso. La inadecuada gestión ha registrado a nivel mundial inmensos cúmulos de este residuo causando un impacto negativo en el ambiente y la salud humana debido al largo periodo que toma en degradarse. Asimismo, la producción de plásticos anualmente depende de millones de toneladas de petróleo y gas natural, es decir depende de recursos no renovables (Jambeck et al., 2015; Emadian, Onay y Demirel, 2017).

Si bien es cierto, los plásticos se usan para fabricar una amplia gama de productos en diferentes campos de aplicación gracias a sus propiedades versátiles. Como resultado, la producción de plásticos ha aumentado sustancialmente en los últimos 70 años de casi 0.5 millones de toneladas en 1950 a más de 365 millones de toneladas en 2016 en todo el mundo (Bilo et al., 2018).

En nuestro país el porcentaje de composición de los residuos sólidos domiciliarios indica como segundo componente a los plásticos que se incrementan aún más en los últimos años (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014).

Asimismo, el viceministro de Gestión Ambiental, Marcos Alegre, señaló que actualmente el plástico representa el 10 % de todos los residuos que se generan en el país. “Desde el año 2015 tenemos un crecimiento enorme del plástico, cuya transformación o degradación tarda entre 100 a 500 años, y a nivel mundial hasta 13 millones de toneladas de plástico llegan a los mares cada año”, indicó (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2018).

Por esta razón, es obligatorio impulsar la demanda de soluciones de materiales nuevos e innovadores, que deberían ser rentables y ambientalmente biodegradables (Bilo et al., 2018). Los bioplásticos se definen como una nueva generación de plásticos que reducen significativamente el impacto ambiental en términos de efecto invernadero y consumo de energía (Mohanty, Misra y Drzal, 2002).

El almidón es uno de los polímeros más usados debido a su precio accesible, alta disponibilidad y se genera de fuentes naturales. Sin embargo, Enriquez, Velasco y Ortiz (2012) mencionan que las películas elaboradas sólo con almidón tienen desventajas frente a las películas sintéticas, así como: propiedades mecánicas pobres, alta permeabilidad al vapor de agua, tendencia a la retrogradación, alta rigidez y son quebradizas, razón por la cual el almidón nativo se le modifica mediante procesos químicos, logrando una mejor estabilidad, apariencia, comodidad y funcionamiento en diversas aplicaciones (Rios y Zelada, 2017).

Otra alternativa que ha mostrado resultados favorables es el uso de gomas e hidrocoloides solubles en agua como es el alginato que pueden incluirse en un rango de 0,05 % a 15 % del total de sólidos de la mezcla, mejorando así las propiedades mecánicas (Enriquez et al., 2012).

Las películas de almidón se pueden mejorar en cuanto a sus propiedades mecánicas y de barrera incluyendo materiales de relleno y refuerzo. Dentro de los rellenos se tiene a las arcillas como la montmorillonita de sodio (MMT) (González, Sotelo y Gutiérrez, 2016). La montmorillonita (MMT) pertenece al grupo de los silicatos laminares, también conocidos como filosilicatos que es además abundante en la naturaleza (Arriola y Rojas, 2017).

Dado el gran problema de la contaminación ambiental por los residuos plásticos que es tan abundante, la presente investigación ha optado por la formulación de un bioplástico que en su composición busca aprovechar las propiedades que aporta cada componente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

- Desarrollar bioplásticos degradables a partir de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Obtención de montmorillonita sódica mediante el método de purificación de bentonita sódica
- Caracterizar la montmorillonita sódica mediante análisis de difracción de rayos x (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB).
- Cuantificar el contenido de amilosa y amilopectina del almidón termoplástico modificado de papa.
- Elaborar bioplásticos a base de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica.
- Evaluar las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y degradabilidad ambiental del bioplástico empleando diseño estadístico central compuesto.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Marco legal

Nuestro país con la finalidad de proteger el ambiente y la salud de las personas, busca regular las diferentes actividades económicas que se desempeñan, para lo cual ha establecido diferentes leyes y decretos:

“Constitución Política del Perú (29 de diciembre de 1993)”: Artículo 2° inciso 22 “El ciudadano tiene el derecho a vivir en un ambiente equilibrado”. Así como también en el artículo 67° menciona “El estado determina la política nacional del ambiente y la necesidad de promover el uso sostenible de sus recursos naturales”

“Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (15 de octubre de 2005)”: Artículo 3°, “El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en ella”. Artículo 123° “Se debe incentivar la investigación científica y tecnológica con el objetivo de proteger la salud ambiental, optimizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y a prevenir el deterioro ambiental”.

“D.S. N° 009-2009-MINAM “Medidas de ecoeficiencia para el sector público”: Los criterios de ecoeficiencia busca que las acciones cotidianas de los centros laborales tanto del sector público o privado optimicen el uso de los recursos dentro de ellos los que contengan plástico, en ese sentido se estableció que mínimo el 80% de su composición debe ser material reciclado.

Para lo cual el estado peruano a mediante el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) han aprobado y adaptado normativas internacionales a través del Sub comité

técnico de normalización el cual están relacionados con las diferentes normativas mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1
Normativas relacionadas

Tema	Norma Técnica Peruana	Normativa Relacionada
Plástico	NTP 900.077 Plásticos, trazabilidad y verificación	R.M. n° 021-2011-MINAM “Establecen porcentajes de material reciclado en plásticos, papeles y cartones a ser usados por las entidades del Sector Público”
Envases y embalajes (Tasas de reciclado)	NTP 900.076:2015 Tasa de Reciclado	
	NTP 900.079 Guía terminológica	D. S. n.° 011-2010-MINAM
Envases y Embalajes (Biodegradabilidad)	NTP 900.080 Requisitos de envases y embalajes biodegradables	“Modifican artículos del Decreto Supremo N° 009-2009-MINAM - Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público”
	NTP ISO 17088:2015 Plásticos compostables	

Fuente: Ministerio del Ambiente Perú (MINAM, 2015).

“Decreto Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (23 de diciembre de 2016): Artículo 2°, “La gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente”.

“Ley N° 30884 Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables (19 de diciembre de 2018)”: En el artículo 1° “La finalidad de la ley es contribuir en la concreción del derecho que tiene toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, reduciendo para ello el impacto adverso

del plástico de un solo uso, de la basura marina plástica, fluvial y lacustre y de otros contaminantes similares, en la salud humana y del ambiente”. Establece como política pública para la reducción del consumo de plásticos promover: “El uso de tecnologías e insumos como biopolímeros u otros similares de origen animal o vegetal compostables, no contaminantes”.

2.2. Bioplástico

El término bioplástico se utiliza para describir un plástico derivado de una fuente biológica, y que puede degradarse relativamente rápido por agentes biológicos en un ambiente bioactivo (Ross, Ross y Tighe, 2017).

Según European Bioplastics (2017) un material plástico se define como un bioplástico si es de base biológica, biodegradable, o presenta ambas propiedades. Mientras que Van den Oever et al. (2014) manifiestan que el término "bioplásticos" no tiene un significado inequívoco ya que se utiliza tanto para plásticos con base biológica como para plásticos biodegradables.

2.2.1. Clasificación de bioplásticos

Los bioplásticos no solo comprenden un material, sino que abarcan una gama de materiales con distintas propiedades y aplicaciones.

Para Bekaert, Devriese, Vandendriessche y Vanderperren (2015) los bioplásticos según su origen se dividen en:

2.2.1.1. *Polímeros naturales*

Proviene directamente de fuentes renovables, como los polisacáridos proteínas de celulosa, almidón, quitina y vegetales tales como, por ejemplo, proteínas de soja.

2.2.1.2. *Materiales hechos de monómeros biológicos*

Proviene de fuentes renovables por síntesis química. Un ejemplo es el ácido poliláctico (PLA) producido por fermentación de azúcar.

2.2.1.3. *Polímeros producidos por microorganismos.*

Un ejemplo es PHA (polihidroxicanoatos) producidos por bacterias a través de la fermentación de azúcares o grasas.

Según Castellón, Tejeda y Tejeda (2016) en el gráfico de la Figura 1, se puede ver la clasificación de los bioplásticos de acuerdo a su origen.

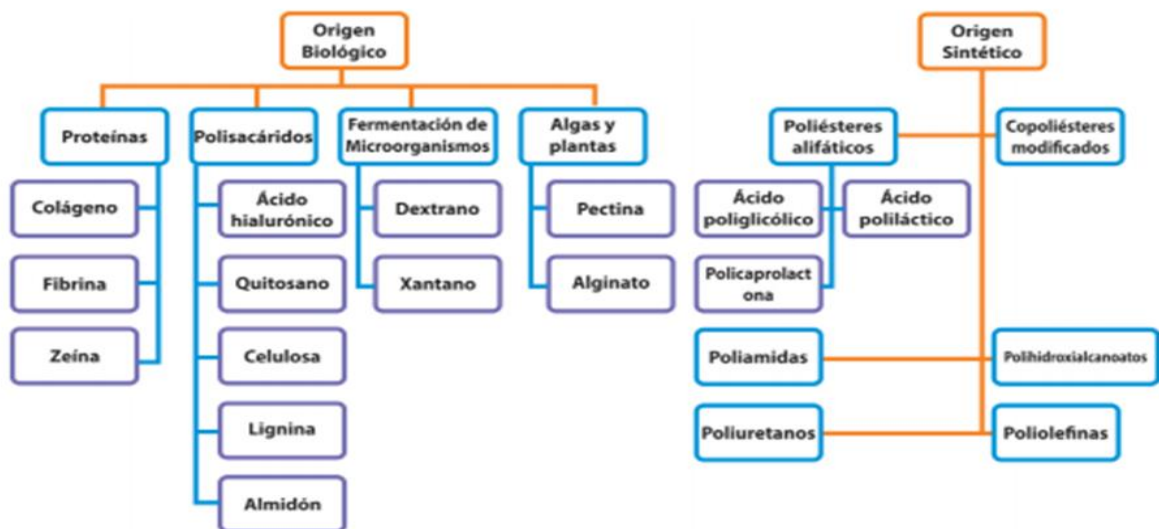


Figura 1. Tipos de bioplásticos según su origen. Fuente: Castellón et al.,2016.

2.2.2. **Aplicaciones de los Bioplásticos**

Según Rodríguez (2017) menciona que el mercado más común para los bioplásticos es el de los envases, así como también se incluyen las bolsas de compras, bolsas de recolección de residuos compostable, bandejas y envases para alimentos. Otras áreas donde se está desarrollando su aplicación es en el sector automotriz y de productos electrónicos. Gun (2014) indica que alguna de las otras aplicaciones donde se han usado polímeros biodegradables son cosméticos, adhesivos, lubricantes, textiles, electrónica y de alta resistencia materiales estructurales.

2.3. Biopolímeros

El término polímero se compone de dos términos: 'poli' que significa muchos y 'mer' que significa unidad, por lo tanto, un polímero es una molécula compuesta de muchas unidades que se han unido químicamente en cadenas largas (Hill, 2005; McKeen, 2009).

Los polímeros se clasifican según su procedencia en naturales (disponibles en grandes cantidades a partir de fuentes renovables) y sintéticos (producidos en laboratorio a partir de petróleo). Los biopolímeros consisten de polímeros biodegradables o polímeros de base biológica, y se definen como polímeros que son derivados de recursos renovables que son abundantes en la naturaleza, se encuentran en todos los sistemas vivos, y los materiales como la madera, el papel, el cuero y las fibras naturales se han utilizado ampliamente (Buggy, 2016; Niaounakis, 2015).

Los polímeros biodegradables más utilizados son el almidón y los Polihidroxicanoatos (PHA), que son poliésteres lineales producidos en la naturaleza por la acción de las bacterias por fermentación del azúcar o lípidos (Niaounakis, 2015; Ashter, 2016).

2.3.1. Almidón

El almidón es un polímero único de base biológica y se produce naturalmente en grandes cantidades en las plantas como en arroz, cereales, maíz y papa. El almidón es una mezcla de 2 polisacáridos: amilosa (principalmente lineal) y amilopectina (ramificada), ambos construidos a partir de unidades de D-glucosa que son típicamente vinculados entre sí, ver Figura 2. La cantidad de amilopectina y amilosa, forma y tamaño de los gránulos de almidón varían según el origen botánico (Bekaert et al., 2015).

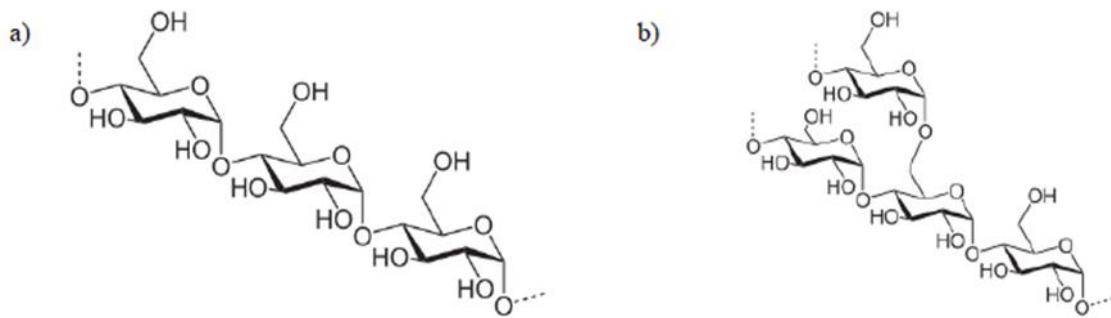


Figura 2. Estructura química de la amilosa (a) y amilopectina (b). Fuente: Bekaert et al., 2015.

En un determinado peso molecular, la amilosa se hincha a un tamaño mucho mayor volumen en solución que la amilopectina, pero en el caso de la amilopectina es más amorfa y absorbe más agua que la amilosa a temperaturas elevadas (Pachence, Bohrer y Kohn, 2007).

Los polímeros lineales de amilosa también pueden alinear sus cadenas más rápido que los polímeros de amilopectina ramificada. La amilopectina ramificada puede tener una variedad infinita de estructuras, dependiendo de la frecuencia de ramificación y la longitud de las cadenas ramificadas. Las diferentes propiedades físicas están asociadas con estas diversas estructuras (Sun, 2013).

2.3.2. Principales fuentes de almidón

Variedades de plantas se utilizan comercialmente para la producción de almidón. La elección de la planta depende principalmente de factores geográficos y climáticos, y de las propiedades funcionales deseadas del correspondiente almidón (Galliard, 1987).

Siempre es posible encontrar una gran planta productiva para producir almidón, sea cual sea el clima y condiciones agrícolas: maíz en zonas templadas y subtropicales, yuca (mandioca o tapioca) y plátano en ambientes tropicales, arroz en áreas inundadas, y papas en climas fríos (Carvalho, 2013). El maíz, el trigo, el sorgo y la papa son los principales recursos que contienen alrededor de 70 a 80 % de almidones (Sun, 2013).

2.4. Almidón de papa

La papa se cultiva en los Andes desde hace más de 7.000 años. Actualmente, la subespecie *Solanum tuberosum* es el cuarto cultivo de mayor importancia mundial después del arroz, el trigo y el maíz. (Centro Internacional de la Papa (CIP), 2006 y Carvalho, 2013). Este tubérculo presenta la siguiente taxonomía que se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2
Taxonomía de la papa

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Genero	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum Tuberosum</i>

Fuente: Arenas y Pedraza, 2017.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014) el Perú es el principal productor de papa en América Latina con 4.6 millones de toneladas y a nivel mundial se encuentra entre los 10 principales productores. En cuanto a la sostenibilidad, en el Perú, la papa es la mejor alternativa para obtener el almidón debido a que su producción duplica el consumo orientado a la canasta familiar (aproximadamente 2000 en miles de TM) (Arroyo y Alarcón, 2014). Sin embargo, en caso este representara un peligro para la seguridad alimentaria se puede emplear la cascara de papa y otros desechos “sin valor” de la industria de papa ya que posee alto contenido en almidón (Meza, 2016).

Asimismo Arenas y Pedraza (2017) mencionan que este tipo de almidón es un polvo fino, sin sabor y de excelente textura que genera mayor viscosidad que los almidones de trigo y maíz, se forma durante las primeras etapas de tuberización, forma parte esencial del tubérculo puesto que constituye el material de reserva usado en la respiración y germinación, el número de gránulos y el tamaño (1 μm – 120 μm) aumenta proporcionalmente al crecimiento de la papa, además constituye el 16 al 20% del contenido total de la papa, equivalente al 77 % de la materia seca.

En cuanto a su aplicación en bioplásticos Otey y Westhoff (1979) afirman que no es recomendable usar solamente almidón en la elaboración de una película, ya que genera productos débiles y muy sensibles al agua, con deficientes propiedades mecánicas. Es por ello que se debe hacer combinaciones de almidón con otros productos poliméricos esperando tener un material con superiores propiedades mecánicas, como alta flexibilidad, mayor resistencia al agua y al rompimiento, etc.

2.4.1. Almidón termoplástico modificado

La modificación del almidón se realiza para mejorar los atributos deseables por ejemplo (viscosidad, actividad superficial, resistencia a enzimas, etc). La mayoría del almidón utilizado en alimentos procesados y otras aplicaciones industriales se modifican, y estas modificaciones pueden ser químicas, físicas o genéticas antes de su uso porque los usuarios de almidón generalmente requieren productos con mejores características de comportamiento que los provistos por los almidones nativos (BeMiller, 2016; Colussi y McCarthy, 2016).

Según Peñaranda, Perilla y Algecira (2008), Arenas y Pedraza (2017) mencionan que las modificaciones pueden realizarse por tres métodos: reacciones de cambios de tipo físicos (pregelatinización, extrusión, tratamientos térmicos y otros) químicos (conversión

y derivación) y microbianos a través de enzimas como la glucoamilasa o por una combinación entre estas.

El almidón procedente de papa específicamente, al realizar la disrupción estructural mediante los procesos mecánicos, térmicos o químicos posee propiedades termoplásticas a nivel molecular. Siendo así, que en almidones de amilo-papa la presencia de amilosa en un 70% brinda en cuanto a su aplicación en bioplásticos una estructura fuerte y más flexible es decir con potencial como materia prima para la fabricación de materiales similares a los plásticos (Villada, Acosta y Velasco, 2008; De Guillebon, 2011; Vertuccio, Gorrasi, Sorrentino y Vittoria, 2009).

Según Curvelo, Carvalho y Agnelli (2001) mencionan que el almidón no es un verdadero termoplástico, pero en presencia de plastificantes (agua, glicerina, sorbitol, etc.) a altas temperaturas (180 ± 90 °C) y bajo cizallamiento, se funde y permite su uso en un equipo de inyección, extrusión o moldeo por soplado, similar a la mayoría de los polímeros termoplásticos sintéticos convencionales.

Cualquier almidón (maíz, trigo, arroz, papa, tapioca / yuca, etc.) puede ser modificado, pero la modificación se practica significativamente sólo en maíz (maíz normal y maíz céreo) y almidones de papa y, en menor medida, en almidones de trigo y tapioca / yuca (BeMiller, 2016). Aun así, los almidones modificados solos no pueden formar películas con contenido satisfactorio y propiedades mecánicas, a menos que esté plastificado o mezclado con otros materiales (Shrestha, 2014).

2.4.2. Propiedades funcionales

2.4.2.1. Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua a temperatura ambiente, sin embargo, cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua, sufren un proceso

llamado gelatinización; la gelatinización es la disrupción del orden molecular dentro del gránulo, como evidencias de esta pérdida de orden se tiene hinchamiento irreversible del gránulo. A medida que se incrementa la temperatura el almidón empieza a aumentar su volumen (Molina, 2011; Martínez, 2015). La temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón (Hernández, Torruco, Chel y Betancur, 2008).

2.4.2.2. Pre - Gelatinización

Un almidón dispersable en agua fría, donde los gránulos e hincharon previamente para maximizar la capacidad de absorción de agua (Aviña, 2014). Los beneficios que brinda es el engrosamiento del agua fría, elimina la necesidad de cocción, ofrece comodidad y ahorro de energía (Vargas, 2015).

2.4.2.3. Retrogradación

La retrogradación del almidón ha sido definida como el proceso que se produce cuando las cadenas moleculares en los almidones gelatinizados comienzan a volver a asociar en una estructura ordenada, esto es dado posterior de la gelatinización, en el momento que deja de introducirse calor y se inicia la etapa de enfriamiento, reflejándose en la creciente viscosidad. Durante la retrogradación, las formas de amilosa asociaciones de doble hélice de 40-70 unidades de glucosa, mientras que la cristalización de amilopectina se produce por reasociación de las ramas cortas más exteriores (Sandhu y Singh, 2007; Meneses, Corrales, y Valencia, 2007).

2.5. Plastificantes

Un plastificante es un aditivo que se agrega a otro material (por lo general, un plástico o un elastómero) para que el material sea más suave o más flexible (Godwin, 2017). El aumento de la concentración de plastificante aumenta la flexibilidad, disminuye la resistencia a la tracción y reduce la dureza (Chaudhary, Liotta, Cogen y Gilbert, 2016).

Cuanto más plastificante se agrega, más flexible es el plástico (Gilbert, 2012). La cantidad de plastificante necesaria para obtener una cierta dureza o elongación es una medida de su eficacia, los plastificantes más eficientes son los más solventes y los que más rápidamente se fusionan (Moody y Needles, 2004).

Según Villada et al. (2008) mencionan que el agua y el glicerol son los plastificantes generalmente más usados. Siendo así que, durante los diferentes procesos de termo plastificación, el agua y el glicerol tienen gran influencia en los gránulos del almidón, ya que actúan como lubricantes y facilitan la movilidad de las cadenas poliméricas. Además, retrasa la retrogradación de los productos termoplastificados.

2.5.1. Glicerol

Es un alcohol con tres grupos hidroxilo como se puede observar en la Figura 3, estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso. No es tóxico, lo que le permite ser un buen lubricante (Charro, 2015).

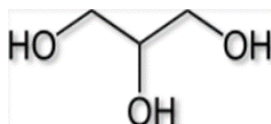


Figura 3. Estructura molecular del glicerol. Fuente: Charro, 2015.

El glicerol o glicerina es el plastificante más comúnmente utilizado, pero hay una gama de plastificantes como triacetina, sebacato de dibutilo, citrato de trietilo y propilenglicol utilizados en el procesamiento del almidón (Shrestha, 2014).

Las mezclas que contienen glicerol tienen un aspecto morfológico suave y uniforme por ende deben tener un aspecto homogéneo final, esta característica es un claro indicador de que el almidón ha plastificado (Charro, 2015).

Según Centro de Desarrollo Tecnológico (2007) indican que el glicerol reduce la resistencia a la tracción y mejora la capacidad elástica del bioplástico, si se añade en cantidades superiores al 25 %.

2.6. Alginato

Las algas marinas constituyen una gran fuente de polisacáridos naturales que comprenden hasta un 40 % de su peso en seco, tienen propiedades físicas originales y una gran variedad de nutrientes tales como vitaminas, sales, yodo y esteroides (Rinaudo, 2014). Según Avendaño, López y Palou (2013) mencionan que son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua.

Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales, conteniendo cantidades variables de ácido β -D-manurónico (M: 1,4-enlace ácido β -D-manopiranosilurónico 4C1) y de ácido α -L-gulurónico (G: 1,4-enlace ácido α -L-gulopiranosilurónico 1C4) (Avendaño et al., 2013).

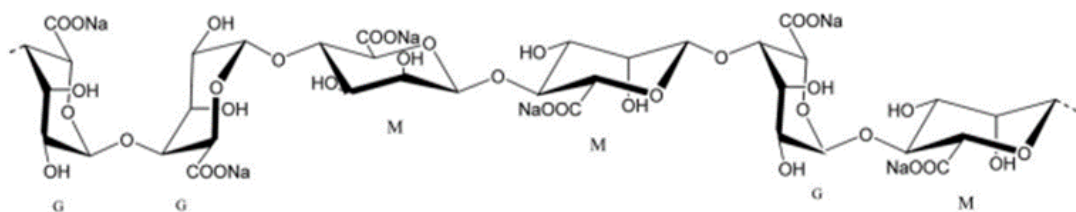


Figura 4. Estructura del alginato de sodio. Fuente: Borazo et al., 2015.

Para Borazo et al. (2015) mencionan que los alginatos se obtienen comercialmente principalmente a partir de diversas algas pardas de los órdenes Fucales y Laminariales, especialmente *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria hyperborea*, *L. digitata*, *Lessonia spp.*, *Undaria pinnatifida* y *Macrocystis pyrifera*. Para Salavarría (2014) menciona que la especie *Macrocystis pyrifera* es un alga parda cuya distribución ha sido reportada

principalmente a lo largo de las Costas del Pacífico de América del Norte (México, Norte de Baja California, y Alaska) y del Sur (Perú hasta Cabo de Hornos), de esta manera garantiza una abundante cantidad del material en la naturaleza. La producción industrial anual de alginato es de aproximadamente 30000 toneladas métricas y se estima que es inferior al 10% del material biosintetizado (Martinez, 2015).

2.6.1. Aplicaciones del alginato de sodio

Hasta ahora, las principales aplicaciones de los alginatos se basaron principalmente en su capacidad de formación de gel. En este dominio, los alginatos son también ampliamente utilizados como aditivos capaces de la viscosidad, estabilizantes (Rinaudo, 2014). Según Fazilah et al. (2011) el alginato tiene un uso potencial en películas o como componente de revestimiento debido a sus propiedades coloidales y formadoras de gel únicas. Sus aplicaciones son variadas, ya que poseen buenas propiedades de barrera frente a lípidos y al oxígeno.

2.7. Arcilla

Es un producto derivado de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original y se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino menor a 2 μm (Robles, 2017). Para Kennedy (1990) representa una pequeña partícula, que se encuentra naturalmente en la superficie de la tierra compuesta principalmente de sílice, alúmina, agua y roca erosionada

La estructura cristalina de estas arcillas está formada esencialmente por dos grupos: grupos de sílice tetraédricos y grupos de alúmina octaédricos. Los grupos del mismo tipo están unidos entre sí hexagonalmente, formando capas de tetraedros y octaedros (Picasso y Sun, 2008).

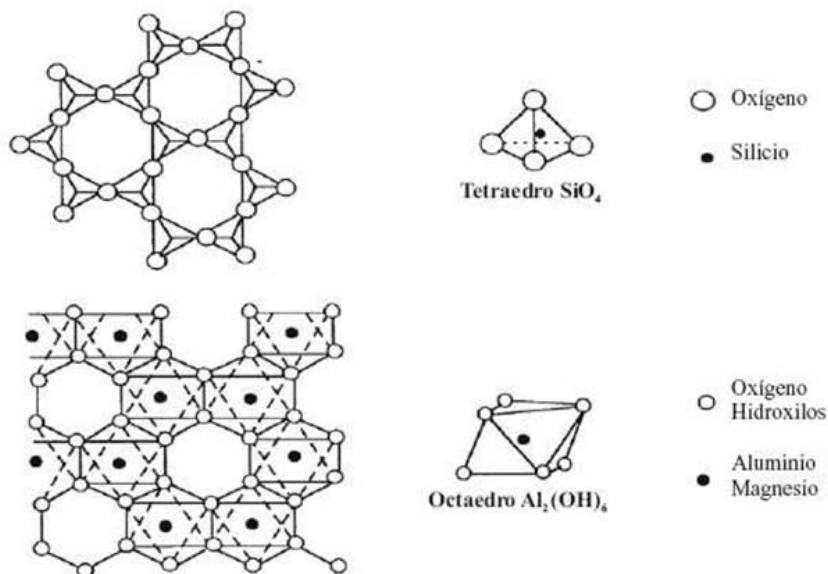


Figura 5. Estructura de las arcillas. Fuente: Picasso y Sun, 2008.

Sobre la base de sus arreglos cristalinos, los minerales de arcilla se dividen en tres tipos a saber, Kaolinitas, Montmorillonita e Illita, las propiedades de los tres minerales se presentan en la siguiente Tabla 3 (Grim, 1953; Mielenz y King, 1954; Brindely, 1951; Grim, 1968 y Dimitri, 2005).

Tabla 3
Tipos de minerales

Caolinitas	Montmorillonita	Ilita
Copos hexagonales	Copos finos	Alargado
Baja capacidad de intercambio de base	Alta capacidad de intercambio de base	Capacidad moderada de intercambio de base
Carga mínima de capa	Carga de alta capa	Carga de capa moderada
Área de superficie baja	Área de superficie muy alta	Área de superficie alta
Tamaño de grano más grande	Tamaño de grano más pequeño	Tamaño intermedio del grano
Resistencia seca más baja	Mayor resistencia en seco	Resistencia seca intermedia
Menor hinchazón y comportamiento de contracción	Mayor Comportamiento de Hinchamiento y Contracción	Comportamiento intermedio de hinchamiento y contracción

Fuente: Murali, Sambath y Hashir, 2018.

2.7.1. Bentonita

El término "bentonita" se utilizó por primera vez para una arcilla encontrada alrededor de 1890 cerca de Fort Benton, Wyoming. Bentonita es una arcilla derivada de la intemperie de cenizas volcánicas y compuesta principalmente por montmorillonita. Hay dos variedades: bentonita de sodio que tiene alta capacidad de hinchamiento en agua y bentonita de calcio con capacidad de hinchamiento insignificante. La alta área de superficie y una estructura que permite que el agua penetre las capas minerales son responsables para las capacidades de hinchamiento de las arcillas de bentonita (Wypych, 2016; Ohrdorf y Flachberger, 2015).

2.7.2. Montmorillonita

Las montmorillonitas tienen una estructura de capa compuesta por alúmina octaédrica hoja intercalada entre dos láminas de sílice tetraédrica opuestas. La unión entre dos hojas de sílice es muy débil, lo que permite el agua y los iones intercambiables a entrar. Esto conduce al desarrollo de la capacidad de hinchamiento (Uddin, 2017).

La Montmorillonita, es una capa de silicato de origen principalmente volcánico y conocida por su cation capacidad de intercambio (CIC) y su característica de hinchamiento intracrystalino en general, se subdivide en dos tipos: El "tipo de hinchazón" (a menudo descrito como tipo "Wyoming" u "occidental") con Na⁺-iones como contraiones para neutralizar las cargas eléctricas negativas en el capas intermedias de su estructura cristalina (montmorillonita sódica natural) y Tipo "no hormigueante" con Ca²⁺ y Mg²⁺-iones (montmorillonitas de calcio) (Ohrdorf y Flachberger, 2015).

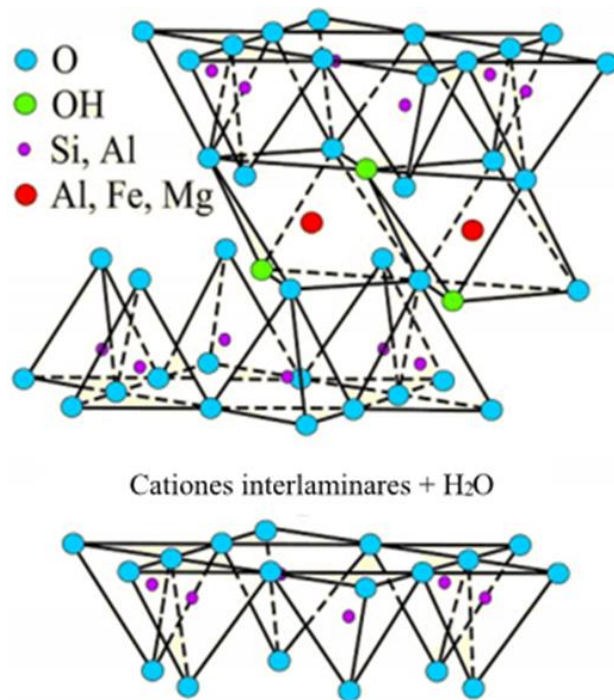


Figura 6. Estructura de la montmorillonita. Fuente: Hernández et al., 2016.

2.7.3. Propiedades de la Montmorillonita

Los biopolímeros necesitan de rellenos que son sólidos diferentes de las matrices de plásticos en composición y estructura, finamente divididos añadidos a los sistemas de polímeros para mejorar las propiedades y reducir el costo (Kroschwitz, 1990; Schlumpf, 1993).

2.7.3.1. Rellenos y refuerzo de montmorillonita sódica

Los minerales de arcilla mejoran la estabilidad dimensional de un polímero termoplástico. De hecho, reducen el coeficiente de expansión térmica (CTE), que es alto para plásticos limpios (Galimberti, Cipolletti y Coombs, 2013).

Dentro de los tipos de arcilla que existen, el más investigado es la montmorillonita (MMT), es un refuerzo muy efectivo como relleno ya que cuenta con una superficie de área muy alta (Alarcón y Arroyo, 2016). Otra ventaja que presentan los minerales de arcilla es que se obtienen de recursos naturalmente abundantes, en pequeñas cantidades pueden mejorar significativamente el rendimiento del material de polímeros permitiendo

la mejora de las propiedades mecánicas y modificación de sus propiedades físicas variando la fracción de volumen, formación estructural y tamaño de partícula (Salam, Dong y Davies, 2015).

Las arcillas de montmorillonita tienen un gran efecto tanto en la rigidez como en el aumento de la temperatura de distorsión térmica de los materiales compuestos termoplásticos, y esta fue la primera área en despertar el interés y son algunas de las propiedades en las que contribuyen el polímero modificado y la relación de aspecto (Rothon y DeArmitt, 2017).

Las arcillas de montmorillonita son los rellenos más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas de los biocompuestos a base de almidón. En general, las montmorillonitas sódicas no modificadas presentan una mejor afinidad por la estructura del almidón y, por lo tanto, tienen una mejor dispersión en el polímero (González y Villanueva, 2011).

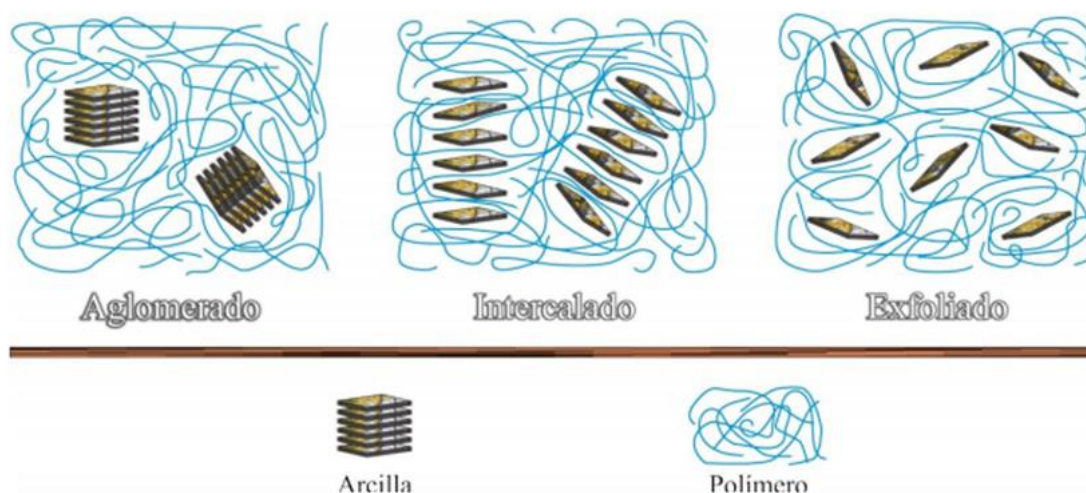


Figura 7. Formación de compuestos (morfología polímero-arcilla). Fuente: Oropeza, Montes y Padrón, 2016.

Según Oropeza et al. (2016) indica que las partículas de arcilla se conforman de varias láminas agrupadas. Hay 3 tipos de formaciones polímero-arcilla: aglomerada (tactoide),

intercalada y exfoliada (Figura 7). Cuando se logra un comportamiento intercalado o exfoliado podemos afirmar que se ha formado un compuesto de calidad.

2.8. Técnicas para elaborar bioplásticos

La elaboración de biopolímeros se ha venido desarrollando de diferentes maneras ya sea a escala de laboratorio e industrial. Según Martínez (2013) las técnicas descritas a continuación son las más utilizadas.

2.8.1. Método Casting o Vaciado

Según Muñoz (2014) el método casting se basa en formar una solución con los componentes de las películas, en la que evapora el solvente a temperatura y humedad controladas para formar películas además de ser un método óptimo para escala de laboratorio.

Asimismo, según Alemán, Galán, Morales y Arévalo (2007) realizaron la preparación de las muestras utilizando el método de casting y señalan que es un proceso mediante el cual un líquido es vertido en un molde y dejado para su reacción, curado o endurecimiento para formar un objeto rígido que reproduce la cavidad del molde.

2.8.2. Método de moldeo por compresión y extrusión

El método de moldeo por compresión, se procede luego de formada la masa de los componentes que se ha decidido componer la película, se le aplica una presión y una temperatura determinadas durante un tiempo establecido, para lograr así la formación de la película (Escobar, Sala, Silvera, Harispe y Márquez, 2009).

Según Fishman, Coffin, Onwulata y Konstance (2004) mencionan que la extrusión es un método ampliamente utilizado para fabricar una amplia gama de películas, incluidos casi todos los termoplásticos más utilizados. Además, muchos biopolímeros han sido

extruidos con éxito. En cuanto a la escala industrial se utilizan en su mayoría procesos de extrusión, prensado y soplado. Según Alarcón y Arroyo (2016) indican que se puede mejorar la maquinación adicionando polivinilalcohol o glicerina, elaborando películas por procesos de extrusión, compresión y otras operaciones térmicas.

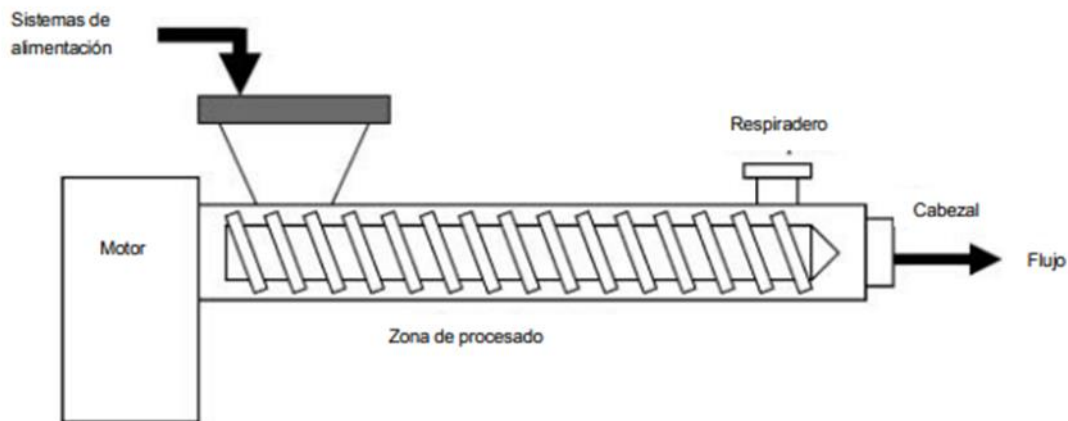


Figura 8. Esquema de extrusora de biopolímeros. Fuente: Constans, 2015.

2.9. Técnicas de caracterización de bioplásticos

2.9.1. Propiedades mecánicas

Los bioplásticos obtenidos deben ser evaluados en cuanto a sus propiedades mecánicas, para verificar su calidad como material de empaque, los análisis que se realizan es la medida de tensión de ruptura y el porcentaje de elongación usando un Texturómetro en el cual se ponen probetas de bioplástico, definitivamente esto variará de acuerdo a los componentes de la muestra (Rodríguez, Bello, Yee, y Gonzales, 2013).

Según Narváez (2016) menciona que las propiedades mecánicas se pueden medir por ensayo de tracción el cual mide la deformación de la probeta entre dos puntos fijos de la misma medida que incrementa la carga aplicada, la misma se representa gráficamente en función de la tensión.

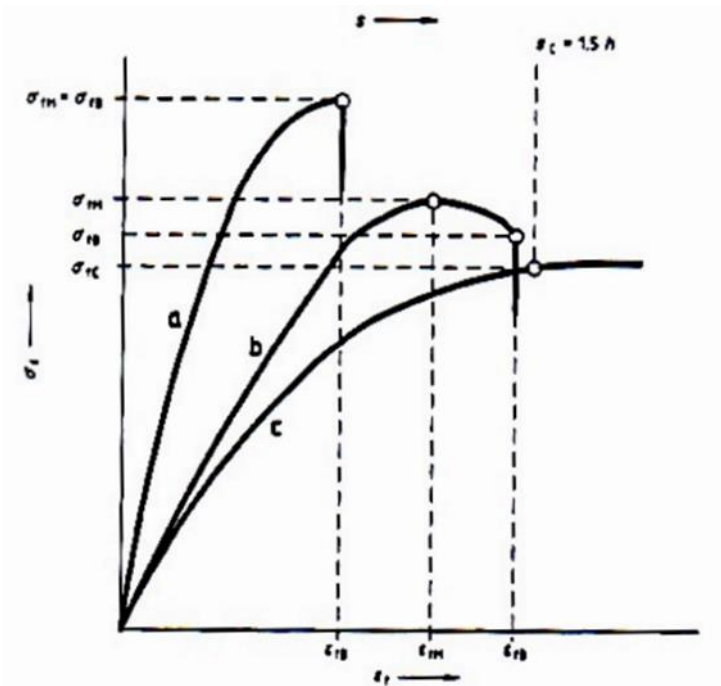


Figura 9. Gráfico de las curvas tensión-deformación obtenidas por flexión más comunes. Fuente: Constans, 2015.

2.9.1.1. Resistencia a la tensión y elongación

Según Vázquez y Guerrero (2017) indican que la resistencia a la tensión (RT) y la elongación (X) fueron calculadas usando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Resistencia a la tensión (RT)

$$(RT) = \frac{f}{A}$$

Donde:

(RT): Resistencia a la tensión (MPa)

f: Fuerza de ruptura (N)

A: Área transversal de la película (mm²).

Ecuación 2. Elongación (X)

$$(X) = \frac{\Delta L}{L} * 100$$

Donde:

(X) : Elongación (%)

ΔL : Incremento en la longitud en el punto de ruptura (mm)

L : Longitud inicial

2.9.1.2. Módulo de Young

Según Elles y García (2012) mencionan que el módulo de Young es una medida de la rigidez de un material, por ende, mientras más elevado sea su valor, más rígido es el material.

Ecuación 3. Módulo de Young (E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E: Módulo de Young

σ : Esfuerzo unitario

ε : Deformación unitaria

2.9.2. Propiedades de Barrera

2.9.2.1. Solubilidad

Es la capacidad que tiene una sustancia de disolverse en otra, esta característica es importante ya que define la aplicabilidad de los bioplásticos (Cesar, 2018). Para González et al. (2016) está definida por el contenido de grupos hidroxilo libres en la molécula.

Según Mendoza, Gómez, Hernández y Norberto (2014) mencionan que analizaron esta propiedad cortando en cuadros de 4 cm² de los bioplásticos lo cuales tomaron el dato de peso inicial, luego procedieron a sumergir en agua destilada y agitar durante una hora. Luego lo filtraron y se llevó a secar el papel filtro a 100°C por 2 horas y se pesó. Para calcular el porcentaje de solubilidad se suele aplicar la Ecuación 4.

Ecuación 4. Solubilidad (S)

$$S = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial seco}} * 100$$

Donde:

S: Solubilidad (%)

2.9.2.2. Permeabilidad al vapor de agua

Una de las principales funciones de los bioplásticos es minimizar la transferencia de humedad entre el elemento empacado y el ambiente que lo rodea. Por consiguiente, la permeabilidad al vapor de agua debe ser lo más baja (Vázquez y Guerrero, 2017). Según Cesar (2018) define la permeabilidad como la tasa de transmisión de vapor de agua que pasa por unidad de superficie de un material de espesura conocida, que es inducida por una diferencia de presiones entre dos superficies específicas, con condiciones de temperatura y humedad relativa específica.

Según Solis (2016) indica que el primer mecanismo para el flujo del vapor de agua o gas por la película o cubierta se da por difusión activa en la que implica la solubilización

del gas en la película, difusión a través de la película y finalmente el paso al otro lado de la película. El segundo paso del proceso de difusión depende del tamaño, forma y polaridad del penetrante, de la cristalinidad, de los enlaces y el movimiento de las cadenas poliméricas.

2.9.3. Difracción de rayos X

Es la Técnica de análisis más ampliamente utilizada para la identificación de fases o materiales cristalinos por medio de sus características bandas espectrales de difracción de los Rayos X, es un método semi destructivo ya que requiere de la pulverización de la muestra, pero no afecta a su composición de fases cristalinas ni a su composición en elementos químicos (Arriola y Rojas, 2017).

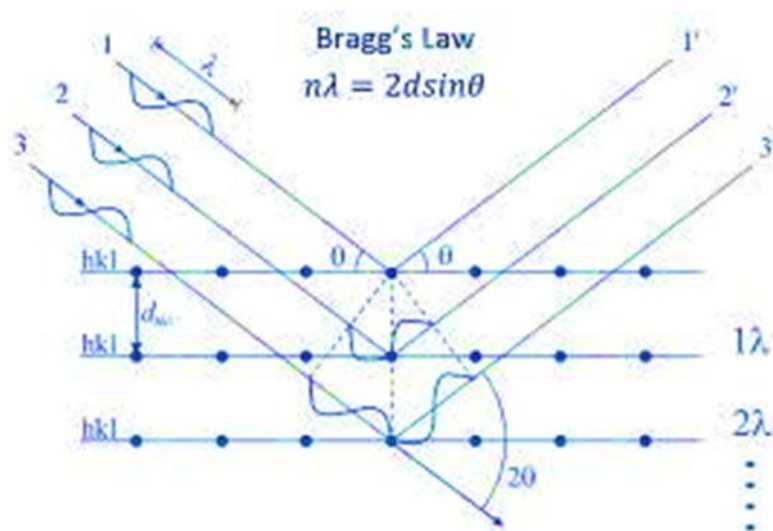


Figura 10. Esquema de la Ley de Bragg. Fuente: Rivera, 2017.

La DRX permite medir las distancias interplanas “d” de la red cristalina de los minerales, características de cada mineral. Se utiliza la ley de Bragg ($n\lambda=2d \text{ sen}\theta$), analizando el ángulo de difracción entre los rayos X incidentes monocromáticos y los rayos resultantes cuando la ley de Bragg se cumple. Se relaciona la longitud de onda de la radiación electromagnética con los planes cristalinos (Druc, Inokuchi y Shen, 2013).

2.9.4. Microscopía Electrónica de barrido

El microscopio utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar imágenes ampliadas de la superficie de un objeto, es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. Es una técnica utilizada en la caracterización de la morfología del material, en el SEM, el haz de electrones es enfocado sobre un área muy fina, la cual es barrida para producir la imagen. Los lentes condensadores son usados para producir un haz fino de electrones de un tamaño menor a 10^{-5} cm (Tello, 2017).

2.10. Degradabilidad

La degradación es un proceso irreversible que conduce a un cambio significativo de la estructura de un material, típicamente caracterizado por una pérdida de propiedades (por ejemplo, integridad, peso molecular, estructura o resistencia mecánica) y / o fragmentación. La degradación se ve afectada por las condiciones ambientales y el producto durante un período de tiempo que comprenden uno o más pasos (Castellón et al., 2016).

La degradación, ocurre por la acción del calor, la humedad, la luz del sol y/o enzimas que acortan y debilitan las cadenas del polímero. Sólo si los fragmentos son consumidos por los microorganismos como fuente de carbono y energía, se dice que es biodegradable (Yepes, 2014).

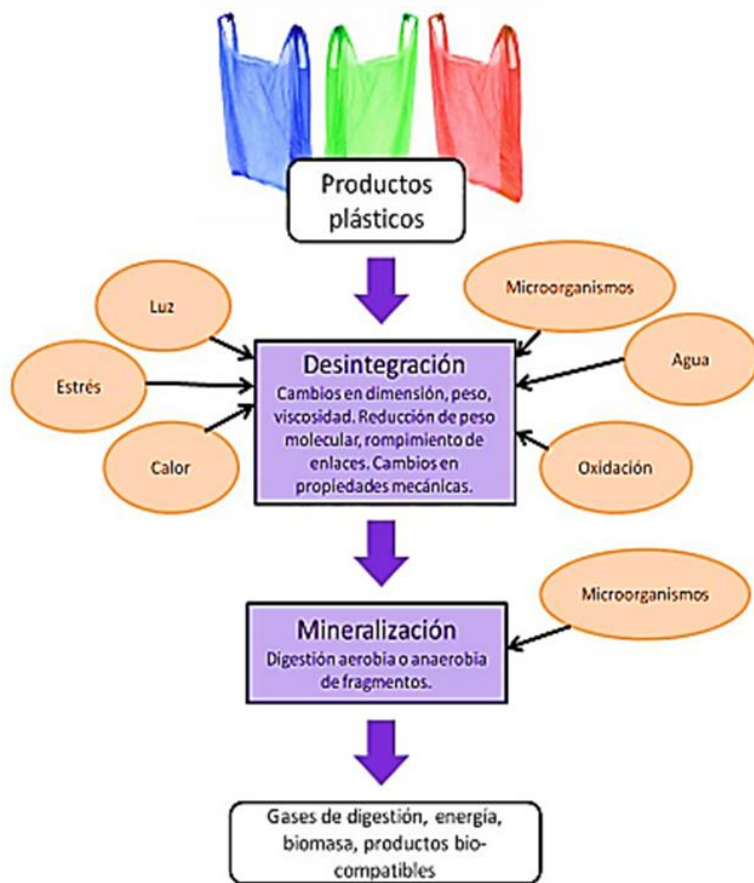


Figura 11. Proceso de degradación de plásticos. Fuente: Krzan, Hemjinda, Miertus, Corti y Chiellini, 2006.

2.10.1. Mecanismos de degradabilidad

Según Tello (2017) afirma que el proceso de degradación de un material polimérico demanda de una pérdida de funcionalidad y que puede partir de distintos modos, dependiendo de los factores externos responsables de la degradación. En la Tabla 4 se puede apreciar la clasificación.

Tabla 4
Clasificación de mecanismos de degradación

Modo de Degradación	Agente iniciador de la Degradación
Degradación Química	Agentes químicos
Degradación Térmica	Temperatura
Degradación Biológica	Ataque enzimático
Degradación Mecánica	Fuerza de cizalla
Fotodegradación	Radiación UV o visible sobre grupo cromóforo
Degradación Ambiental	Luz solar y parámetros climáticos
Degradación por radiación	Radiación electromagnética Rayos X, Rayos γ o de partículas

Fuente: Tello, 2017.

2.10.2. Degradación biológica o Biodegradación

La Asociación de Bioplásticos de Japón (JBPA) define el término "biodegradabilidad" como las características de un material que puede degradarse microbiológicamente a los productos finales de dióxido de carbono y agua, que a su vez se reciclan en la naturaleza (Niaounakis, 2015).

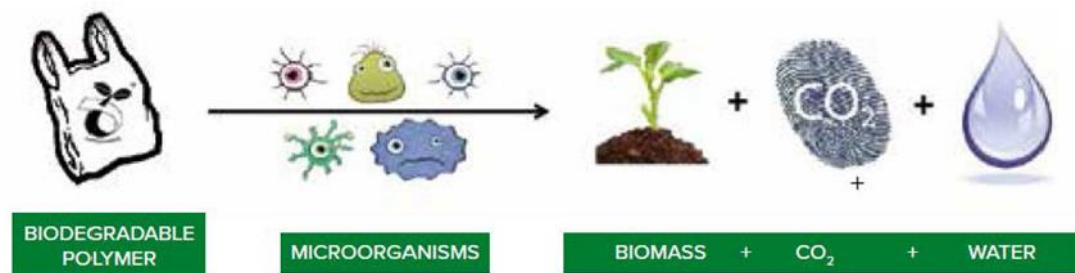


Figura 12. Proceso de biodegradación de bioplásticos. Fuente: Bekaert et al., 2015.

La biodegradabilidad es la capacidad de descomposición de un material en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en donde el mecanismo predominante es la acción enzimática de los microorganismos como las bacterias, hongos y algas bajo factores necesarios para que se dé el proceso de biodegradación: aire (si se requiere), minerales necesarios y humedad, un valor adecuado de pH (entre 5 y 8) y

adecuada temperatura de acuerdo a la tipología del microorganismo (entre 20 °C y 60 °C) (Meneses et al., 2007; Šprajcar, Horvat y Kržan, 2013).

2.10.2.1.1. Biodegradación Aerobia

La biodegradación puede ser aeróbica que se lleva a cabo de forma acelerada por una población microbiana mixta en un ambiente húmedo, cálido y en presencia de oxígeno (Yepes, 2014).

2.10.2.1.2. Biodegradación Anaerobia

En la biodegradación anaeróbica, la desintegración de la materia orgánica se da en ausencia de oxígeno para producir gas metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, hidrógeno y agua (Yepes, 2014).

2.10.2.1.3. Degradación ambiental

Considera al polímero sometido a la influencia de los elementos naturales o bien toma en cuenta los efectos del uso o las condiciones de aplicación sobre su vida útil. Los polímeros sujetos a exposiciones a la atmósfera se degradan de manera diferente, dependiendo de su composición (Frías, 2003).

Según Nóbrega (2014), Galvéz (2016) y Scalenghe (2018) mencionan que algunos plásticos no se degradan por acción biológica, o al menos inicialmente. La desintegración en este caso se puede producir en el medio ambiente por disolución en agua, también llamada descomposición oxidativa o por descomposición fotolítica por los rayos UVA provocados por la radiación solar. Estos procesos son abióticos, es decir, que se producen al margen de los seres vivos. En tanto es preciso decir que la vida útil depende tanto de su naturaleza química y las características del entorno en la que se encuentran. En el caso de los plásticos compostables, tales como almidones termoplásticos mezclados, pueden degradar dentro de meses, Pero tendrá significativamente más largo para otros polímeros.

Para Shrivastava (2018) y Galv3ez (2016) lo denominan Erodabilidad o Erosi3n de Pl3sticos a todos los pl3sticos que se ven afectados por el clima exterior como las variaciones en la temperatura, la humedad, la lluvia, el viento, los gases atmosf3ricos, ataque microbiano, los contaminantes, la radiaci3n, la luz solar, y otros elementos ambientales pueden tener un impacto perjudicial sobre las propiedades pl3sticas por ejemplo la p3rdida de las propiedades mec3nicas, cambio en las dimensiones, la fragilizaci3n y otros.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente proyecto de tesis se desarrolló en las siguientes instalaciones: Laboratorio de Monitoreo Ambiental, Microbiología Ambiental, Ciencias Químicas y del Centro de investigación de ciencia de los alimentos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión.

Asimismo, se recurrió al laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería para la caracterización de la Montmorillonita sódica, así como también se acudió al laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo para la realización de los análisis de propiedades mecánicas.



Figura 13. Ubicación de laboratorios.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Tabla 5
Materiales

Materiales	Cantidad
Matraces Erlenmeyer de 1 L	4
Vasos de precipitación de 500 mL	10
Vasos de precipitación de 250 mL	8
Vasos de precipitación de 100 mL	10
Vasos de precipitación de 50 mL	10
Probetas de 1 L	3
Probetas de 2 L	3
Pipetas de 20 mL	2
Pipetas de 10 mL	2
Pipetas de 5 mL	2
Morteros con pilón de cerámica	2
Termómetro	1
Malla N° 200	1
Malla N° 170	1
Tubos de centrífuga de 10 mL	24
Tubos de centrífuga de 50 mL	16
Frasco de vidrio ámbar de 500 ml	1
Cucharillas de metal	2
Varillas de vidrio	2
Bandejas antiadherentes	10
Embudos de vidrio	10

3.2.2. Insumos

Tabla 6
Insumos

Insumos	Cantidad	Procedencia
Almidón modificado de papa	300 g	Polifood Perú S.A.C.
Alginato de sodio	100 g	Polifood Perú S.A.C.
Glicerol	50 mL	Alkofarma E.I.R.L.
Bentonita sódica	300 g	Nutrientes Naturales S.A.C.

3.2.3. Reactivos

Tabla 7
Reactivos

Reactivos	Cantidad
Cloruro de calcio (CaCl ₂)	100 g
Dimetilsulfóxido (CH ₃ SOCH ₃)	20 mL
Lugol (KI)	20 mL

3.2.4. Equipos

Tabla 8
Equipos utilizados

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica compacta	A&D Weighing	HR-100A/HR)
Centrífuga refrigerada	J&G SCIENTIFIC	H2050R
Estufa	Alfa	
Agitador termomagnético	Oxford	Benchmate MHS – 10L
Homogeneizador de alto cizallamiento	Silverson	LMS - A
Espectrofotómetro	Thermo Spectronic	Genesys 10 UV
Potenciómetro Phmetro	Hanna	
Vernier Calibrador digital	Truper	
Baño maria	Memmert	
Microscopio Electrónico de Barrido	HITACHI	SU8230
Difractómetro de rayos x	BRUKER	D8 Advance
GPS	Etrex	Garmin
Texturómetro	Stable micro systems	TA. HD Plus Texxture Analyser
Termohigrómetro		

3.3. Metodología

3.3.1. Procedimiento para la obtención de montmorillonita

Para la obtención de montmorillonita se utilizó el método de Arriola y Rojas (2017) con ligeras modificaciones. Se pesó 100 gr de bentonita natural previamente secada, se agregó en una probeta graduada de 2 L, luego se añadió 1400 ml de agua destilada y se agitó vigorosamente durante 10 minutos, finalmente se dejó en reposo por 20 minutos. Transcurrido ese periodo se procedió a extraer la solución sobrenadante hasta una profundidad de 25 cm con una pipeta y descartar el resto. La solución extraída se centrifugó a 3000 RPM por 5 minutos y se llevó a secar a 100 °C por 24 horas. Finalmente se procedió a moler la montmorillonita.

3.3.2. Caracterización de la Montmorillonita

3.3.2.1. Estructura - Difracción de rayos x

Luego de obtener la montmorillonita se le realiza este análisis de fases mineralógicas, este análisis permite ver la calidad de la montmorillonita obtenida, así como también se verá los diferentes minerales que componen esta muestra (Henriksson et al, 2008).

Se realizó siguiendo la metodología de Rodriguez et al. (2013) se llevó a cabo usando el Difractómetro para rayos Bruker D8 advance equipado con radiación $\text{CuK}\alpha$ (35 kV, y $\lambda = 0.154 \text{ nm}$). Una velocidad de barrido de $1^\circ/\text{min}$ en un rango del ángulo $2\theta = 5-70^\circ$. Del espectrograma obtenido, se calculó el espacio basal $d(001)$, de las capas de silicato de la MMT, usando la Ecuación 8, de la Ley de Bragg.

Ecuación 5. Ley de Bragg

$$(\lambda = 2d\text{sen}\theta)$$

Donde:

θ : Ángulo de difracción

λ : Longitud de onda

3.3.2.2. Morfología por MEB

Se realizó el análisis de utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido Marca: HITACHI, Modelo: SU8230 con la finalidad de conocer el aspecto morfológico de las partículas que contiene la suspensión coloidal a diferentes escalas. La muestra se adhiere al portamuestra de aluminio mediante una cinta conductora (Prin y Rojas, 2010).

3.3.3. Procedimiento para la obtención de amilosa

El contenido de amilosa se cuantificó mediante el método de colorimetría de Morrison y Laignelet (1983) con modificaciones de Quezada (2017) el cual consiste en el procedimiento detallado a continuación:

Se pesó 35 mg de almidón y se añadió 5 mL de una solución urea-dimetilsulfóxido. Después cada tubo se agitó hasta que la solución fuera homogénea y se calentaron en baño maría a 90°C por 15 minutos, agitando los tubos cada 3 minutos. Posteriormente se trasladaron los tubos a una estufa a 100 °C durante 90 minutos y transcurrido este tiempo, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Seguidamente se tomó 0.5 mL de la solución y se trasladaron a vasos precipitados. Se procedió a añadir agua destilada a cada vaso, aforando hasta 25 mL y también se agregó 1 mL de solución de yoduro de potasio. La solución se mezcló hasta ser homogénea, antes de ingresar la muestra al espectrofotómetro es preciso ajustarlo previamente con un blanco que es el agua destilada, se realizó la lectura de la absorbancia de las muestras a 635 nm. Por último, se midió la temperatura ambiental haciendo uso de un termómetro. Para la determinación de amilosa aparente (%) se utilizó la ecuación 7, y el valor azul obtenido de corregir la absorbancia, esto cuando la temperatura ambiente de medición es diferente a 20°C, haciendo uso de la Tabla 9.

Tabla 9

Factores de corrección para los valores azules no valorados a 20 °C

Valor Azul (VA)	Corrección (VA/°C)
0.22-1.8	0.0078
2.00	0.0082
2.20	0.0094
2.40	0.0102
2.60	0.0109
2.80	0.0116
3.00	0.0124
3.20	0.0131
3.40	0.0139
3.60	0.0146
3.74	0.0152
2.0 - 2.5*	0.010 - 0.0075

Fuente: Morrison y Laignelet, 1983.

Se aplicará la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de amilosa:

Ecuación 6. Valor azul (VA)

$$\text{Valor azul}_{20^{\circ}\text{C}} = \text{VA}_t + (t - 20) * \text{corrección}$$

Ecuación 7. Porcentaje de amilosa (%)

$$\text{Amilosa (\%)} = (28.414 * \text{Valor azul}) - 6.218$$

3.3.4. Procedimiento para la obtención de amilopectina

El porcentaje de amilopectina se determinó de la diferencia del resultado obtenido de amilosa (Morrison y Laignelet, 1983).

Ecuación 8. Porcentaje de amilopectina (%)

$$\text{Amilopectina (\%)} = (100 - \% \text{ de amilosa})$$

3.3.5. Procedimiento para la obtención del bioplástico

Se empleó la metodología de Sánchez et al (2015) con modificaciones, se pesó en cantidades que indican las variables independientes de acuerdo al diseño estadístico, considerando que el almidón modificado tiene la característica de ser pregelatinizado, el cual es de fácil solución en agua destilada, en el caso del alginato de sodio fue más viscoso y con agitación constante se logró homogenizar agregando a la primera mezcla de almidón, esta mezcla se llevó al homogeneizador a 1500 RPM. Se procedió a agitar a 1000 RPM la montmorillonita con una parte de agua destilada. Se agregó la solución de montmorillonita a la mezcla que se puso en el homogeneizador, y de manera gradual se procedió a aumentar la velocidad hasta 3000 RPM por 15 minutos. La muestra homogénea se vertió a en una placa antiadherente formando una capa uniforme, finalmente, se llevó a una estufa a 40°C por 24 horas.

3.3.6. Caracterización del bioplástico

3.3.6.1. Ensayo de propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas fueron analizadas con un Texturómetro (Marca: Stable micro systems, modelo: TA. HD Plus Texxture Analyser), los datos fueron procesados en el software Exponent de acuerdo al método estándar D882 (ASTM, 1992). Se procedió a cortar las muestras en tamaños de 2.5 cm por 10 cm por cada tratamiento para posteriormente sujetarlas en las tenazas. La distancia inicial entre las tenazas de sujeción fue de 8 cm y el equipo fue programado con una velocidad de ensayo de 50 y 75 mm/min-1.

Según Ortega (2012) menciona que las curvas fuerza-distancia obtenidas en el ensayo se transformaron en curvas de tensión -deformación de Henky (ϵH) que permitieron obtener los parámetros módulo de elasticidad, tensión de fractura y deformación en el punto de fractura (ϵ)

3.3.6.2. *Ensayo de permeabilidad*

Para determinar la permeabilidad de vapor de agua (PVA) se seleccionó el método desecante según norma-ASTM - E96/E96M-05 (Arévalo, Azucena y Laínez, 2018). Se inició acondicionando un desecador de vidrio con una atmósfera controlada que se logró agregando sílica gel, luego se procedió a colocar un termohigrómetro para el monitoreo diario de la Temperatura (°C) y humedad relativa.

Se cortaron muestras de cada tratamiento con una medida aproximadamente de 2 x 2 cm; se les procedió a medir grosor y se hizo el cierre de un tubo de ensayo que contiene 3 g aproximadamente de agente desecante (Cloruro de calcio (CaCl₂)). Se registró el peso inicial y se monitoreó cada 24 horas durante 12 días.

Para calcular finalmente el indicador, se generó una pendiente de regresión lineal de aumento de peso vs tiempo, este resultado siendo dividido por el área nos dio el Índice de transferencia de vapor de agua (WVT), este valor obtenido lo dividimos entre la presión de vapor de agua y la diferencia de humedades relativas nos resulta la permeanza. Finalmente, la permeanza se multiplica por el espesor de los bioplásticos y de esta manera nos genera el valor de la permeabilidad al vapor de agua (PVA).

Ecuación 9. Permeabilidad al vapor agua (PVA)

$$WVT = \frac{dm}{dt} \times \frac{1}{A}$$

Donde:

WVT: Índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua.

$\frac{dm}{dt}$: Diferencia de masa a través del tiempo

A: Área de la película expuesta

Ecuación 10. Permeanza

$$\text{Permeanza} = \frac{WVT}{P_{A1} - P_{A2}} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)}$$

Donde:

P_{A1} : Presión sobre la película, kPa.

P_{A2} : Presión sobre a la cual está sujeta a la temperatura experimental, kPa.

S: Presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, kPa.

R_1 : Humedad relativa de la cámara, en fracción.

R_2 : Humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción.

Ecuación 11. Permeabilidad al vapor de agua final (PVA)

$$PVA = \text{permeanza} * \text{grosor}$$

Donde:

PVA: Permeabilidad al vapor de agua (g mm / h m² kPa)

3.3.6.3. Ensayo de Solubilidad

Se evaluó de acuerdo a la metodología reportada por Romero, Zamudio y Bello (2011) con modificaciones. Se utilizaron cuadros de películas previamente secas libres de humedad y se colocó en vasos precipitados de 100 ml con 80 ml de agua destilada y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente se recuperó la película mediante filtros de papel y se colocó en una estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 hasta obtener peso

constante, se calculó el porcentaje de solubilidad por diferencia de peso con la siguiente fórmula:

Ecuación 12. Solubilidad en agua (%)

$$\text{Solubilidad en agua (\%)} = \left(\frac{P_o - P_f}{P_o} \right) * 100$$

Donde:

P_o: Peso seco inicial de la película

P_f: Peso seco final de la película

3.3.6.4. *Ensayo de degradabilidad ambiental*

El ensayo tuvo como objetivo determinar el porcentaje de degradación del bioplástico siguiendo el método de Hernández (2013) y Arévalo, Azucena, y Laínez, (2018) con ligeras modificaciones. Recolectamos suelo de la Universidad Peruana Unión (Altura 550msnm; Este: 299460; Norte: 8674094 extraído del sistema de coordenadas Datum WGS-84, Zona 18 – Sur y Proyección UTM).

Se realizó un análisis de pH al suelo con el potenciómetro HANNA HI 9811-5 registrando un pH de 7.1 es decir un suelo neutro. Se dejó secar el suelo recolectado por 24 horas, posteriormente se pesó 300 gr de suelo en cada recipiente de 9.5 altura y 8.5 diámetro. Se cortaron los bioplásticos en dimensiones de 4 x 4 cm y se procedió a enterrar con una profundidad de 0.5 cm aproximadamente. Se regó por saturación 4 veces a la semana y se exhumo cada 2 días para tomar el dato de peso hasta llegar al día 35 en una curva de pérdida de peso empleando la Ecuación 13, con esta distribución de los datos podemos estimar un comportamiento futuro.

Ecuación 13. Pérdida de peso (%)

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{peso final seco}} * 100$$

3.4. Diseño experimental

3.4.1. Diseño estadístico

De acuerdo a Rodriguez y Lemma (2012) indican que en el caso de dos variables independientes o factores se recomienda siempre utilizar un diseño central compuesto, ya que este modelo muestra el cálculo de los efectos y análisis de la superficie de respuesta. Así como también afirman que puede ocurrir que en un primer diseño no sea posible determinar la condición optimizada y sea necesario otro diseño variándose el rango de estudio de cada variable.

Según Minitab (2019) y Jiménez (2015) indican que el diseño central compuesto es el experimento diseñado de superficie de respuesta que más se utiliza, son diseños de tratamientos factoriales 2^k con 2^k combinaciones adicionales llamadas puntos axiales y n_c puntos centrales. Una de las propiedades llamada rotabilidad se logra estableciendo $\alpha = (2^k)^{1/4}$. Así, el valor de α para un diseño con dos factores es $\alpha = 1,414$.

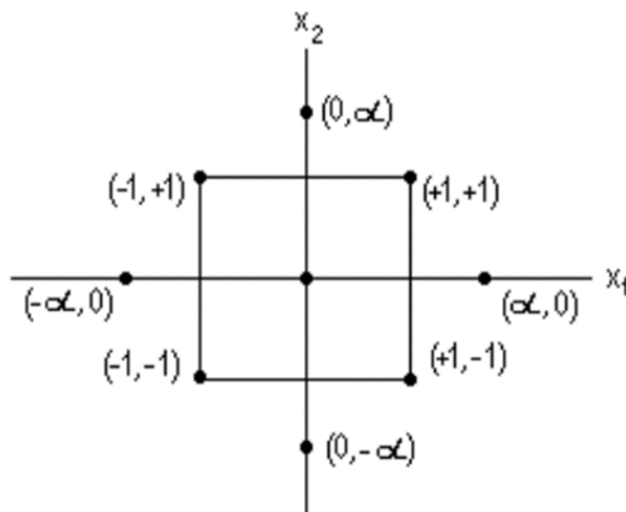


Figura 14. Diseño central compuesto para dos factores. Fuente: Sánchez y Sánchez, 2015.

Sánchez y Sánchez, (2015) mencionan que el DCC requiere cinco niveles de cada factor, codificados como $-\alpha, -1, 0, 1, \alpha$ (Ver figura 14) donde las coordenadas de los puntos axiales de los ejes del factor codificado son $(\pm a, 0, 0, \dots, 0), (0, \pm a, 0, \dots, 0), \dots, (0, 0, 0, \dots, \pm a)$. Además, se agrega un número determinado de réplicas del centro del diseño en las coordenadas $(0, 0, \dots, 0)$. Así, los diseños centrales compuestos son más económicos en cuanto al uso de recursos experimentales y proporcionan la capacidad de estimar las ecuaciones (Kuchl, 2000).

Según Villegas (2015) indica que para evitar que los tratamientos que se apliquen en los experimentos se encuentren fuera de los niveles máximos y mínimos, se debe determinar los valores de los puntos factoriales. Así como también se debe determinar el número de tratamientos usando la Ecuación 14.

Ecuación 14. Número de tratamientos

$$N^{\circ} \text{ de tratamientos} = N = 2^P + 2P + C$$

Donde:

N: Es el número total de tratamientos y observaciones.

2p: Es el número de tratamientos básicos de la parte factorial o combinaciones del tratamiento.

2P: Corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella o combinación de tratamientos en los puntos axiales del diseño.

C: Constituye el tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o réplicas en el centro del diseño (0).

P: Número de factores en estudio o variables.

∞ : Puntos estrellas o axiales, niveles máximos y mínimos ($-\infty$ y ∞)

Para el desarrollo de los bioplásticos se aplicó el Diseño Central Compuesto (DCC) 2^2 con 2 (2) puntos axiales y 2 puntos centrales, que consta de 10 tratamientos ver Tabla 12 con replicas en el cual se evaluó el efecto de la concentración de la Montmorillonita sódica (g/100mL) y la relación alginato/almidón.

Cabe resaltar que se fijó la concentración de 1.5ml de glicerol para cada tratamiento como medio plastificante. Los análisis estadísticos se realizaron a un nivel de significancia de 95 % ($p \leq 0.05$) usando el software STATISTICA versión 13.4.0.14. En la Tabla 10 se puede apreciar los cinco niveles codificados en el software.

Tabla 10
Parámetros y niveles del diseño central compuesto (DCC) 2^2

Factores	Unidades	Niveles de parámetros				
		-1.41	-1	0	1	1.41
Montmorillonita	(g/100mL)	0.12	0.15	0.225	0.3	0.33
Alginato	(g/100mL)	0.86	1	1.28	1.5	1.57

La Tabla 11 muestra la relación almidón/alginato, para efectos de codificación en el software se tomó solo el valor del alginato ya que el almidón fue constante. Asimismo, la relación debe sumar 3g/100mL.

Tabla 11
Relación de los biopolímeros

Factores	Unidades	Niveles de parámetros				
		-1.41	-1	0	1	1.41
Relación Alginato/Almidón		0.4:1	0.5:1	0.75:1	1:1	1.1:1
Valores de Alginato y Almidón	(g/100 mL)	0.86:2.14	1:2	1.28:1.72	1.5:1.5	1.57:1.43

En la Tabla 12, las variables de respuesta dependiente son: Fuerza de ruptura (FR), elongación (E), Solubilidad en agua (SA), permeabilidad al vapor de agua (PVA) y degradabilidad (D). Así también se consideró un punto central más en la evaluación de las variables (SA) y (PVA)

Tabla 12
Variables de respuesta codificada y no codificada

Tratamiento	Variables independientes				Variables dependientes				
	Codificados		No codificados		FR	E	SA	PVA	D
	X ₁	X ₂	Montmorillonita	Relación Alginato / Almidón					
1	-1	-1	0.15	1:2	-	-	-	-	-
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	-	-	-	-	-
3	1	-1	0.3	1:2	-	-	-	-	-
4	1	1	0.3	1.5:1.5	-	-	-	-	-
5	-1.41	0	0.12	1.28:1.72	-	-	-	-	-
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	-	-	-	-	-
7	0	-1.41	0.225	0.86:2.14	-	-	-	-	-
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	-	-	-	-	-
9	0	0	0.225	1.28:1.72	-	-	-	-	-
10	0	0	0.225	1.28:1.72	-	-	-	-	-
11	0	0	0.225	1.28:1.72			-	-	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados morfológicos de la montmorillonita sódica

La caracterización morfológica se realizó mediante el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) el cual dio como resultado las siguientes micrografías mostradas en la Figura 15.

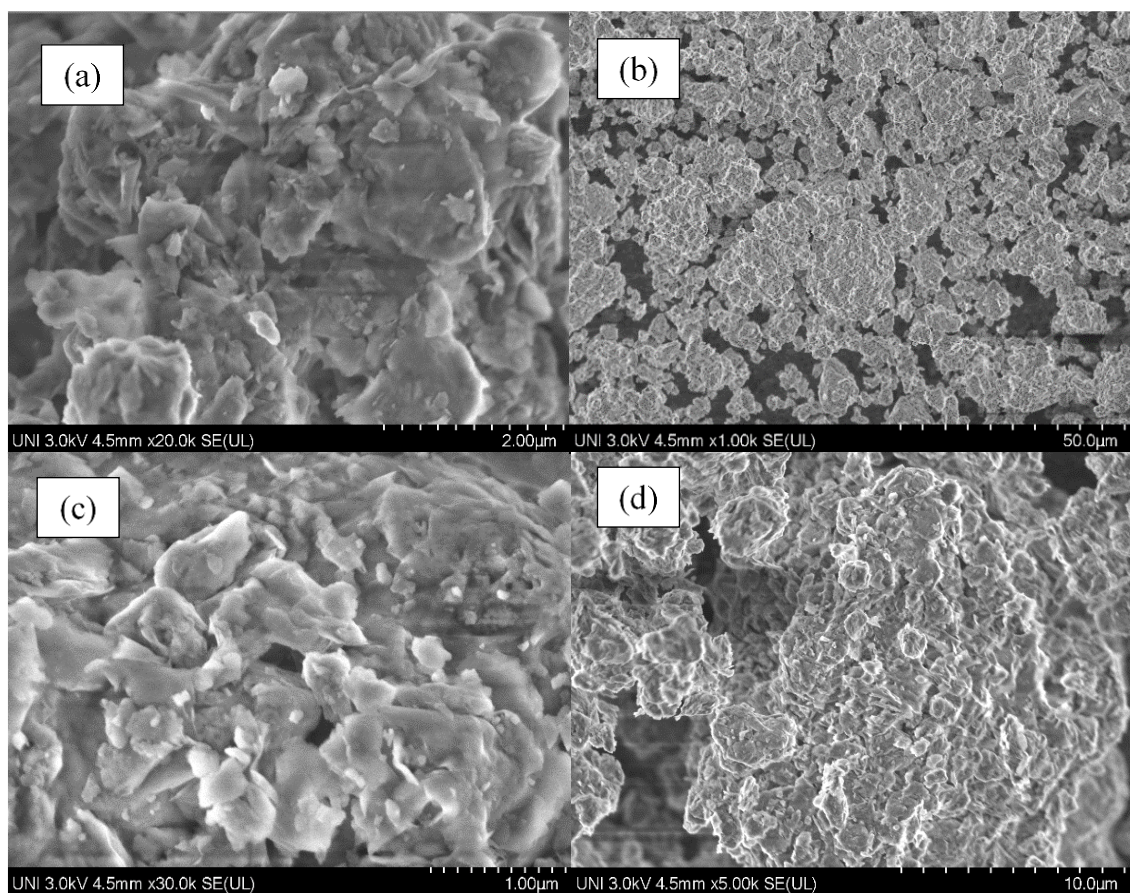


Figura 15. Micrografías de Montmorillonita sódica.

La montmorillonita sódica presentó forma de láminas con bordes agudos, coincidiendo con la morfología presentada por Perugachi (2006) que observó la estructura laminar característica de la montmorillonita, parecida a una hojuela de maíz. De acuerdo a Vargas-Rodríguez et al. (2008) menciona que la montmorillonita sin tratamiento presenta partículas sutilmente facetadas o con cantos agudos y que es apropiado hacer evidente que en el grueso de los cantos debe concordar con el resultado de DRX y la cristalinidad

confirmada por la reflexión. Según lo registrado por (Allauca y Paredes, 2011) mencionan que observaron una estructura laminar característica a las estructuras de las montmorillonitas, como también una aglomeración de las partículas. (Tuesta, Vivas, Sun, y Gutarra, 2005) realizaron a las micrografías de montmorillonita que fueron tomadas a 10 000 aumentos y con una escala de 6.43 una comparación revelando que la montmorillonita natural posee formas laminares, pero de distintos tamaños, sin embargo, cuando esta es activada se uniformiza el tamaño de partícula.

4.2. Caracterización mineralógica de la montmorillonita

Se caracterizó la Montmorillonita sódica, obteniendo el siguiente difractograma ver Figura 16.

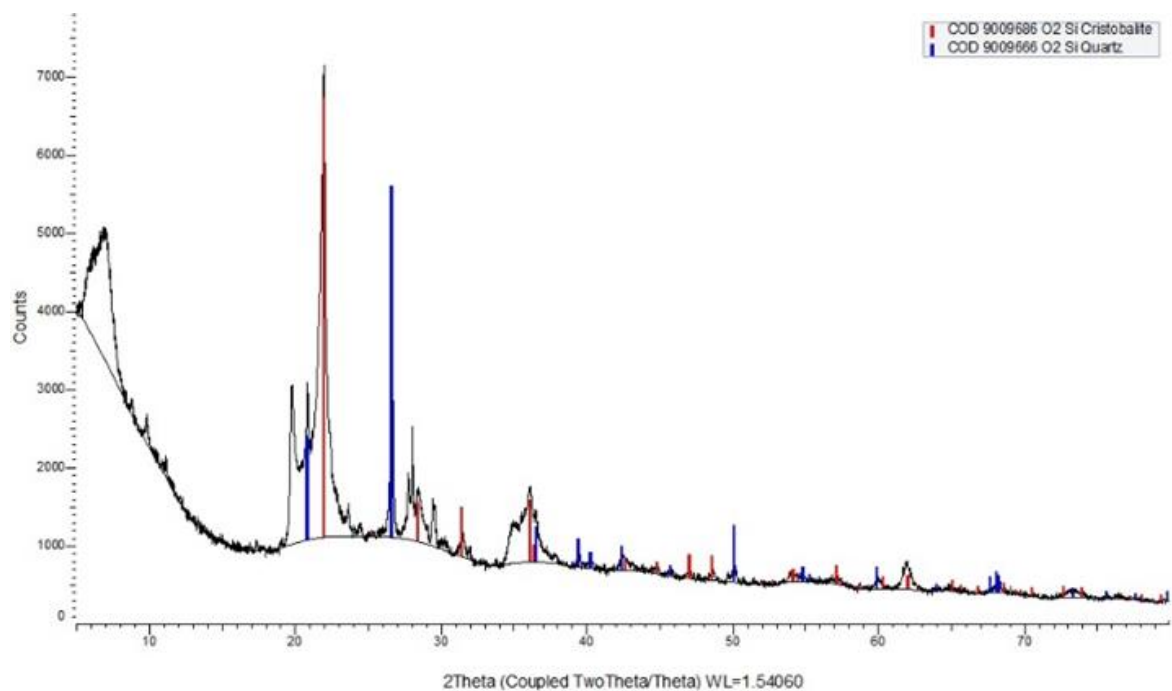


Figura 16. Difractograma de la Montmorillonita

Se aplicó la fórmula de la Ley de Bragg, considerando que el pico fue de 7.2°

$$(\lambda = 2d \text{sen}\theta)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \text{sen}\theta}$$

$$d = \frac{1.54060}{2\text{sen}\left(\frac{7.2}{2}\right)}$$

$$d = 12.26 \text{ \AA} \rightarrow 1.226 \text{ nm}$$

En la Figura 16, se registró un pico en $2\theta = 7.2^\circ$ que refiere al plano $d\ 001 = 12.26 \text{ \AA}$ o 1.226 nm , indicando de esta manera un alto grado de cristalinidad de acuerdo al difractograma estandarizado (JCPDS 29–1498). Así como también muestra las otras fases como son cristobalita y el cuarzo. Un dato similar registró (Vargas-Rodríguez et al., 2008) indicando un pico con una intensidad del 100 % con un valor de 12.30 \AA comparado con (JCPDS 29–1498) afirmando que es un comportamiento típico ya que esto representa una capa molecular de agua adsorbida entre sus laminas. Así como también evidenció las tres fases cristalinas que son: montmorillonita, cristobalita y cuarzo, indicando un alto grado de cristalinidad. Por su parte (García, 2017) realizó el análisis a la MMT sódica registrando un espaciado basal de 12.2 \AA , también realizó el mismo procedimiento a la MMT cálcica obteniendo un espaciado basal de 14.2 \AA y concluye que la MMT cálcica tiene dos capas de agua en el espaciado interlamilar mientras que la sódica solo tiene una.

La MMT como refuerzo y relleno es muy eficiente como se ha venido revisando, sin embargo, también se puede precisar que ante las posibles modificaciones de la MMT se registró un aumento de la distancia entre los planos tal como lo menciona (Pascual Bernabeu, 2015) logrando una buena apertura de la estructura que permite la entrada de cadenas poliméricas y establecer la interacción entre la matriz y el refuerzo.

4.3. Caracterización del contenido de amilosa y amilopectina

Tabla 13

Contenido de amilosa y amilopectina

Producto	Amilosa (%)	% de Amilopectina
Almidón modificado de papa	34.7 ± 0.18%	65.3 ± 0.18%

El almidón modificado enzimáticamente según la ficha técnica (Ver anexo 16) adquirido en la empresa Polifood fue analizado y registró un contenido de amilosa de 34.7 % y Amilopectina 65.3 %.

Según Sandhu y Singh (2007) afirman que un almidón nativo consiste de aproximadamente 75 % en peso de amilopectina y aproximadamente 25 % en peso de amilosa ramificado, que es lineal o ligeramente ramificada. Asimismo, Alarcón y Arroyo (2016) indican que para obtener mejores beneficios se requiere tener un almidón modificado, en su caso lo hicieron químicamente, con el objetivo de que la proporción de amilosa aumente obteniendo un biopolímero con 61.76 % de amilosa y 38.28 % de amilopectina.

Según Meré (2009) y Charro (2015) los almidones termoplásticos biodegradables derivados del almidón deben presentar un porcentaje de amilosa mayor para conseguir una fabricación óptima. Para mejorar las escasas propiedades mecánicas del almidón es común someterlo a modificaciones tanto físicas como químicas. Según Fazilah et al. (2011) menciona que la amilosa, que es la fracción lineal de almidón, es responsable de la formación de películas coherentes, relativamente fuertes y exentas de reticulaciones físicas en la red macromolecular de almidón se forman principalmente por amilosa microcristalina y afectan a las propiedades mecánicas de películas, en contraste, la ramificada estructura de amilopectina conduce generalmente a películas que son resistencia a la tracción frágil y reducida.

4.4. Elaboración del bioplástico

Se obtuvieron los bioplásticos siguiendo las concentraciones que se determinó en el método estadístico. Los bioplásticos obtenidos a base de almidón termoplástico modificado y alginato reforzado con montmorillonita sódica registraron las propiedades detalladas en la tabla 14.

Tabla 14
Resultados generales

Trata miento	Variables Independientes				Variables dependientes				
	Codificados		No codificados		Fuerza de ruptura (Mpa)	Elongación (%)	PVA (g mm/ h m2 kPa)	Solubilidad (%)	Degrada bilidad (%)
	X ₁	X ₂	MMT (gr/100ml)	Relación Alginato/ Almidón (gr/100ml)					
1	-1	-1	0.15	1:2	3.19 ± 0.04	49.99 ± 3.80	7.15 *10 ⁻¹¹	53.66	68.63
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	3.78 ± 1.42	50.25 ± 10.04	9.15 *10 ⁻¹¹	61.90	54.24
3	1	-1	0.3	1:2	4.77 ± 0.30	38.44 ± 0.85	6.86 *10 ⁻¹¹	36.17	68.42
4	1	1	0.3	1.5:1.5	7.43 ± 0.89	66.55 ± 7.13	5.46 *10 ⁻¹¹	62.75	40.17
5	-1.41	0	0.12	1.28:1.72	3.15 ± 0.09	23.05 ± 3.94	9.82 *10 ⁻¹¹	41.86	71.89
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	4.57 ± 2.64	37.18 ± 12.76	5.40 *10 ⁻¹¹	43.40	52.51
7	0	-1.41	0.225	0.86:2.14	2.79 ± 0.01	35.58 ± 2.71	12.27 *10 ⁻¹¹	60.38	92.42
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	8.97 ± 0.96	49.47 ± 1.39	10.84 *10 ⁻¹¹	55.32	24.29
9	0	0	0.225	1.28:1.72	5.24 ± 1.14	51.85 ± 1.41	6.27 *10 ⁻¹¹	52.46	47.7
10	0	0	0.225	1.28:1.72	4.35 ± 0.04	50.24 ± 13.61	6.43 *10 ⁻¹¹	49.12	87.6
11	0	0	0.225	1.28:1.72			6.51 *10 ⁻¹¹	50.91	

4.4.1. Ensayo de Propiedades mecánicas

Los Resultados del análisis de fuerza de ruptura y elongación mediante el texturómetro se evidencian en la Tabla 14.

Tabla 15
Resultados de fuerza de ruptura y elongación

Trat.	Variables Independientes				Variables dependientes	
	Codificados		No codificados		Fuerza de ruptura (MPa)	Elongación (%)
	X ₁	X ₂	MMT (g/100mL)	Relación A/A (g/100mL)		
1	-1	-1	0.15	1.0:2.0	3.19 ± 0.04	49.99 ± 3.80
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	3.78 ± 1.42	50.25 ± 10.04
3	1	-1	0.3	1.0:2.0	4.77 ± 0.30	38.44 ± 0.85
4	1	1	0.3	1.5:1.5	7.43 ± 0.89	66.55 ± 7.13
5	-1.41	0	0.12	1.28:1.72	3.15 ± 0.09	23.05 ± 3.94
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	4.57 ± 2.64	37.18 ± 12.76
7	0	-1.41	0.225	0.86:2.14	2.79 ± 0.01	35.58 ± 2.71
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	8.97 ± 0.96	49.47 ± 1.39
9	0	0	0.225	1.28:1.72	5.24 ± 1.14	51.85 ± 1.41
10	0	0	0.225	1.28:1.72	4.35 ± 0.04	50.24 ± 13.61

Tabla 16
Análisis de varianza de fuerza de ruptura

Factor	SC	G L	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita (%) (L)	13.23513	1	13.23513	11.2681 3	0.006400
Montmorillonita (%) (Q)	2.20087	1	2.20087	1.87378	0.198346
(2)Alginato/Almidón(L)	35.86499	1	35.86499	30.5347 5	0.000179
Alginato/Almidón(Q)	2.53535	1	2.53535	2.15855	0.169789
1L por 2L	2.14621	1	2.14621	1.82724	0.203595
Falta de ajuste	10.31356	3	3.43785	2.92692	0.081252
Error puro	12.92019	11	1.17456		
Total SS	82.64049	19			

R²: 0.71886
R² ajustado: 0.618445

En la Tabla 16 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para los factores montmorillonita, la relación alginato/almidón y las interacciones entre ellos, estos han sido trabajados a un 95% de nivel de confianza. El ajuste de la regresión del modelo aplicado a los datos observados presentó un coeficiente de determinación R^2 de 72 % y el R^2 ajustado en 62 %, demostrando que, en el residuo la falta de ajuste no es significativo, quiere decir que el ajuste del modelo es estadísticamente significativo.

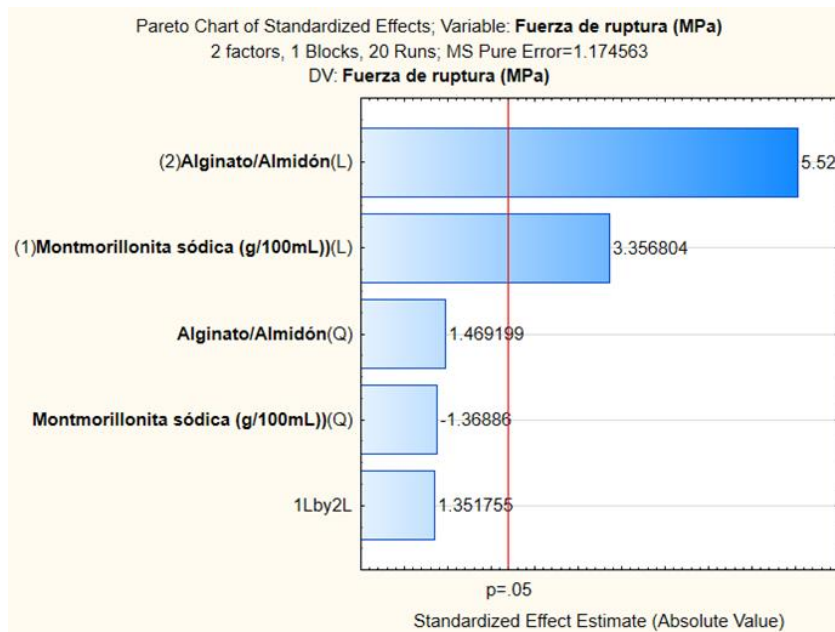


Figura 17. Gráfica de Pareto de fuerza de ruptura (MPa)

En la Figura 17 se presenta el diagrama de Pareto en el cual podemos observar que los efectos principales son Alginato/almidón (L) y Montmorillonita sódica (g/100 mL) (L) son significativos ($p \leq 0.05$), es decir ambos son determinantes para obtener bioplásticos con una fuerza de ruptura mayor.

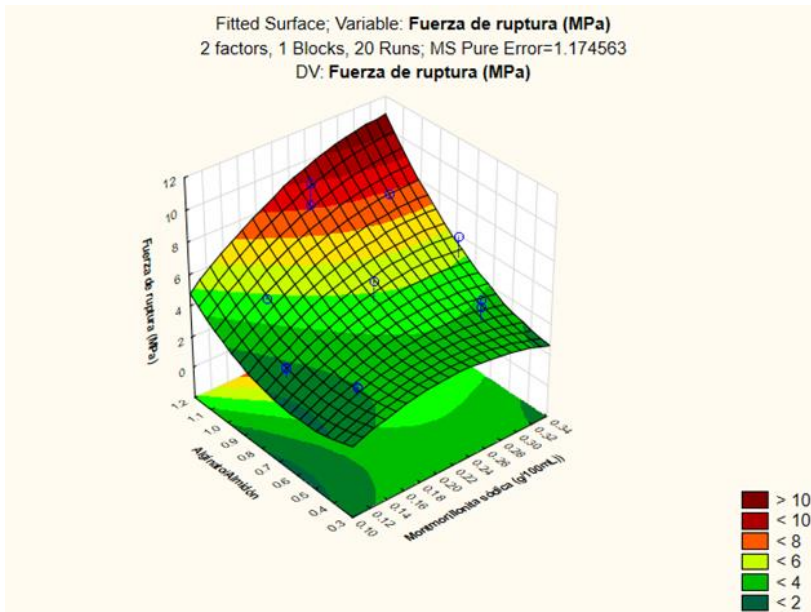


Figura 18. Diagrama de superficie de respuesta de fuerza de ruptura

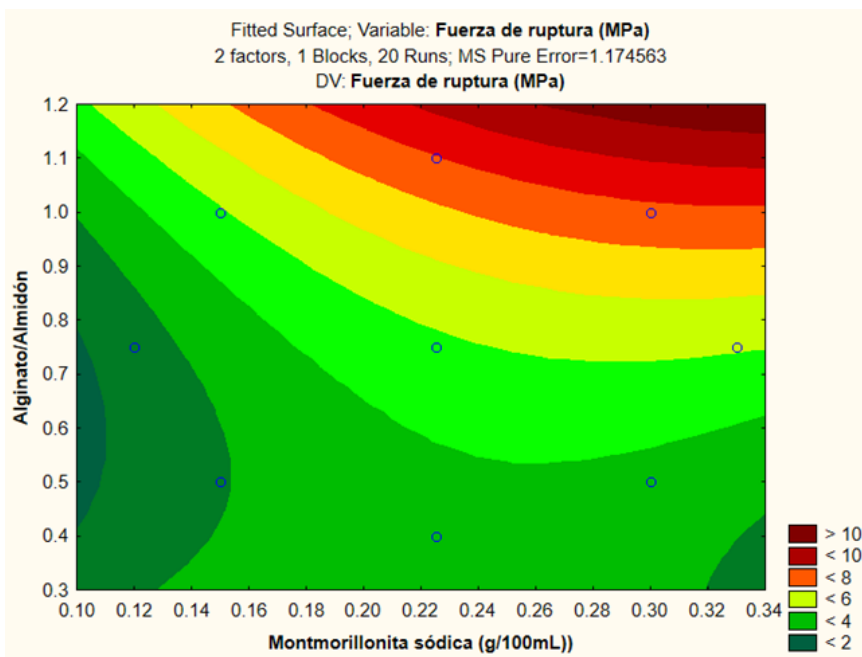


Figura 19. Diagrama de contorno de fuerza de ruptura.

En las Figuras 18 y 19 se puede observar que a mayores concentraciones de alginato/almidón y montmorillonita sódica hay mayor resistencia a la fuerza de ruptura.

Tabla 17
Análisis de varianza de elongación

Factor	SC	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL))(L)	152.027	1	152.0272	3.07344	0.107366
Montmorillonita sódica (g/100mL))(Q)	390.994	1	390.9943	7.90450	0.016923
(2)Alginato/Almidón(L)	577.251	1	577.2514	11.66995	0.005762
Alginato/Almidón(Q)	0.770	1	0.7701	0.01557	0.902953
1L por 2L	387.637	1	387.6372	7.83663	0.017293
Falta de ajuste	992.919	3	330.9731	6.69109	0.007808
Error puro	544.113	11	49.4648		
Total SS	3111.939	19			

R²: 0.50609
R² ajustado: 0.32969

En la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde registró el comportamiento de las variables independientes en cuanto al porcentaje de elongación de los bioplásticos. Para ello el modelo presentó un coeficiente de determinación R² de 51% y el R² ajustado en 33 %, demostrando que, en el residuo, la falta de ajuste es significativo.

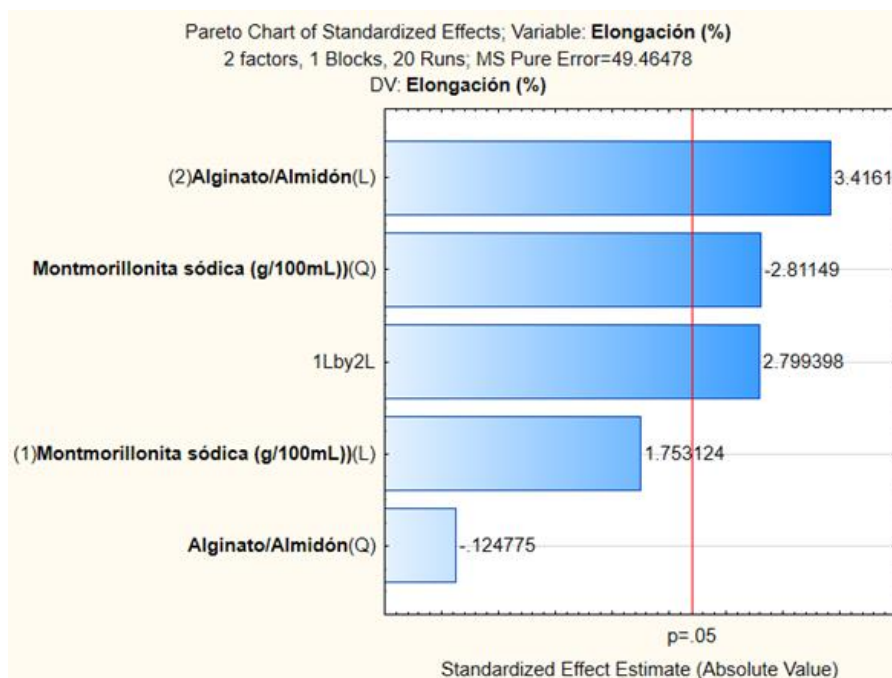


Figura 20. Gráfica de Pareto de elongación (%).

En la Figura 20 presenta el diagrama de Pareto en el cual podemos observar que las variables independientes (Relación Alginato/almidón y montmorillonita sódica

(g/100mL)) son significativos ($p= 0.05$), es decir ambos son determinantes para obtener bioplásticos con una mayor elongación. Sin embargo, la relación de alginato/almidón (L) tiene mayor influencia en la elongación (%). Posteriormente se encuentra la influencia de la montmorillonita (Q), sin embargo, este se presenta con valor negativo lo que significa que esta variable se requiere en menor cantidad para mayor elongación. Finalmente, la interacción entre montmorillonita (g/100mL) y la relación alginato/almidón tiene influencia en una distribución lineal.

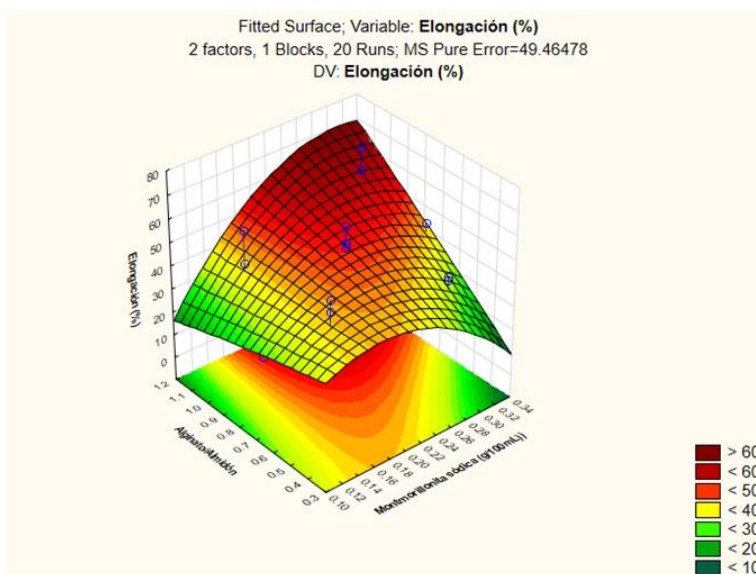


Figura 21. Diagrama de superficie de respuesta de elongación.

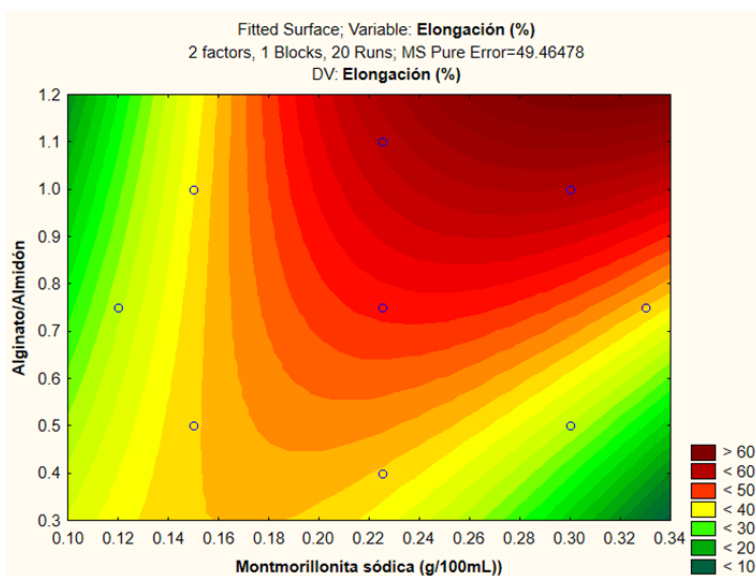


Figura 22. Diagrama de contorno de elongación.

De acuerdo con la Figura 21 y 22 que presentan las gráficas de superficie de respuesta y contorno para la variable elongación (%), podemos afirmar que mayor porcentaje de elongación a mayor concentración de Alginato/Almidón, menor concentración de Montmorillonita sódica y la interacción de ambos en distribución lineal. Se puede alcanzar bioplásticos con una elongación mayor a 60%.

Tabla 18
Coefficiente de Regresión Lineal de Elongación

Factor	R. Coef.	Std, Err.	t(11)	p	(-) 95% Cnf,Limit	(+) 95% Cnf,limit
Mean/Interc.	23.72	40.2682	0.58906	0.56772 1	-64.91	112.350
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL))(L)	292.7 6	214.407 7	1.36545	0.19938 3	-179.14	764.672
Montmorillonita sódica (g/100mL))(Q)	- 1177. 54	418.831 8	-2.81149	0.01692 3	-2099.39	-255.701
(2)Alginato/ Almidón(L)	- 52.33	64.3223	-0.81355	0.43316 3	-193.90	89.243
Alginato/Almidón(Q)	-4.70	37.6949	-0.12477	0.90295 3	-87.67	78.262
1L by 2L	371.2 5	132.617 8	2.79940	0.01729 3	79.36	663.140

La ecuación ajustada reducida de regresion de coeficientes sigificativos para el modelo de segundo orden, en cuanto al parámetro de elongación es representada en la Ecuación 15.

Ecuación 15. Elongación (%)

$$Elongación (\%) = -1177.54(MMT)^2 + 371.25 (MMT)(AA)$$

Donde:

MMT: Montmorillonita sódica (gr/100ml)

AA: Relación alginato/almidón

Es importante recalcar que se adicionó 1.5 mL de glicerol a cada tratamiento como plastificante, según Oropeza et al., (2016) indica que el propósito de adicionar plastificantes a las películas de almidón, es evitar la fragilidad de estas y mejorar su flexibilidad, puesto que el plastificante juega un papel importante en la estructura y propiedades de la película polimérica formada.

Charro (2015) indica que el porcentaje de amilosa es importante en el proceso de plastificación, es recomendable adicionar un proceso de modificación química del almidón para aumentar el porcentaje de amilosa y mejorar la calidad de la materia prima. Según Arroyo y Alarcón (2014) indican que para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de bioplásticos se necesita tener un almidón modificado químicamente, donde la proporción de amilosa sea mayor.

Brodin et al (2017) mencionó que la adición de polímeros de alto peso molecular (alginato) proporcionó una alta tenacidad mecánica.

Según Rodríguez et al. (2013) registraron que a mayor concentración de MMT favorece la resistencia a la ruptura es decir las propiedades mecánicas mejoran con el aumento en el contenido de MMT, lo cual se relaciona con la intercalación de la arcilla que contribuye a una mejor compatibilidad con la matriz polimérica.

Oropeza et al. (2016) mencionan que, en su forma nativa, los almidones se organizan en gránulos semicristalinos con escasas propiedades mecánicas y alta afinidad por el agua, y la adición de nanorellenos (p. ej. arcillas) mejora esas propiedades.

González et al. (2016) menciona que el porcentaje de elongación disminuyó al adicionar MMT de sodio, lo cual se puede atribuir a la intercalación de las capas de silicatos, que provoca una disminución de la flexibilidad. Corroborando así que es

necesaria la adición de MMT, pero en cantidades bajas. Por su parte (Carriazo, Torres, & Ensuncho, 2012) La incorporación de montmorillonitas en sistemas poliméricos permite fortalecer la resistencia mecánica, mejorar la resistencia térmica y controlar la conductividad eléctrica de los plásticos iniciales.

4.4.2. Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua

Los ensayos de laboratorio en cuanto a la Permeabilidad al vapor de agua presentan los resultados registrados en la Tabla 19.

Tabla 19
Resultados de Permeabilidad al vapor de agua

Tratamiento	Variables Independientes				Variable dependiente
	Codificados		No codificados		
	X ₁	X ₂	MMT(g/100 ml)	Relación A/A (g/100ml)	
1	-1	-1	0.15	1.0:2.0	7.15 *10 ⁻¹¹
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	9.15 *10 ⁻¹¹
3	1	-1	0.3	1.0:2.0	6.86 *10 ⁻¹¹
4	1	1	0.3	1.5:1.5	5.46 *10 ⁻¹¹
5	-1.41	0	0.12	1.28:1.72	9.82 *10 ⁻¹¹
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	5.40 *10 ⁻¹¹
7	0	-1.41	0.225	0.86:2.14	12.27 *10 ⁻¹¹
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	10.84 *10 ⁻¹¹
9	0	0	0.225	1.28:1.72	6.27 *10 ⁻¹¹
10	0	0	0.225	1.28:1.72	6.43 *10 ⁻¹¹
11	0	0	0.225	1.28:1.72	6.51 *10 ⁻¹¹

En la Tabla 20 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde registró el comportamiento de las variables independientes. Para ello el modelo presentó un coeficiente de determinación (R²) de 74 % y el R² ajustado en 49 %.

Tabla 20
Análisis de varianza de permeabilidad al vapor de agua

Factor	SC	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	13.01873	1	13.01873	936.544	0.001066
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	0.00776	1	0.00776	0.558	0.532859
(2)Alginato/Almidón(L)	0.24675	1	0.24675	17.751	0.051982
Alginato/Almidón(Q)	21.47175	1	21.47175	1544.638	0.000647
1L by 2L	2.88927	1	2.88927	207.849	0.004777
Falta de ajuste	13.70285	3	4.56762	328.586	0.003036
Error puro	0.02780	2	0.01390		
Total SS	53.51154	10			

R²: 0.74341

R² de ajuste: 0.48682

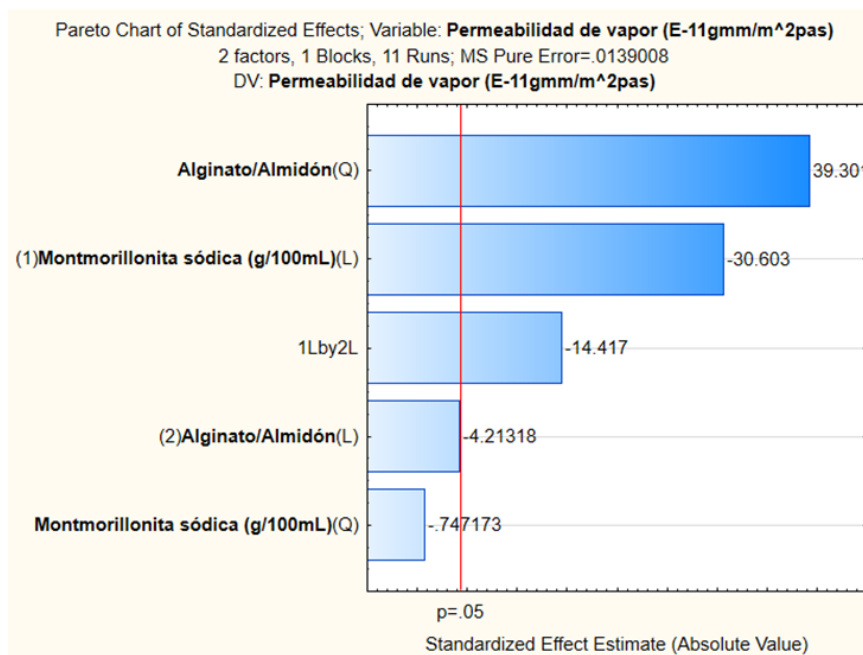


Figura 23. Gráfica de Pareto de permeabilidad al vapor de agua

En la Figura 23 presenta el diagrama de Pareto en el cual podemos observar que las variables independientes (Alginato/almidón y montmorillonita sódica (g/100mL)) son significativos ($p \leq 0.05$), es decir ambos son determinantes para determinar la evaluación bioplásticos en cuanto a la permeabilidad al vapor de agua. Sin embargo, la relación alginato/almidón tiene mayor influencia con un modelo cuadrático (Q). Seguidamente se

encuentra la montmorillonita en modelo lineal (L). Finalmente, la interacción entre montmorillonita (g/100mL) y la relación alginato/almidón en lineal (L).

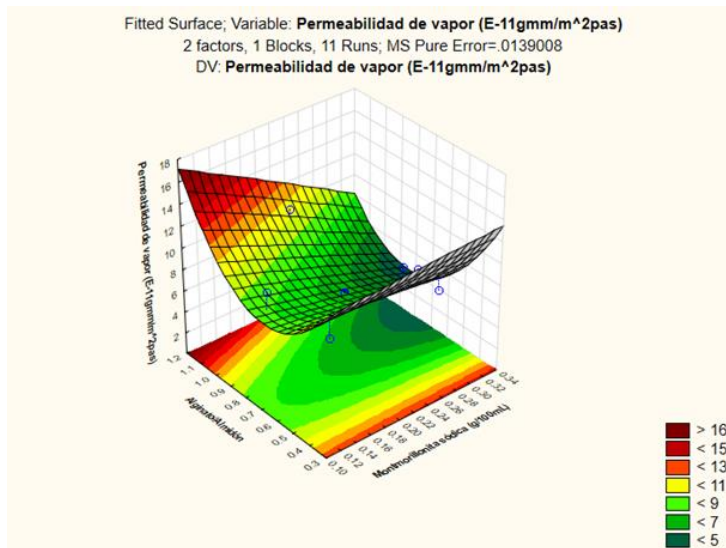


Figura 24. Diagrama de superficie de respuesta de permeabilidad al vapor de agua.

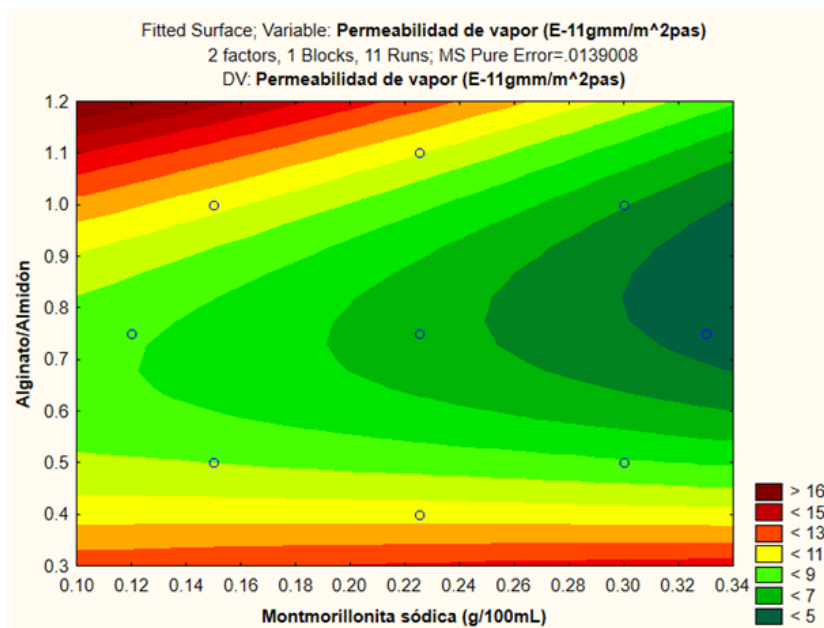


Figura 25. Diagrama de contorno de permeabilidad al vapor de agua.

De acuerdo con la Figura 24 y 25 que presentan las gráficas de superficie de respuesta y contorno para la variable dependiente permeabilidad al vapor de agua (g mm/hm² kPa), podemos observar que se registra menor permeabilidad en relaciones de 0.4:1 respecto de Alginato/Almidón, y mayor concentración de Montmorillonita sódica y la interacción de

ambos (L). Determinando así que se puede alcanzar bioplásticos con menor de $5 * 10^{-11} gmm/hm^2 KPa$.

Tabla 21
Coefficiente de Regresión Lineal de Permeabilidad al vapor de agua.

Factor	R. Coef.	Std, Err.	t(11)	p	(-) 95% Cnf,Limit	(+) 95% Cnf,limit
Mean/Interc.	20.6152	0.871694	23.6495	0.001783	16.8646	24.3657
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	19.9071	4.696699	4.2385	0.051409	-0.3012	40.1154
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	-6.6802	8.940579	-0.7472	0.532859	-45.1484	31.7880
(2)Alginato/Almidón(L)	-37.9438	1.409010	-26.9294	0.001376	-44.0063	-31.8814
Alginato/Almidón(Q)	31.6243	0.804652	39.3019	0.000647	28.1622	35.0865
1L by 2L	-45.3276	3.144047	-14.4170	0.004777	-58.8553	-31.7999

La ecuación ajustada reducida para un modelo matemático en cuanto al parámetro de permeabilidad al vapor de agua es representada en la Ecuación 16.

Ecuación 16. Permeabilidad al vapor de agua

$$PVA = 20.62 - 37.94(AA) + 31.62(AA)^2 - 45.33 (MMT)(AA)$$

Donde:

MMT: Montmorillonita sódica (gr/100ml)

AA: Relación alginato/almidón

En cuanto al almidón (Fernanda, Portillo, & Panamericana, 2017) menciona que la proporción de amilosa - amilopectina y el origen botánico es otro factor que influye en la PVA. A mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua, en nuestro caso el alginato de sodio y el almidón poseen alta solubilidad.

Rodriguez et al (2013) reportó que en altas concentraciones de MMT se obtiene un valor mínimo de PVA $1.42 \times 10^{-1} \text{ gmm/hm}^2 \text{ KPa}$ en biopelículas reforzadas con ello.

4.4.3. Ensayo de Solubilidad

Tabla 22
Resultados de solubilidad

Tratamiento	Variables Independientes				Variable dependiente
	Codificados		No codificados		
	X ₁	X ₂	MMT(g/100 ml)	Relación A/A (g/100 ml)	Solubilidad (%)
1	-1	-1	0.15	1.0:2.0	53.66
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	61.90
3	1	-1	0.3	1.0:2.0	36.17
4	1	1	0.3	1.5:1.5	62.75
5	-1.41	0	0.12	1.28:1.72	41.86
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	43.40
7	0	-1.41	0.225	0.86:2.14	60.38
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	55.32
9	0	0	0.225	1.28:1.72	52.46
10	0	0	0.225	1.28:1.72	49.12
11	0	0	0.225	1.28:1.72	50.91

En la Tabla 22 se muestran los datos reportados según los análisis realizados en cuanto a la solubilidad en agua. En la Tabla 23 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde registró el comportamiento de las variables independientes. Para ello el modelo presentó un coeficiente de determinación R^2 de 60% y el R^2 ajustado en 21%.

Tabla 23
Análisis de Varianza de Solubilidad al agua

Factor	SC	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	13.01873	1	13.01873	936.544	0.001066
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	0.00776	1	0.00776	0.558	0.532859
(2)Alginato/Almidón(L)	0.24675	1	0.24675	17.751	0.051982
Alginato/Almidón(Q)	21.47175	1	21.47175	1544.638	0.000647
1L by 2L	2.88927	1	2.88927	207.849	0.004777
Falta de ajuste	13.70285	3	4.56762	328.586	0.003036
Error puro	0.02780	2	0.01390		
Total SS	53.51154	10			

R²: 0.60329

R² de ajuste: 0.20658

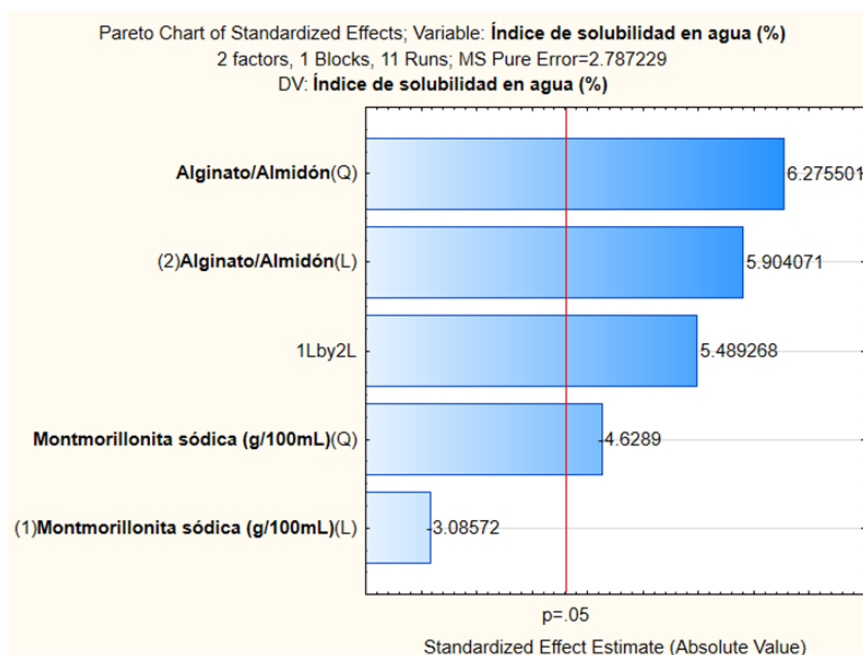


Figura 26. Gráfica de Pareto de solubilidad en agua.

En la Figura 26 se muestra el diagrama de Pareto en el cual podemos observar que las variables independientes (Alginato/almidón y montmorillonita sódica (g/100ml)) son significativos ($p \leq 0.05$), es decir ambos son determinantes para obtener bioplásticos con mayor solubilidad en agua . Sin embargo, la relación alginato/almidón (Q) y (L) en ese orden respectivamente tiene mayor influencia. Seguidamente la interacción entre la

relación de alginato/almidón y montmorillonita (g/100 mL) en modelo lineal, finalmente se encuentra la influencia de la montmorillonita con signo negativo (Q).

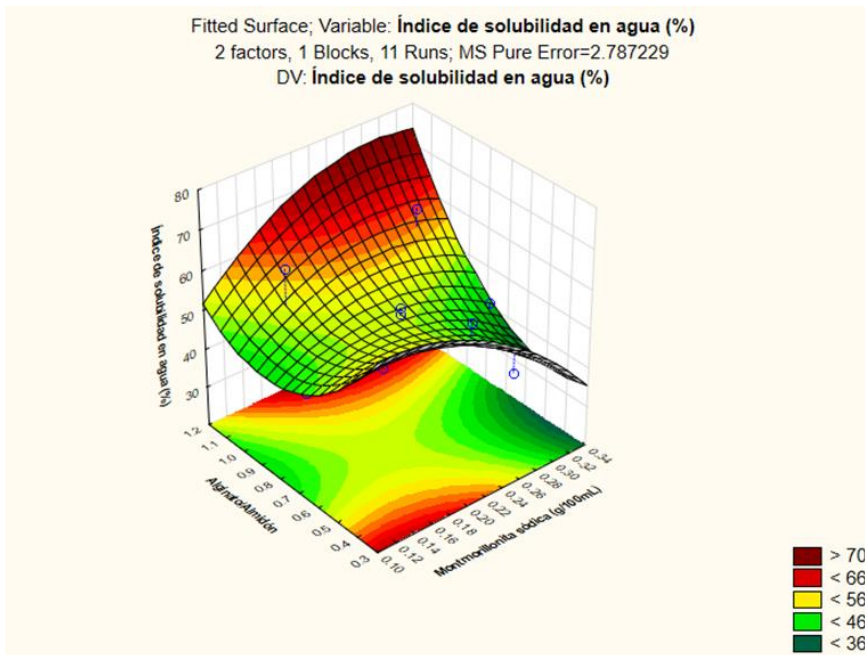


Figura 27. Diagrama de superficie de respuesta de solubilidad.

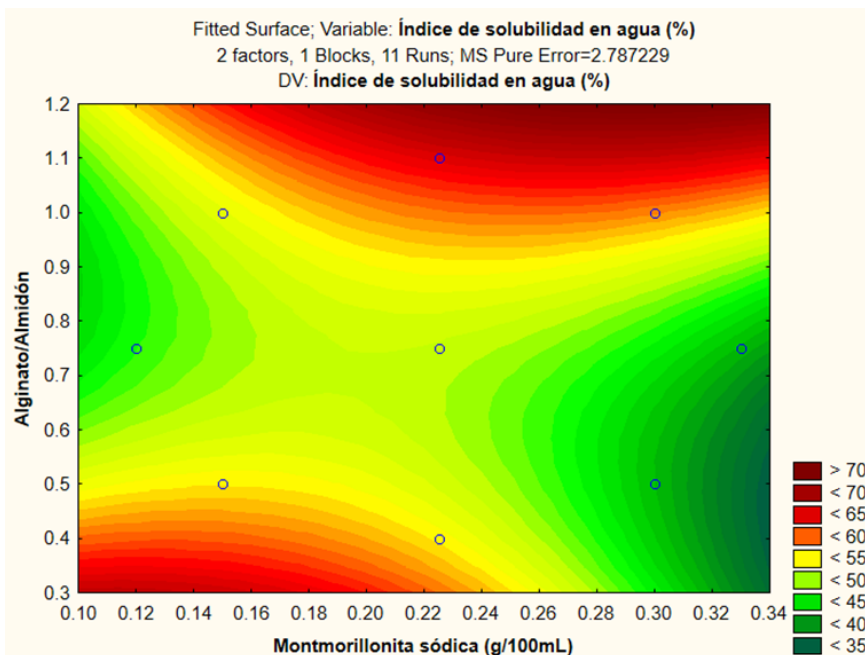


Figura 28. Diagrama de contorno de solubilidad.

De acuerdo con la Figura 27 y 28 que presenta las gráficas de superficie de respuesta y contorno respectivamente para la variable solubilidad en agua (%), podemos visualizar

que se registra mayor solubilidad a mayor concentración de Alginato/Almidón y Montmorillonita sódica logrando bioplásticos con mayor al 70% de solubilidad en agua.

Tabla 24
Coefficiente de Regresión Lineal de Solubilidad en Agua

Factor	R. Coef.	Std, Err.	t(11)	p	(-) 95% Cnf,Limit	(+) 95% Cnf,limit
Mean/Interc.	97.562	12.3433	7.90407	0.015632	44.45	150.6708
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	56.013	66.5057	0.84223	0.488319	-230.14	342.1641
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	-586.016	126.5994	-4.62890	0.043638	-1130.73	-41.3026
(2) Alginato/ Almidón(L)	-148.230	19.9517	-7.42945	0.017639	-234.08	-62.3849
Alginato/Almidón(Q)	71.503	11.3939	6.27550	0.024464	22.48	120.5269
1L by 2L	244.382	44.5200	5.48927	0.031622	52.83	435.9362

La ecuación ajustada reducida para un modelo matemático en cuanto al parámetro de solubilidad en agua es representada en la Ecuación 17.

Ecuación 17. Solubilidad en agua

$$S = 97.56 - 586.016(MMT)^2 - 148.23(AA) + 71.50(AA)^2 - 244.382 (MMT)(AA)$$

Donde:

MMT: Montmorillonita sódica (gr/100ml)

AA: Relación alginato/almidón

De acuerdo a Valero, Ortegon, y Uscategui (2013) mencionan que frente a los polímeros plásticos corrientes, el almidón termoplástico presenta desventajas tales como: su solubilidad.

Por otro lado, Palomino (2018) indica que la solubilidad en agua está influenciada por las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución.

Según Criollo (2019) afirma que el rango de solubilidad de las películas elaboradas osciló entre el 21,5% al 41,01%, siendo el valor menor para aquellas que tuvieron una concentración de 0,5 % de almidón y 0,25% de glucosa; a medida que se incrementa la cantidad de almidón la solubilidad aumenta.

Domínguez y Jiménez (2012) menciona que el alginato tiene potencial en la formación de películas comestibles ya que tiene buena capacidad en la formación de geles al reaccionar con cationes de metales, en este caso el sodio. Sin embargo, la alta solubilidad del alginato de sodio puede ser explicada por la naturaleza hidrofílica del compuesto.

Por otro lado González, Sotelo, y Gutiérrez, (2016) indican que la adición de MMT como material de refuerzo provocó una disminución de la solubilidad, esto debido a la interacción con la matriz polimérica que disminuye los grupos OH disponibles, haciendo más rígidas las películas, evitando el libre flujo de moléculas de agua

4.4.4. Ensayo de Degradabilidad

El ensayo de degradabilidad se realizó por un periodo de 35 días, los cuales se evidenció el seguimiento (Ver Anexo 15). Sin embargo, para conocer su tiempo final de degradación se estimó con dos tipos de modelos los cuales presentaron mayor ajuste aplicando regresión lineal simple a los datos que se aprecian en la Figura 29.

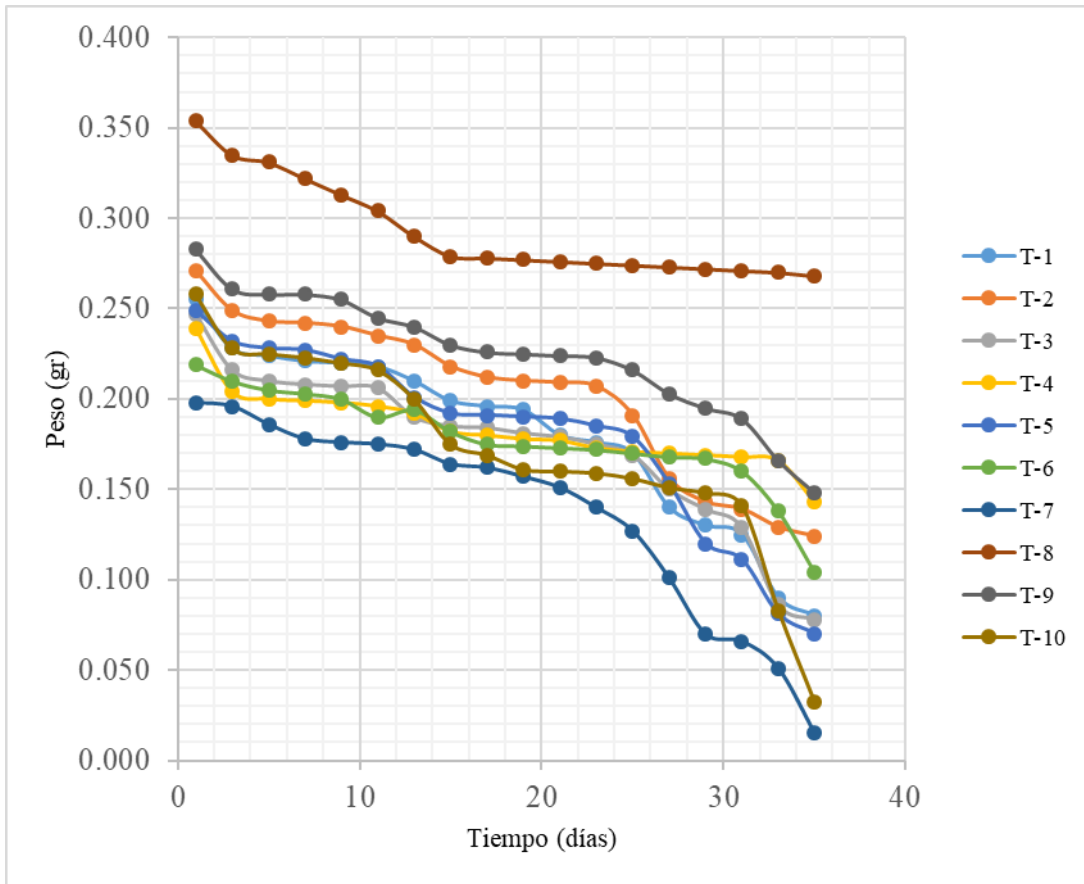


Figura 29. Degradación ambiental en 35 días.

Tal como se aprecia en la Tabla 25, El modelo polinomial tiene mayor ajuste con respecto al R^2 . Los dos modelos fueron trabajados en el software STATISTICA versión 13.

Tabla 25
 Modelo lineal y cuadrático de datos ajustados

Tratamiento	D - Modelo lineal	D - Modelo polinómica
1	$y = -0.0044x + 0.2609$ $R^2 = 0.9206$	$y = -0.0001x^2 - 0.0003x + 0.2359$ $R^2 = 0.9737$
2	$y = -0.0041x + 0.2765$ $R^2 = 0.9272$	$y = -9E-05x^2 - 0.001x + 0.2578$ $R^2 = 0.9623$
3	$y = -0.0039x + 0.2441$ $R^2 = 0.8798$	$y = -0.0001x^2 - 0.0002x + 0.2222$ $R^2 = 0.9312$
4	$y = -0.0018x + 0.216$ $R^2 = 0.8497$	$y = 3E-05x^2 - 0.0029x + 0.2226$ $R^2 = 0.8704$
5	$y = -0.0046x + 0.2634$ $R^2 = 0.8856$	$y = -0.0001x^2 + 0.0005x + 0.2327$ $R^2 = 0.9562$
6	$y = -0.0024x + 0.2206$ $R^2 = 0.851$	$y = -4E-05x^2 - 0.0009x + 0.2118$ $R^2 = 0.8724$
7	$y = -0.0048x + 0.224$ $R^2 = 0.872$	$y = -0.0002x^2 + 0.0017x + 0.1852$ $R^2 = 0.9769$
8	$y = -0.0023x + 0.3334$ $R^2 = 0.8123$	$y = 0.0001x^2 - 0.0063x + 0.3575$ $R^2 = 0.9773$
9	$y = -0.0031x + 0.2812$ $R^2 = 0.9291$	$y = -5E-05x^2 - 0.0012x + 0.2698$ $R^2 = 0.9515$
10	$y = -0.0048x + 0.2583$ $R^2 = 0.8597$	$y = -8E-05x^2 - 0.0019x + 0.241$ $R^2 = 0.8802$

4.4.4.1. Modelo Polinomial

En la Tabla 26 se muestran los datos reportados en una distribución polinomial para 35 días.

Tabla 26
Modelo polinómico de datos de Degradabilidad

Tratamiento	Variables Independientes				Variable Independientes	
	Codificados		No codificados		Distribución real a 35 días (%)	MP 35 días (%)
	X ₁	X ₂	MMT (gr / 100 ml)	Relación A/A (gr / 100 ml)		
1	-1	-1	0.15	1:2	68.63	59.65
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	54.24	58.47
3	1	-1	0.3	1:2	68.42	62.47
4	1	1	0.3	1.5:1.5	40.17	64.71
5	- 1.41	0	0.12	1.28:1.72	71.89	62.77
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	52.51	45.64
7	0	- 1.41	0.225	0.86:2.14	92.42	100
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	24.29	26.7
9	0	0	0.225	1.28:1.72	47.7	41.15
10	0	0	0.225	1.28:1.72	87.6	70.35

Registrando una alta degradación en el tratamiento 7, tanto en los datos registrados en campo como en la estimación polinómica.

Tabla 27
Análisis de Varianza de Degradabilidad de MP 35 días

Factor	SC	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	28.120	1	28.120	0.057171	0.822777
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	0.086	1	0.086	0.000175	0.990089
(2)Alginato/Almidón(L)	1307.981	1	1307.981	2.659245	0.178284
Alginato/Almidón(Q)	92.828	1	92.828	0.188728	0.686385
1L by 2L	2.917	1	2.917	0.005931	0.942313
Error	1967.446	4	491.862		
Total SS	3422.163	9			

R²= 0.42509

R² de ajuste:0

En la Tabla 27 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde se registró el comportamiento de las variables independientes. Para ello el modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 42%

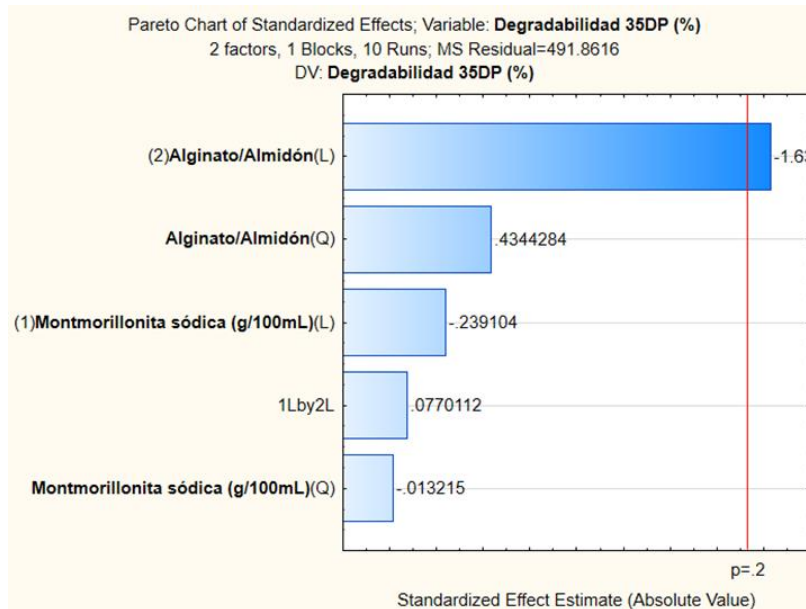


Figura 30. Gráfica de Pareto de degradabilidad en MP 35 días

En la Figura 30 se presenta el diagrama de Pareto en el cual podemos observar que la variable independiente con mayor influencia es la relación Alginato/Almidón y es significativa ($p \leq 0.2$). Así como también podemos apreciar el signo negativo, lo cual representa que a menores cantidades de Alginato/almidón será mayor el índice de degradabilidad en un MP a 35 días.

4.4.4.2. Modelo Lineal

Los resultados del modelo a 50 días se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28
Modelo lineal de datos de Degradabilidad

Tratamiento	Variables Independientes				Variable Independientes	
	Codificados		No codificados		Distribución real a 35 días (%)	Modelo lineal a 50 días (%)
	X ₁	X ₂	MMT (gr / 100 mL)	Relación A/A (gr / 100 mL)		
1	-1	-1	0.15	1:2	68.63	83.96
2	-1	1	0.15	1.5:1.5	54.24	73.62
3	1	-1	0.3	1:2	68.42	80.12
4	1	1	0.3	1.5:1.5	40.17	47.28
5	-	0	0.12	1.28:1.72	71.89	86.59
6	1.41	0	0.33	1.28:1.72	52.51	54.06
7	0	-	0.225	0.86:2.14	92.42	100
8	0	1.41	0.225	1.57:1.43	24.29	38.31
9	0	0	0.225	1.28:1.72	47.7	55.41
10	0	0	0.225	1.28:1.72	87.6	92.91

Tabla 29
Análisis de Varianza de ML 50 días

Factor	SC	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)Montmorillonita sódica (g/100mL)(L)	723.673	1	723.673	2.558720	0.184936
Montmorillonita sódica (g/100mL)(Q)	19.246	1	19.246	0.068049	0.807078
(2)Alginato/Almidón(L)	2505.661	1	2505.661	8.859363	0.040882
Alginato/Almidón(Q)	1.686	1	1.686	0.005961	0.942167
1L by 2L	126.524	1	126.524	0.447356	0.540214
Error	1131.305	4	282.826		
Total SS	4506.768	9			

R²: 0.74898

R² de ajuste: 0.4352

En la Tabla 28 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde se registró el comportamiento de las variables independientes. Para ello el modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 74% y un (R^2) de ajuste de 43%.

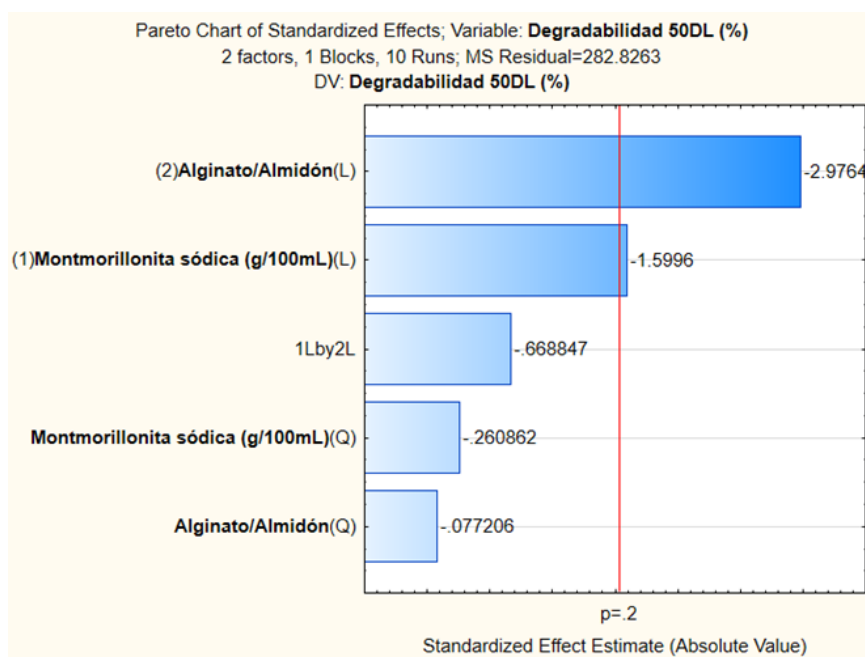


Figura 31. Gráfica de Pareto de degradabilidad en ML 50 días.

En la Figura 33 se muestra el diagrama de Pareto en el cual se puede apreciar que la variable independiente con mayor influencia es la relación Alginato/Almidón (L) con signo negativo y es significativa ($p \leq 0.2$), seguidamente se aprecia la influencia de la montmorillonita (L) (g/100ml), resaltando que ambos presentan símbolo negativo por lo que se puede afirmar que a menores concentraciones de ambas variables independientes con una distribución lineal se logra degradar con mayor rapidez.

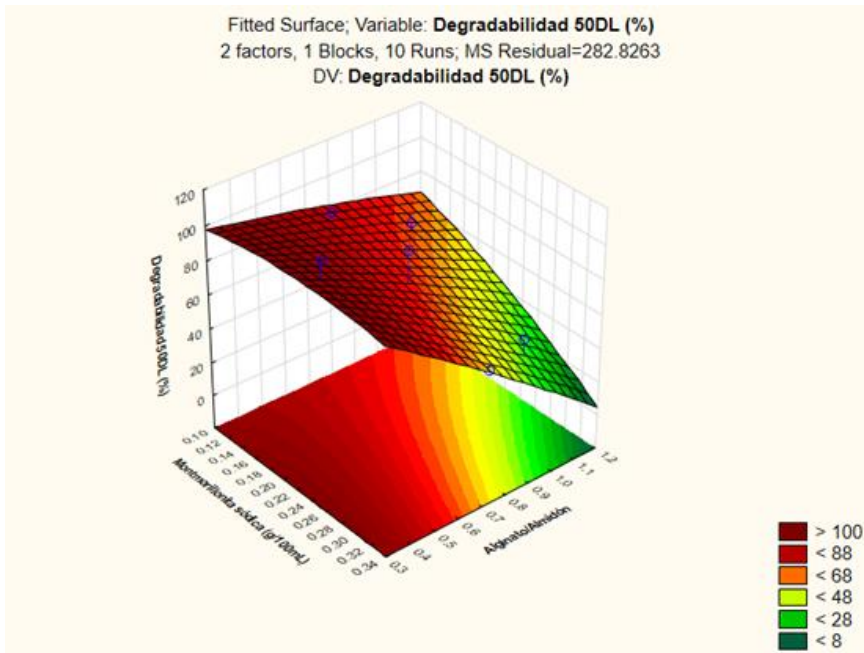


Figura 32. Diagrama de superficie de respuesta de degradabilidad en ML 50 días.

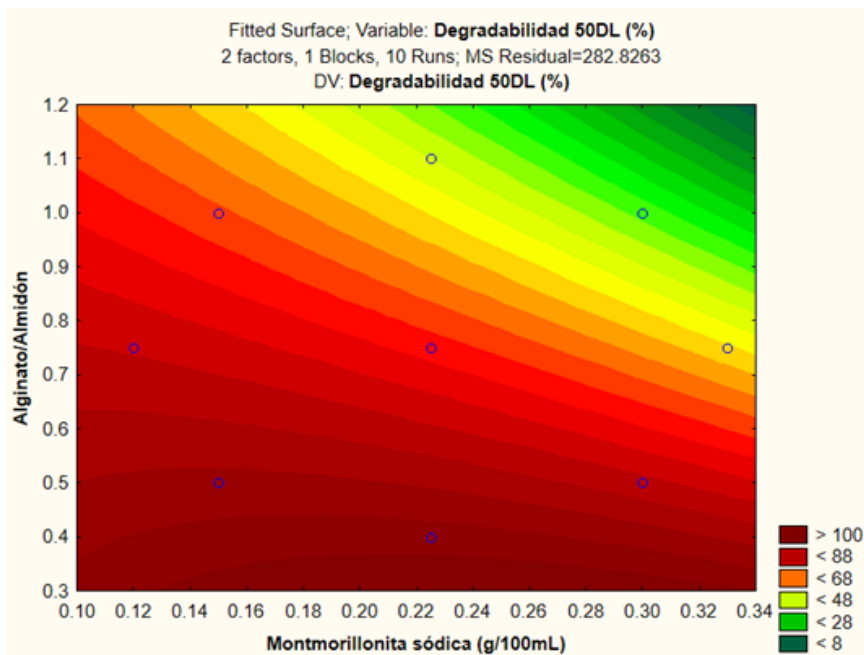


Figura 33. Diagrama de contorno de degradabilidad en ML 50 días.

De acuerdo con la Figura 34 y 35 que presenta las gráficas de superficie de respuesta y contorno respectivamente para el modelo lineal ML 50 días, podemos observar que a menores concentraciones de Alginato/Almidón y montmorillonita logramos la degradabilidad de bioplásticos en menor tiempo.

Considerando que en la investigación se realizó el riego a saturación para lo cual Shaxson y Barber (2005) mencionan que se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua, podemos afirmar que estas condiciones favorecen para una desintegración del bioplástico.

La degradabilidad se evaluó en función a sus componentes en este caso hidrofílicos, bajo ese contexto Mendoza et al. (2014) mencionan que en algunos casos una mayor solubilidad en agua es requerida o puede ser benéfica, sobre todo para que la degradación de esta sea más rápida.

Brodin et al (2017) afirman que los biofilms son biodegradables, siempre que se utilicen polímeros y aditivos de origen biológico y de origen natural.

Según lo reportado por Alemán et al. (2007) la prueba de biodegradabilidad en suelo de jardín se procedió a colocar las tiras, previamente pesadas, en el suelo a una profundidad de 25 cm para registrar la pérdida en peso después de 90 días de exposición al suelo. Después de exponer las películas a suelo de jardín, encontró que, a los 60 días de exposición, presentan un % de pérdida en peso que fluctúa entre el 20 y el 90 %. Según Oropeza et al. (2016) en pruebas de degradación de las películas a base de almidón de papa/quitosano/Acacia catechu, en condiciones ambientales y de suelo húmedo, las colocaron a 10 cm de profundidad y calcularon la pérdida de peso en el tiempo y la expectativa sobre biodegradabilidad de la película en el suelo fue menos de 6 meses.

Asimismo, Condés (2012) realizó su investigación incubando bioplásticos durante 3 semanas simulando condiciones ambientales promedio y realizó el riego con frecuencia diaria. Una vez por semana tomó muestra de bioplástico, las cuales fueron lavadas cuidadosamente con agua destilada, secadas a 50 °C durante 24 horas y pesadas

nuevamente. La pérdida de peso fue registrada mostrando resultados de 80 a 90% de biodegradación en 14 días.

Si bien es cierto, que en el modelo estadístico no se consideró variables climáticas, podemos afirmar con el soporte bibliográfico que los factores climáticos influyen en la degradabilidad, según la estación meteorológica del SENAMHI ubicada en la Universidad Peruana Unión reportó en el mes de marzo y abril temperaturas máximas y mínimas de (18.7°C y 27.9°C) y (17.6 y 28°C) respectivamente. Según Shrivastava (2018) y Galvéz (2016) lo denominan Erodabilidad o Erosión de Plásticos a todos los plásticos que se ven afectados por el clima exterior como las variaciones en la temperatura, la humedad, la lluvia, el viento, los gases atmosféricos, ataque microbiano, los contaminantes, la radiación, la luz solar, y otros elementos ambientales pueden tener un impacto sobre las propiedades plásticas por ejemplo la pérdida de las propiedades mecánicas, cambio en las dimensiones, la fragilización y otros.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró obtener montmorillonita sódica mediante el método de purificación de bentonita sódica.

La montmorillonita sódica registró un pico característico de $2\theta = 7.2^\circ$ con espacio interlaminar de 12,26 Å (1.226 nm), con una morfología de bordes agudos propios de la MMT. Estas propiedades aportaron como refuerzo, logrando ser significativos en la mejora de propiedades de los bioplásticos.

La cuantificación de la amilosa fue de 35% y amilopectina fue de 65% indicando una relación favorable para la formación del bioplástico.

Los parámetros de estudio (relación alginato/almidón y MMT) permitieron elaborar un bioplástico con buenas propiedades mecánicas, de permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y degradabilidad.

Las propiedades mecánicas demostraron tener bioplásticos con resistencia a la ruptura máxima de 8.97 Mpa, 66.55 % de elongación máxima, permeabilidad mínima de $5.40 \cdot 10^{-11}$ g mm/h m² kPa, 61.90 % de solubilidad máxima en agua a 24 horas y una alta degradabilidad en 35 días. Indicando que el bioplástico tiene buenas propiedades como empaque generando un impacto mucho menor a comparación del plástico convencional.

5.2. Recomendaciones

Realizar un análisis de microscopía electrónica de barrido a los bioplásticos para visualizar el comportamiento que han tenido los componentes en cuanto a su estructura e interacción.

Realizar análisis de vida útil del bioplástico ya que es una característica importante para definir el tipo de aplicación.

Optimizar los parámetros empleando diseño factoriales fraccionados y superficies de respuesta en las propiedades mecánicas.

Caracterizar las propiedades funcionales (T° de gelatinización, índice de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento) del almidón y el alginato de sodio de forma detallada para optimizar los parámetros de elaboración del bioplástico.

Caracterizar el suelo de manera detallada y monitorear las condiciones climáticas en las cuales se realizó el ensayo de degradabilidad.

Continuar con investigaciones en la elaboración de bioplásticos con residuos de la industria que contengan almidón como una alternativa de manejo de residuos sólidos.

REFERENCIAS

- Alarcón, H. & Arroyo, E. B. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Rev Soc Quím Perú*, 82(3), 315–323.
- Alemán, M., Galán, L., Morales, L., & Arévalo, K. (2007). Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (Cast-Films) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y alcohol polivinílico. 2. Retrieved from http://www.smbb.com.mx/congresos/smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_IV/CIV-14.pdf
- Allauca Romero, J. R., & Paredes Verduga, C. A. (2011). Caracterización Mineralógica y Tecnológica de Muestras de Arcillas Pertenecientes a la Provincia de Santa Elena – Ecuador. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral - Centro de Investigación Científica y Tecnológica*, (1).
- Arenas Riaño, C. A., & Pedraza Guarnizo, D. J. (2017). Evaluación del proceso de modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio. *Вестник Росздравнадзора*, 6, 5–9.
- Arévalo Alvarenga, V. L., Azucena Peña, G. A., & Laínez Amaya, S. E. (2018). Formulación y caracterización de una Biopelícula comestible elaborada a partir de Almidón de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y Yuca (*Manihot esculenta*). Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/15440/>
- Ariel Rodríguez. (2017). Biodegradabilidad De Materiales Bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(3), 69–72. Retrieved from <http://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/275/244>
- Arriola Márquez, Mariela Carolin, Rojas Pomalima, P. L. (2017). Síntesis y caracterización de nanoarcillas a partir de montmorillonita utilizando sales de amonio. Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Del Centro Del Perú Huncayo, 116.

- Arroyo B, Admundo; Alarcón C, H. (2014). Obtención, caracterización y análisis comparativo de polímeros biodegradables a partir de la yuca, papa y maíz. 14.
- Ashter, S. A. (2016a). Overview of Biodegradable Polymers. *Introduction to Bioplastics Engineering*, 19–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39396-6.00002-6>
- Avendaño-Romero, G.C., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87–96.
- Aviña, J. (2014). Almidones modificados. *Brenntag Specialties*, 24. Retrieved from file:///C:/Users/Ale/Downloads/117449541.Espanol_Amidones_Modif.pdf
- Bekaert, K., Devriese, L., Vandendriessche, S., & Vanderperren, E. (2015). *Spekvis: op zoek naar duurzame alternatieven voor spekking*.
- BeMiller, J. N. (2016). Starch, Modification. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00147-5>
- Bilo, F., Pandini, S., Sartore, L., Depero, L. E., Gargiulo, G., Bonassi, A., ... Bontempi, E. (2018). A sustainable bioplastic obtained from rice straw. *Journal of Cleaner Production*, 200, 357–368. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.252>.
- Borazo de Zaixso, A. L., Ciancia, M., Cerezo, A. S., Piriz, M. L., Casas, G. N., & Eyra, M. C. (2015). Utilización de las macroalgas marinas de la costa argentina y sus hidrocoloides.
- Brindely G W. (1951) “X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals”, Taylor and Francis, London.
- Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M. T., Area, M. C., & Chinga-Carrasco, G. (2017). Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 646–664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>
- Buggy, M. (2016). *Polymeric Materials*. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04104-7>
- Carriazo, J. G., Torres, J. A., & Ensuncho, A. E. (2012). Estudio De La Intercalación De Polianilina En Minerales De Arcilla Para Formar Materiales Micro-Compuestos

- Studying the Intercalation of Polyaniline in Clay Minerals To Make Micro-Composites Materials. *Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient*, 15(2), 481–489.
- Carvalho, A. J. F. (2013). Starch: Major Sources, Properties and Applications as Thermoplastic Materials. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*, 129–152. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00007-0>
- Castellón, C., Tejada, L., & Tejada, L. (2016). Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables Assessment of the environmental degradation of. *Informador Técnico (Colombia)* 80(1), 80(1), 24–32.
- Cesar, A. (2018). Desarrollo, caracterización y validación de un bioplástico reforzado con orégano con acción antifúngica en alternaria (*Alternria alternata*).
- Charro, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata (Universidad Central del Ecuador). Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>
- Chaudhary, B. I., Liotta, C. L., Cogen, J. M., & Gilbert, M. (2016). Plasticized PVC. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.02631-X>
- CIP. (2006). Catálogo De Variedades De Papa. Retrieved from <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003524.pdf>
- Colussi, R., & McCarthy, O. J. (2016). Potato Starch and Its Modification. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 195–247. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00008-X>
- Condés, M. C. (2012). Películas compuestas y nanocompuestos, biodegradables y/o comestibles, en base a proteínas de amaranto y almidones de distinto origen botánico. Universidad Nacional de La Plata.
- Constans, N. (2015). Preparación y caracterización de mezclas REX-PLA/ABS.
- Criollo, J. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de almidón de banano criollo (Universidad Técnica de Machala). Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7751/1/Muñoz.pdf>

- Cristán, A., Ize, I., & Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906905>
- Curvelo, A. A. S., Carvalho, A. J. F., & Agnelli, J. A. M. (2001). El almidón termoplástico ± ® bers materiales compuestos celulósicos: resultados preliminares. 45, 183–188.
- De Guillebon, B. (2011). Guía practica sobre Bioplásticos. Remar, 5–10.
- Dimitri P K and William R J (2005) “Principles of Engineering Geology and Geotechnics”, CBS Publishers & Distributors Pvt. Ltd.
- Domínguez Courtney, M.; Jiménez Munguía, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 110–121. Retrieved from mariaf.dominguezcy@udlap.mx
- Druc, I., Inokuchi, K., & Shen, Z. (2013). Análisis de arcillas y material comparativo por medio de difracción de rayos x y petrografía para kuntur wasi, cajamarca, Perú. *Arqueología y Sociedad*, 26, 91–110.
- Elles-Montero, A. E., & García-Echeverry, C. A. (2012). Mezcla Sinérgica Entre Polihidroxitirato (Phb) Y Caucho Natural (Latex) Para Obtener Un Copolimero. (August 2012), 97. <https://doi.org/10.13140/2.1.1431.8884>
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
- Enriquez C, M., Velasco M, R., & Ortiz G, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192.
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R., & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay Innotec*, (4), 33–36.

- European Bioplastics. Bioplastics in the automotive market—Clear benefits and strong performance. Fact Sheet. Berlin January (2017). https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_Automotive.pdf
- FAO. (2014). Anuario estadístico de la FAO 2014. La alimentación y la agricultura en América Latina y el Caribe.
- Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Bhat, R., Uthumporn, U., & Chew, S. (2011). Physical and mechanical properties of sago starch – alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal*, 18(3), 1027–1033.
- Fernanda, M., Portillo, P., & Panamericana, E. A. (2017). Desarrollo de bioplástico para Guayaba (*Psidium guajava* variedad Pedro Sato) Desarrollo de bioplástico para Guayaba (*Psidium guajava* variedad Pedro Sato).
- Fishman, M. L., Coffin, D. R., Onwulata, C. I., & Konstance, R. P. (2004). Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. *Carbohydrate Polymers*, 57(4), 401–413. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.05.014>
- Frías, C. (2003). Inland shipping problems. 69, 67–82.
- Galimberti, M., Cipolletti, V. R., & Coombs, M. (2013). Applications of Clay–Polymer Nanocomposites. *Developments in Clay Science*, 5, 539–586. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098259-5.00020-2>
- Galvéz Arévalo, A. G. (2016). Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído de maíz (*Zea mays*).
- García, F. (2017). Características texturales y microestructurales de un grupo seleccionado de arcillas especiales.
- Gilbert, M. (2012). Poly (vinyl chloride) (PVC)-based nanocomposites. *Advances in Polymer Nanocomposites*, 216–237. <https://doi.org/10.1533/9780857096241.2.216>
- Godwin, A. D. (2017). Plasticizers. *Applied Plastics Engineering Handbook*, 533–553. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00025-0>

- González, R. M., & Villanueva, M. P. (2011). Starch-based polymers for food packaging. *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*, 527–570. <https://doi.org/10.1533/9780857092786.4.527>
- González-Soto, R. A., Sotelo-Bautista, M., & Gutiérrez-Meráz, F. (2016). Películas de almidón de papa obtenidas por casting y extrusión reforzadas con montmorillonita de sodio modificada. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 627–632.
- Grim RE. (1953) “Clay mineralogy”, McGraw-Hill, New York.
- Grim RE. (1968) “Clay mineralogy, geological science series”, McGraw-Hill, New York.
- Gun, M. A. Van Der. (2014). *Sulzer Technical Review 2012-2: Insightful hot spots*. (January).
- Henriksson, M., Berglund, L. A., Isaksson, P., Lindström, T., & Nishino, T. (2008). Cellulose nanopaper structures of high toughness. *Biomacromolecules*, 9(6), 1579–1585. <https://doi.org/10.1021/bm800038n>
- Hernández, J., & Flores, S., Romero, F., Palma, A. (2016). Modelación Del Comportamiento Mecánico Del Nanocompuesto De Poliestireno-Montmorillonita, Mediante La Técnica De Nanoindentación. 70. Retrieved from [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/582/1/-Tesis Javier Hernández Rivera%2C Salvador Flores Cortes%2C Francisco Romero Ramírez%2C Alfredo Palma Flores.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/582/1/-Tesis%20Javier%20Hernández%20Rivera%20Salvador%20Flores%20Cortes%20Francisco%20Romero%20Ramírez%20Alfredo%20Palma%20Flores.pdf)
- Hernández, K. (2013). Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables. 1–102.
- Hernández, Torruco, Chel, & Betancur. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Heydari, A.; Alemzadeh, I. and Vossoughi, M. (2014). Influence of glycerol and clay contents on biodegradability of corn starch nanocomposites. *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*. 27(2):203-214.

- Hill, R. G. (2005). Polymers. *Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*, 37–47. <https://doi.org/10.1533/9781845690861.1.37>
- Jambeck, J. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223): 768-771.
- Jiménez, M. G. (2015). Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto. Retrieved from http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n11/n11_a07.pdf
- Kennedy BA. (1990). *Surface mining*. Society for mining, metallurgy, and Exploration. Inc., port city press; Second Edition.
- Kuchl, R. (2000). *Diseño de experimentos; Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación (Segunda edición)*. Retrieved from <http://148.206.53.84/tesiuami/Libros/L42.pdf>
- Kroschwitz, J I (1990), *Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Wiley, New York.
- Krzan, A., Hemjinda, S., Miertus, S., Corti, A., & Chiellini, E. (2006). Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 2819–2833. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2006.04.034>
- López Arteaga, L., & Castillo Zavala, S. (2018). Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria. 3, 678–691. Retrieved from <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/112.pdf>
- Magalhães, N.F. and Andrade, C.T. (2009). Thermoplastic corn starch/clay hybrids: effect of clay type and content on physical properties. *Carbohydrate Polymers*. 75(4):712-718.
- Martínez Pajuelo, S. L. (2015). Desarrollo y caracterización mecánica, térmica y estructural de nanocompuestos de almidón reforzados con nanopartículas de almidón. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6197>

- Martinez, D. (2015). Creación y caracterización del aerogel más óptimo para aplicaciones de packaging mediante alginato, montmorillonita de sodio y ácido tánico. 1(1), 116–128.
- Martínez, H. H. (2013). Utilización de lignina de oleote de maíz como componente en películas base almidón. 3–14.
- McKeen, L. W. (2009). Introduction to Plastics and Elastomers. The Effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers, 1–31. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1585-2.50003-0>
- Mendoza, B., Gómez, E., Hernández, E., & Norberto, A. (2014). Elaboración y caracterización de películas biodegradables a partir de mucilago de nopal-caseinato de sodio y mucilago de nopal-pectina. 129–136. Retrieved from http://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencia Agropecuarias T-II/Articulo_14.pdf
- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. (Spanish). Revista EIA, (8), 57–67. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=32767495&lang=es&site=ehost-live>
- Meré, J. (2009). Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Retrieved from https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10823/PFC_Javier_Mere_Marcos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Meza, P. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. (511), 103.
- Mielenz R C and King M E (1954) “Physical Chemical Properties and Engineering Performance of Clays”, Proc. First National Conference on Clays and Clay Technology, California Division of Mines and Geology.
- MINAM. (2014). Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal 2013, 137. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>

- MINAM. (2015). Guía de Ecoeficiencia para Instituciones del Sector Público. Retrieved from <http://ecoficiencia.minam.gob.pe/public/docs/36.pdf>
- MINAM: El plástico representa el 10% de todos los residuos que generamos en el Perú | Gobierno del Perú. (2018). Retrieved September 17, 2018, from <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/1405-minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru>
- Minitab. (n.d.). ¿Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken? Retrieved May 28, 2019, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/response-surface-designs/response-surface-central-composite-and-box-behnken-designs/>
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., 2002. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World. *J. Polym. Environ.* 10, 19–26. <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>
- Molina, D. (2011). Escuela Superior Politecnica De Chimborazo. Infoplc.Net, 2–145. Retrieved from http://www.infoplc.net/files/descargas/schneider/infoplc_net_18t00436.pdf
- Moody, V., & Needles, H. L. (2004). Polyvinyl Chloride Plastisol Coating. Tufted Carpet, 115–123. <https://doi.org/10.1016/B978-188420799-0.50011-7>
- Morrison, W. R., & Laignelet, B. (1983). An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *Journal of Cereal Science*, 1(1), 9–20. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(83\)80004-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(83)80004-6)
- Muñoz Garrido, J. M. (2014). Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera.
- Murali, K., Sambath, K., & Hashir, S. M. (2018). A Review on Clay and its Engineering Significance, 8(2), 8–11.
- Narváez Guerrero, M. A. (2016). Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón.

- Niaounakis, M. (2015). Definitions of Terms and Types of Biopolymers. *Biopolymers: Applications and Trends*, 1–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35399-1.00001-6>
- Nóbrega, D. (2014). Diseño y estudio de cápsulas de café biodegradables.
- Ohrdorf, K.-H., & Flachberger, H. (2015). Processing of calcium montmorillonites for use in polymers. *Polymer Nanoclay Composites*, 1–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-29962-6.00001-7>
- Oropeza, R., Montes, A., & Padrón, C. (2016). Revisión Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación Biodegradable films based on starch: mechanical / functional properties and biodegradation. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65–93. Retrieved from http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA14_ARTORIG4.pdf
- Ortega, R. (2012). Físicas De Films a Base De Almidón.
- Otey, F. and Westhoff, R. (1979). Biodegradable film compositions prepared from starch and copolymers of ethylene and acrylic acid.
- Pachence J.M, Bohrer M.P, Kohn, Chapter J. (2007) 23 Biodegradable polymers, in: R.P. Lanza, R. Langer, J.P. Vacanti (Eds.), *Principles of Tissue Engineering*, third ed., Academic Press, San Diego, pp. 323e339.
- Palomino, R. (2018). Extracción, caracterización funcional y color del almidón de papa nativa de las variedades: Waka waqra, Alq'a wayruru, Phusi k'achun waqachi y Puka viruntus (*Solanum tuberosum* ssp. *andigenum*). Universidad Nacional José María Arguedas.
- Pascual Bernabeu, J. J. (2015). Investigación de la mejora de las propiedades mecánicas y térmicas de polipropileno con nanoarcillas para la fabricación de fibras, 294.
- Peñaranda, O. I., Perilla, J. E., & Algecira, N. A. (2008). A review of using organic acids to chemically modify starch. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 47–52.
- Perugachi Benalcázar, C. R. (2006). Modificación a nivel nanomolecular de las propiedades de las arcillas pertenecientes al Grupo Ancon de la Península de Santa Elena (PSE). 127.

- Picasso, G., & Sun Kou, M. del R. (2008). Aplicaciones tecnológicas de las arcillas modificadas. Retrieved from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000100007
- Prin, J. L., Hernández, G., & Rojas De Gáscue, B. (2010). Operando el microscopio electrónico como herramienta para el estudio de los polímeros y otros materiales. Parte ii: el microscopio electrónico de transmisión (MET). *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen Iberoam. Polim*, 11(111), 58–72. Retrieved from <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE10/hernandez.pdf>
- Quezada, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y térmicas del almidón extraído de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Santa Rosa cultivada en el distrito de Chugay – provincia de Sánchez Carrión (Universidad Nacional de Trujillo). Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10057/QuezadaMoncadaAsthryJane.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rinaudo, M. (2014). Biomaterials based on a natural polysaccharide: alginate. *Tip*, 17(1), 92–96. [https://doi.org/10.1016/s1405-888x\(14\)70322-5](https://doi.org/10.1016/s1405-888x(14)70322-5)
- Rios Ramos, E. P., & Zelada Romero, H. M. (2017). “Determinación del rendimiento de glucosa por hidrólisis enzimática de almidones de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*) y papa (*Solanum tuberosum*).”
- Rivera, B. (2017) (n.d.). Difractómetro de Rayos-X (XRD). Retrieved May 20, 2019, website: http://www.linan-ipicyt.mx/XRD_Bruker_D8_Advance.html
- Robles, J. (2017). Revisión Y Sustento De Los Ensayos De Campo: - Control De Fisuración Con Arena Gruesa.
- Rodrigues, M. y Lemma, A (2012) *Diseño Experimental y Optimización de procesos*, Editorial: Casa do espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, Campinas, SP, Brasil.
- Rodriguez-Marín, M., Bello-Perez, L., Yee-Madeira, H., & Gonzales-Soto, R. (2013). Propiedades Mecánicas Y De Barrera De La Película Elaborada Con Arroz Y Suelo De Banano Reforzado Con Nanoparticos: Estudio Con Superficie De Respuesta. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/CC BY-NC 3.0>

- Rodriguez-Marín, M., Bello-Perez, L., Yee-Madeira, H., & Gonzales-Soto, R. (2013). Propiedades Mecánicas Y De Barrera De La Película Elaborada Con Arroz Y Suelo De Banano Reforzado Con Nanoparticos: Estudio Con Superficie De Respuesta. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/CC BY-NC 3.0>
- Romero-Bastida, C. A., Zamudio-Flores, P. B., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Antimicrobianos en películas de lmidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Revista Mexicana de Ingeniera Qumica*, 10(3), 445–453.
- Ross, G., Ross, S., & Tighe, B. J. (2017). Bioplastics: New Routes, New Products. *Brydson's Plastics Materials*, 631–652. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00023-2>
- Rothon, R., & DeArmitt, C. (2017). Fillers (Including Fiber Reinforcements). *Brydson's Plastics Materials*, 169–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00008-6>
- Salam, H., Dong, Y., & Davies, I. (2015). Development of biobased polymer/clay nanocomposites: A critical review. *Fillers and Reinforcements for Advanced Nanocomposites*, 101–132. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100079-3.00006-5>
- Salavarría Palma, E. A. (2014). Análisis de la variabilidad genética de *Macrocystis* spp. (Laminariales) en la costa centro sur del Perú, empleando marcadores mitocondriales. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 118. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1914>
- Sánchez, R., & Sánchez, N. (2015). Metodología de superficie de respuesta en la obtención de biodiesel. Optimización de la transesterificación del aceite de ricino para la obtención de biodiésel. (Octubre 2016).
- Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CYTA - Journal of Food*, 13(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>

- Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Algunas propiedades de almidones de maíz II : fisicoquímicas , gelatinización , retrogradación , pegar y propiedades de textura de gel. 101, 1499–1507.
- Scalenghe, R. (2018). Resource or waste? A perspective of plastics degradation in soil with a focus on end-of-life options. *Heliyon*, 4(12), e00941. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00941>
- Schlumpf, H P (1993), *Filler and Reinforcements in Plastic Additives*, Ed. Gaechte, R; Mueller, H, Hanser Verlag, Munich
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: el significado de la porosidad del suelo. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=K-JwJZw1hMwC&oi=fnd&pg=PP10&dq=Saturación+-+se+refiere+al+contenido+de+agua+del+suelo+cuando+prácticamente+todos+los+espacios+están+llenos+de+agua.&ots=ghvV9gtn_L&sig=pUAW3Dn9JIA3XnWFWkGrHqyBJp
- Shrestha, A. K. (2014). Starch Modification to Develop Novel Starch-Biopolymer Blends: State of Art and Perspectives. *Starch Polymers*, 105–143. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53730-0.00022-1>
- Shrivastava, A. (2018). Environmental Aspects of Plastics. *Introduction to Plastics Engineering*, 207–232. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-39500-7.00007-1>
- Solis Rivera, S. (2016). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON HIDROXIPROPILMETILCELULOSA (HPMC)" Tesis Que para obtener el título de Químico en Alimentos. Retrieved from [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65172/Elaboración de películas comestibles HPMC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65172/Elaboración%20de%20películas%20comestibles%20HPMC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Šprajcar, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2013). Biopolymers and Bioplastics Plastics Aligned with Nature. National Institute of Chemistry, Ljubljana, (Biopolymers and bioplastics plastics aligned with nature), 32.

- Sun, X. S. (2013). Overview of Plant Polymers: Resources, Demands, and Sustainability. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00001-X>
- T. Galliard (1987). Starch availability and utilization, in: T. Galliard (Ed.), *Starch: Properties and Potential*, first ed., John Wiley & Sons, New York, pp. 1e15 (Chapter 1).
- Tello, J. (2017). Estudio de las propiedades mecánicas de bioplástico que contiene ácido poliláctico mediante pruebas de intemperismo.
- Thammahiwes, S., Riyajan, S. A., & Kaewtatip, K. (2017). Preparation and properties of wheat gluten based bioplastics with fish scale. *Journal of Cereal Science*, 75, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.003>
- Tuesta, E. G., Vivas, M., Sun, R., & Gutarra, A. (2005). Modificación Química De Arcillas Y Su Aplicación En La Retención De Colorantes. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 71(1), 26–36. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a05v71n1>
- Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438–462. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2016.09.029>
- Valero-Valdivieso, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances Y Perspectivas Biopolymers: Progress and Prospects. *SciELO Colômbia*, 171–180. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/20642/42269>
- Vargas, G. (2015). “Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (*Solanum tuberosum*), (Var. Única) para su aplicación en un helado soft.”
- Vargas-Rodríguez, Y. M., Gómez-Vidales, V., Vázquez-Labastida, E., García-Bórquez, A., Aguilar-Sahagún, G., Murrieta-Sánchez, H., & Salmón, M. (2008). Caracterización espectroscópica de una montmorillonita mexicana. *Revista Mexicana de Ciencia Geología*, 25(1), 135–144. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v25n1/v25n1a8.pdf>
- Vázquez-Briones, M., & Guerrero-Beltrán, J. (2017). Effect of essential oil of *Cymbopogon citratus* in the physicochemical properties of chitosan films.

Scientia Agropecuaria, 8(4), 401–409.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.11>

- Ventures, T. (2007). *A c t i v i d a d e s 2 0 0 7* Entidades Constituyentes. (January).
- Vertuccio, L., Gorrasi, G., Sorrentino, A., & Vittoria, V. (2009). Nano clay reinforced PCL/starch blends obtained by high energy ball milling. *Carbohydrate Polymers*, 75(1), 172–179. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.07.020>
- Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2008). Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. *Informacion Tecnologica*, 19(2), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000200002>
- Villegas, I. (2015). Universidad Peruana Unión. Resolucion, 267. <https://doi.org/10.1587/transcom.E93.B.2477>
- Wypych, G. (2016). Introduction. *Handbook of Fillers*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/B978-1-895198-91-1.50003-8>
- Yepes, L. (2014). Degradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos. Revisión Sistemática de la Literatura. Retrieved from <https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/05/18/1337/persentase-panjang-jalan-tol-yang-beroperasi-menurut-operatornya-2014.html>

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento de obtención de montmorillonita sódica.



Anexo 2. Secado y molido de la Montmorillonita sódica.



Anexo 3. Equipo de Difracción de Rayos X



Anexo 4. Microscopio electrónico de barrido



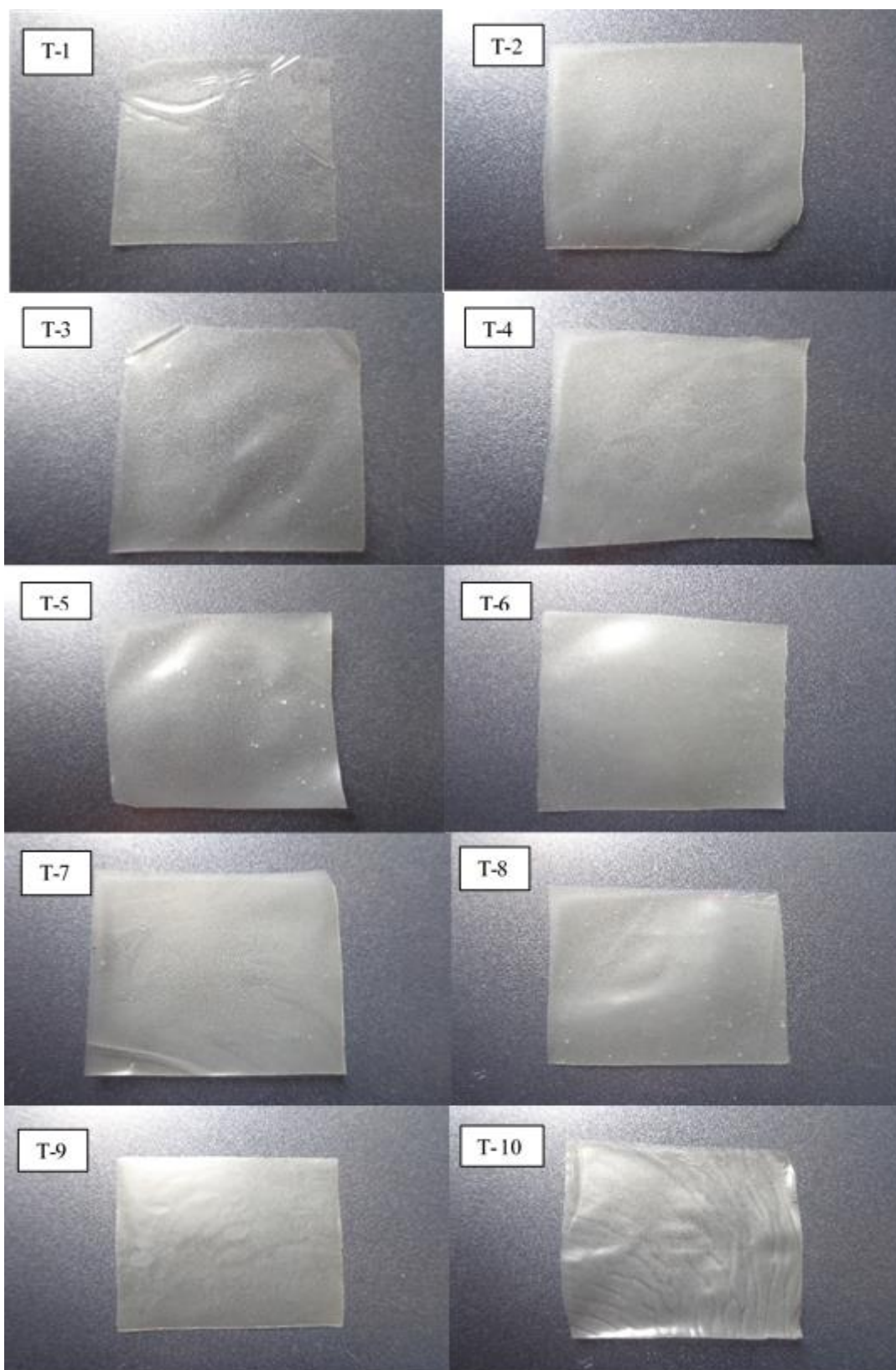
Anexo 5. Cuantificación de amilosa y amilopectina



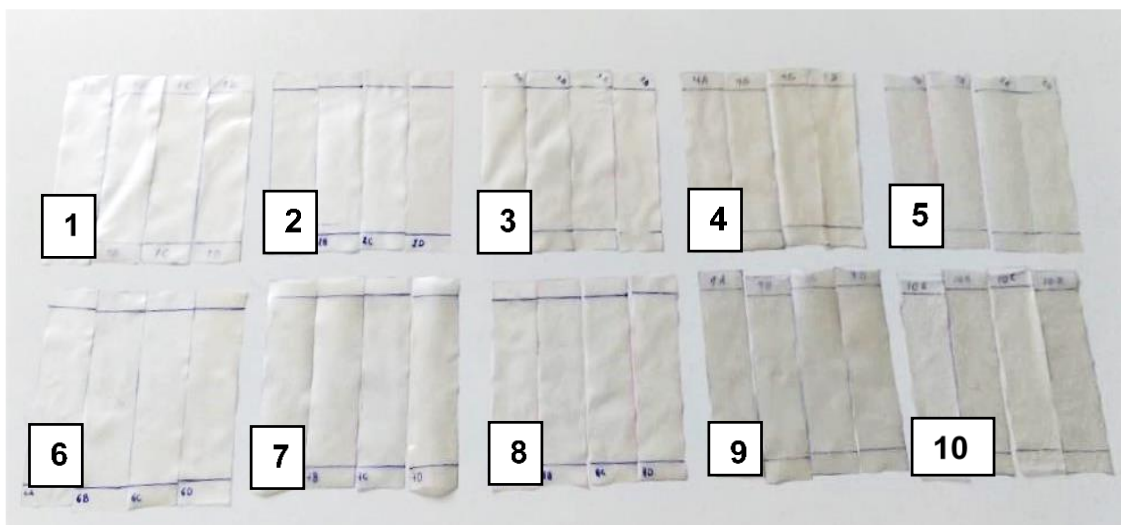
Anexo 6. Procedimiento para la obtención del bioplásticos



Anexo 7. Tratamientos según diseño estadístico DCC 2²



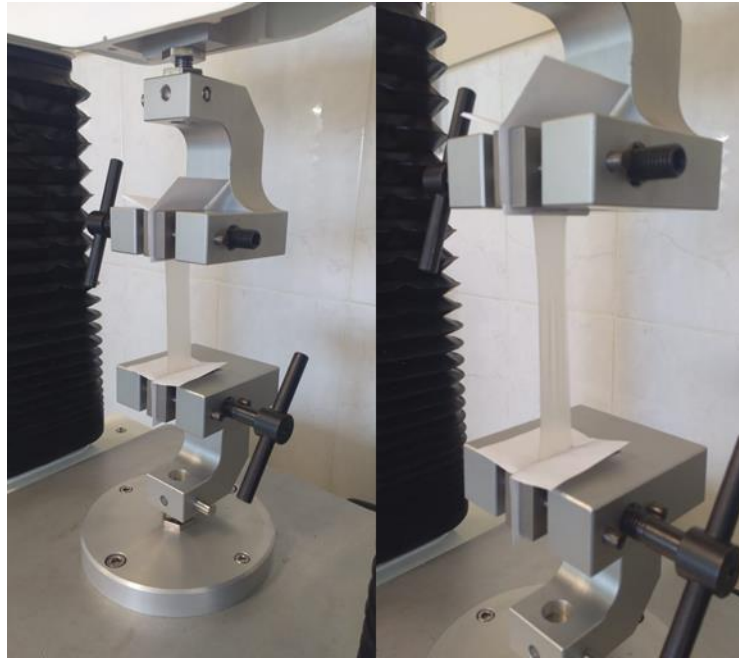
Anexo 8. Probetas de bioplásticos para el ensayo de propiedades mecánicas



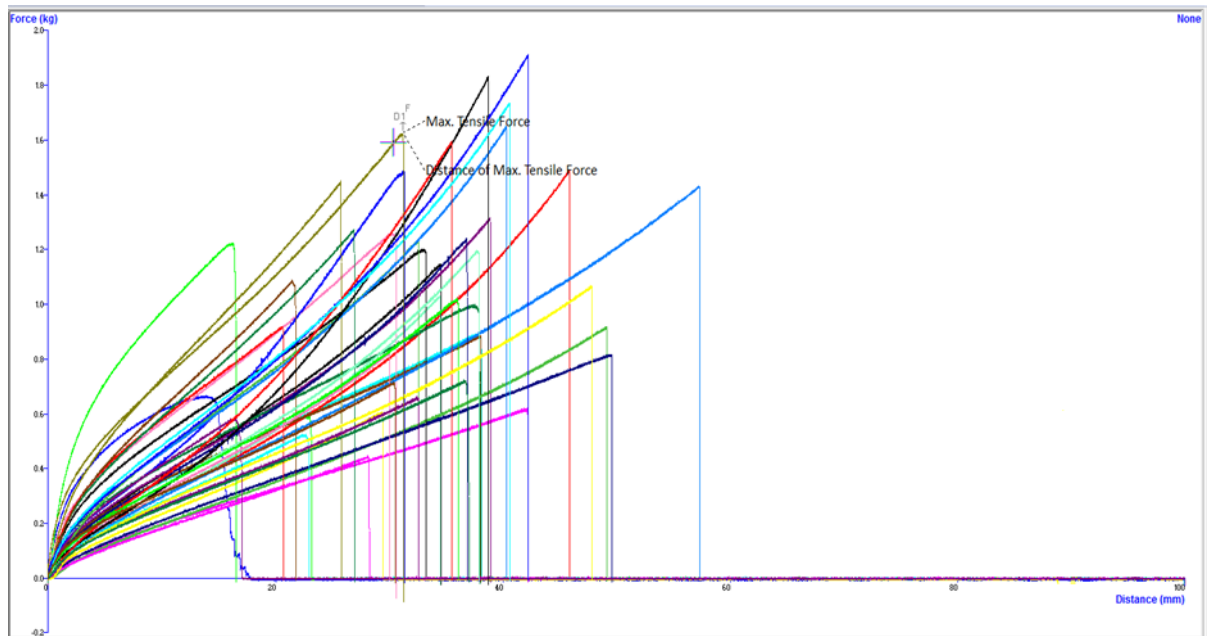
Anexo 9. Texturómetro



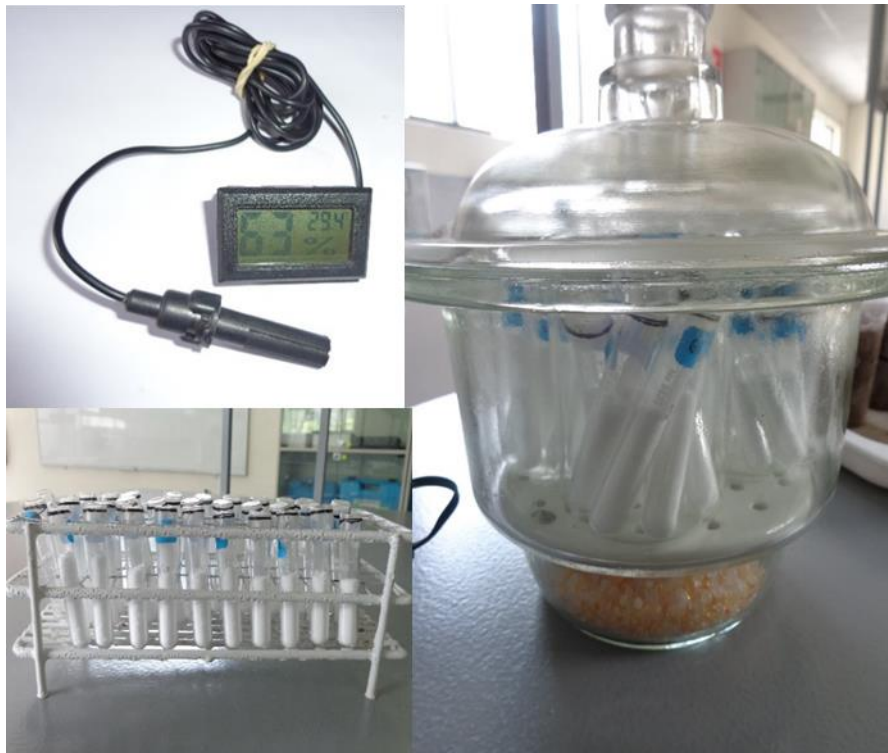
Anexo 10. Análisis de propiedades mecánicas de bioplásticos



Anexo 11. Curvas del ensayo de fuerza de ruptura y elongación



Anexo 12. Ensayo de permeabilidad al vapor de agua



Anexo 13. Ensayo de solubilidad en agua



Anexo 14. Procedimiento de adecuación para la degradación de bioplásticos



Anexo 15. Proceso de degradación ambiental de bioplásticos



Día 1



Día 5



Día 9



Día 13



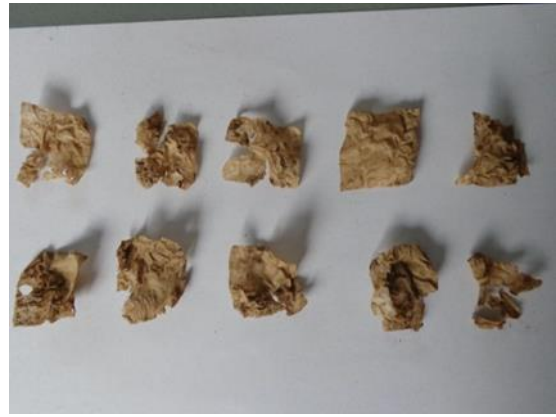
Día 17



Día 21



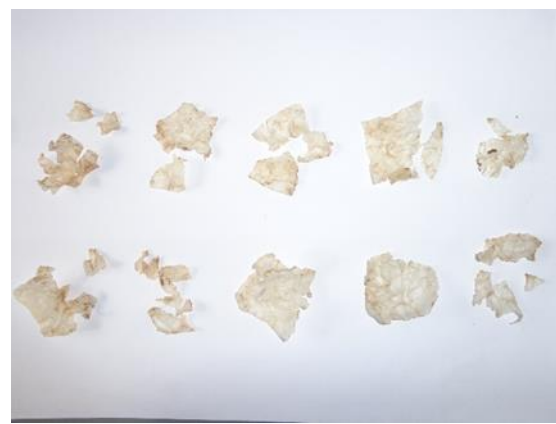
Día 23



Día 25



Día 27



Día 29



Día 31



Día 35

Anexo 16. Ficha Técnica del almidón de papa modificado



Avebe

P.O. Box 47
6600 AA Wageningen
The Netherlands

E-mail: customerservice@avebe.com
www.avebe.com

General product information document

Etenia™ 457

Etenia™ 457 is an enzymatically converted potato starch. It is a white powder and free from objectionable odours. This product is intended for use in food.

Physical and Chemical Specification

Item	Value	Method complies with
Heavy metals		
Arsenic (As)	≤ 0.1 mg/kg	Atomic absorption method
Cadmium (Cd)	≤ 0.1 mg/kg	Atomic absorption method
Mercury (Hg)	≤ 0.05 mg/kg	Atomic absorption method
Lead (Pb)	≤ 0.5 mg/kg	Atomic absorption method
Sulphite (as SO ₂) on an anhydrous basis	≤ 0.9 mg/kg	ISO 5379
Sulphated ash	≤ 10 mg/g	ISO 5809
Moisture Content	≤ 80 mg/g	ISO 1666
Bulk density	200 - 400 kg/m ³	ISO 697

- This product is classified as "not considered to be food additive" and therefore has no E-number (Regulation (EC) No. 1333/2008).
- This product meets the requirements of the Food Chemical Codex (Maltodextrin).
- This product meets the requirements of USA 21 CFR §184.1444 (Maltodextrin) or GRN 507 (Modified Food Starch).
- This product meets the requirements of the JECFA monograph of modified starch (Codex Alimentarius, INS 1405).

Microbiological Specification

Item	Value	Method complies with
Total aerobic mesophilic count	≤ 5000 CFU/g	ISO 4833
Yeasts	≤ 100 CFU/g	ISO 21527
Moulds	≤ 100 CFU/g	ISO 21527
Bacillus Cereus	≤ 100 CFU/g	ISO 7932
Enterobacteriaceae	≤ 100 CFU/g	ISO 21528
Escherichia coli (1 g)	Absent	ISO 7251
Escherichia coli O157:H7 (25 g)	Absent	ISO 16654
Salmonella (25 g)	Absent	ISO 6579

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

ALGINATO DE SODIO



1. Descripción

Polisacárido complejo de cadena largas, obtenido a partir de algas pardas (*Macrocystis pyrifera*)

2. Aplicación

Productos lácteos, salsas, helados, frutas y vegetales, y otros productos cárnicos.

3. Propiedades

Soluciones bajas (0,15% a 0,4%) de ALGINATO DE SODIO estabilizan emulsiones, suspensiones y espumas. Concentraciones mayores y en presencia de iones (principalmente calcio) forman geles de tipo químico, no reversibles al calentarse y de dureza variable según los pesos moleculares de los polisacáridos componentes.

4. Dosis

0.3 – 1.5 % En general.

6. Presentación

Sacos multipliego, papel kraft y bolsa interna de polipropileno. Peso neto 25 Kg.

7. Condiciones de almacenamiento

Almacenar en lugar fresco y seco, a temperatura ambiente protegido de la luz solar.

8. Vida útil

1 año

9. Características fisicoquímicas

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Apariencia		Polvo blanco crema.
Humedad	%	≤ 15.0
Tamaño de partícula		95% pasa 180 malla
Fuerza de gel (1.5%, 0.2% KCl)	(g/cm ²)	≥ 720
Viscosidad (1% Solucion)	m.Pas	500.0 – 600.0
pH (1%)		7.1 ± 0.6

10. Características microbiológicas

MICROORGANISMO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Recuento Total De Placas	UFC/g	≤ 3000
Salmonella SPP	---	Negativo en 25g
E. Coli	---	Negativo en 1g

11. Información Nutricional

ELEMENTO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Energía	Kcal	0
Proteínas	g	---
Carbohidratos Totales	g	---
Total Grasa	g	---
Fibra	g	67

12. Metales pesados

ELEMENTO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Plomo	ppm	≤ 4.0
Arsénico	ppm	≤ 2.0

La información y recomendaciones contenidas en este documento son correctas a nuestro saber y entender. Sin embargo, no debe interpretarse como una garantía respecto al uso o la eficacia. El usuario debe realizar sus propios pruebas para determinar la idoneidad de nuestro producto para sus fines específicos.



Soluciones de Calidad

POLIFOOD PERU S.A.C.

Tel. (511) 738-6889

www.polifood.com.pe ventas@polifood.com.pe



FICHA TECNICA BENTONITA SODICA



Marca	:NN
Producto	:Bentonita Sódica
Partida Arancelaria	: 2508100000 Bentonita
Granulación	: Mesh 200
Color	:Blanco

INFORMACION QUIMICA		
PARAMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACION
Silice (SiO ₂)	%	62,86
Alúmina (Al ₂ O ₃)	%	14,23
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	1,10
Oxido de Calcio (CaO)	%	0,98
Oxido de Magnesio (MgO)	%	1,31
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	%	2,80
Oxido de Potasio (K ₂ O)	%	0,33
Pérdida por Calcinación	%	9,95

Av. De Los Ingenieros 145 Dpto. 102 Urb. Valle Hermoso
Santiago de Surco, Lima 33 – Perú
Teléfono: (+511) 344 - 3449
ventas@nutrientesnaturales.com
www.nutrientesnaturales.com

Anexo 19. Constancia de análisis de montmorillonita sódica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ciencias

CONSTANCIA

EL ENCARGADO DEL LABORATORIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA: QUE SUSCRIBE:

HACE CONSTAR

Que se ha analizado la muestra del Sr. **Yan Kuper Pérez Arriola DNI: 72210394**, mediante Microscopía Electrónica de Barrido y Difracción de Rayos X, Montmorillonita sódica en las instalaciones de nuestra facultad.

Se expide la presente como constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

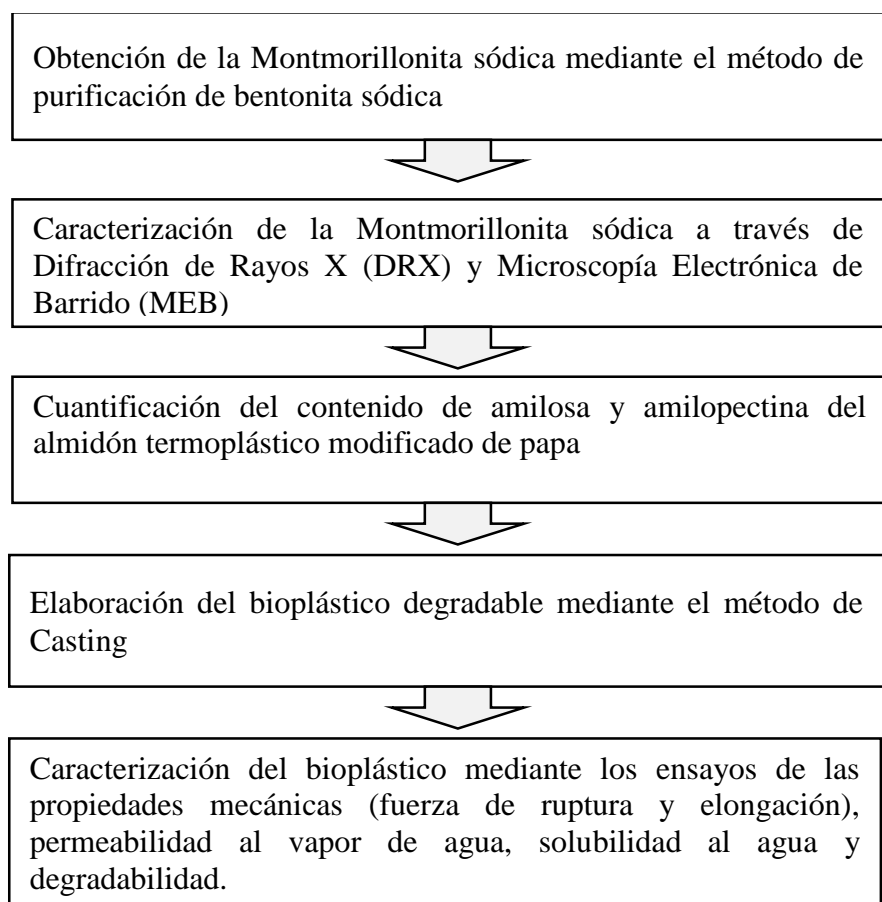
Mg. Clemente Luyo Caycho
Docente Facultad de Ciencias



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, - Perú
Teléfono Decanato: (511) 481-0824
Email: fc@uni.edu.pe
Página Web: www.fc.uni.edu.pe

Central Telefónica FC: (511) 381-3868 / 381-3869
Central Telefónica UNI: (511) 481-1070 Anexos: 5001 y 5003

Anexo 20. Operacionalización



Anexo 21. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Fases	Actividad	Metodología
¿Se podrá obtener bioplásticos degradables a partir de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica?	General Desarrollar bioplásticos degradables a partir de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica.	A partir de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica se obtiene bioplásticos degradables.	Dependiente: Fuerza de ruptura (MPa) Elongación (%) Permeabilidad (%) Solubilidad (%) Degradabilidad (%)	Elaboración de bioplásticos degradables	Revisión bibliográfica. Aplicación de diseño de experimentos. Trabajo en campo y laboratorio.	El presente trabajo está enfocado en una investigación experimental, ya que según Box et al. (1998) la necesidad creciente de mejorar y optimizar productos, procesos, minimizando costos y tiempo, maximizando rendimiento y calidad de productos ha motivado a profesionales e investigadores de diferentes ramas a la búsqueda de técnicas de Diseños de Experimentos. Siendo que en el
¿Se podrá obtener la montmorillonita sódica mediante el método de purificación de bentonita sódica?	Específico Obtención de montmorillonita sódica mediante el método de purificación de bentonita sódica.	Mediante el método de purificación de bentonita sódica se obtiene montmorillonita.	Independiente: Relación Alginato/ Almidón (g/100 mL) Montmorillonita (g/100 mL)	Preparación de insumos para la elaboración de bioplásticos biodegradables.	Pruebas de laboratorio.	
¿Se podrá caracterizar la montmorillonita sódica mediante el análisis de difracción de rayos x (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB)?	Caracterizar la montmorillonita sódica mediante el análisis de difracción de rayos x (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB).	Mediante el análisis de difracción de rayos x (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB) se caracteriza la montmorillonita sódica.	Interviniente: Temperatura del ambiente	Evaluación de insumos para la elaboración de bioplásticos biodegradables.	Pruebas de laboratorio.	
¿Influirá el contenido de	Cuantificar el contenido de	El contenido de amilosa y		Evaluación de insumos para la	Pruebas de laboratorio.	

amilosa y amilopectina del almidón termoplástico modificado de papa?	amilosa y amilopectina del almidón termoplástico modificado de papa.	amilopectina del almidón termoplástico modificado de papa es significativo.		elaboración de bioplásticos biodegradables.		presente trabajo se aplicó el Diseño Central Compuesto Rotacional, el cual es un conjunto de técnicas avanzadas de Diseño de Experimentos aplicando modelamiento matemático y estadísticos de Ingeniería, utilizadas para analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras (Rodrigues y Lemma, 2012).
¿Se podrá elaborar bioplásticos a base de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica?	Elaborar bioplásticos a base de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica.	A base de almidón modificado de papa y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica se elabora bioplásticos.		Preparación de bioplásticos degradables	Combinación del almidón termoplástico modificado de papa con el alginato y la montmorillonita sódica.	
¿Tendrán efecto las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y degradabilidad ambiental en el bioplástico?	Evaluar las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y degradabilidad ambiental del bioplástico empleando diseño central compuesto.	Las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y degradabilidad ambiental son significativos en el bioplástico		Evaluación de las propiedades del bioplástico	Pruebas de laboratorio. Análisis e interpretación de datos.	

Anexo 22. Resultados de ensayo de fuerza de ruptura y elongación

Tratamiento	Espesor	Test ID	Fuerza	Distancia	Fuerza de ruptura	Elongación
	mm		kg	mm	N/m ² (MPa)	%
1	0.110	1	0.9	37.84	3.21	47.30
	0.077	2	0.62	42.14	3.16	52.68
2	0.123	1	1.5	45.88	4.78	57.35
	0.163	2	1.15	34.52	2.77	43.15
3	0.1	1	1.27	30.27	4.98	37.84
	0.14	2	1.63	31.23	4.56	39.04
4	0.053	1	0.92	49.2	6.80	61.50
	0.07	2	1.44	57.27	8.06	71.59
5	0.117	1	0.92	20.66	3.08	25.83
	0.15	2	1.23	16.21	3.21	20.26
6	0.077	1	0.53	22.53	2.70	28.16
	0.14	2	2.3	36.96	6.44	46.20
7	0.18	1	1.28	26.93	2.79	33.66
	0.117	2	0.83	29.99	2.78	37.49
8	0.067	1	1.65	40.36	9.65	50.45
	0.087	2	1.84	38.78	8.29	48.48
9	0.17	1	1.92	42.27	4.43	52.84
	0.113	2	1.74	40.68	6.04	50.85
10	0.06	1	0.67	32.49	4.38	40.61
	0.097	2	1.07	47.89	4.32	59.86

Anexo 23. Registro del incremento del peso en la prueba de permeabilidad.

Muestra	Incremento de peso diario											Pendiente (g/d)
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	
1	0.013	0.021	0.032	0.040	0.047	0.055	0.064	0.074	0.081	0.094	0.106	0.0090
2	0.011	0.021	0.032	0.041	0.050	0.059	0.066	0.075	0.085	0.098	0.111	0.0096
3	0.009	0.019	0.028	0.034	0.041	0.047	0.054	0.060	0.067	0.077	0.085	0.0072
4	0.013	0.019	0.032	0.040	0.047	0.055	0.063	0.071	0.080	0.089	0.101	0.0086
5	0.016	0.028	0.038	0.048	0.057	0.067	0.077	0.087	0.096	0.107	0.124	0.0103
6	0.009	0.018	0.027	0.035	0.044	0.052	0.059	0.066	0.076	0.085	0.097	0.0085
7	0.016	0.027	0.039	0.049	0.059	0.069	0.078	0.087	0.096	0.108	0.124	0.0103
8	0.011	0.019	0.030	0.038	0.047	0.055	0.063	0.072	0.080	0.092	0.106	0.0091
9	0.009	0.021	0.028	0.036	0.043	0.051	0.060	0.065	0.071	0.082	0.094	0.0079
10	0.013	0.025	0.031	0.040	0.049	0.058	0.067	0.076	0.083	0.094	0.107	0.0090
11	0.009	0.021	0.028	0.037	0.047	0.056	0.066	0.073	0.079	0.090	0.105	0.0091

Anexo 24. Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua.

Pendiente (g/d)	Pendiente (g/H)	Área m²	WVT (g/hm²)	Presión de vapor a 25° (Pa)	HR del tubo	HR medio	Permeanza	Grosor	PVA/h	PVA/s	PVA (g/h MPa)
0.0090	0.000375	0.01	0.03750	3167.7307	0	46	2.57E-07	0.10	2.57E-08	7.15E-11	7.14862769
0.0096	0.0004	0.01	0.04000	3167.7307	0	46	2.75E-07	0.12	3.29E-08	9.15E-11	9.15024344
0.0072	0.0003	0.01	0.03000	3167.7307	0	46	2.06E-07	0.12	2.47E-08	6.86E-11	6.86268258
0.0086	0.000358333	0.01	0.03583	3167.7307	0	46	2.46E-07	0.08	1.97E-08	5.46E-11	5.46472872
0.0103	0.000429167	0.01	0.04292	3167.7307	0	46	2.95E-07	0.12	3.53E-08	9.82E-11	9.81744869
0.0085	0.000354167	0.01	0.03542	3167.7307	0	46	2.43E-07	0.08	1.94E-08	5.40E-11	5.40118537
0.0103	0.000429167	0.01	0.04292	3167.7307	0	46	2.95E-07	0.15	4.42E-08	1.23E-10	12.2718109
0.0091	0.000379167	0.01	0.03792	3167.7307	0	46	2.60E-07	0.15	3.90E-08	1.08E-10	10.8420853
0.0079	0.000329167	0.01	0.03292	3167.7307	0	46	2.26E-07	0.10	2.26E-08	6.27E-11	6.27490653
0.0090	0.000375	0.01	0.03750	3167.7307	0	46	2.57E-07	0.09	2.32E-08	6.43E-11	6.43376492
0.0091	0.000379167	0.01	0.03792	3167.7307	0	46	2.60E-07	0.09	2.34E-08	6.51E-11	6.5052512

Anexo 25. Registro de peso diario de bioplásticos en el ensayo de degradabilidad

Tratamiento	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9	Día 11	Día 13	Día 15	Día 17	Día 19	Día 21	Día 23	Día 25	Día 27	Día 29	Día 31	Día 33	Día 35
1	0.255	0.228	0.224	0.221	0.220	0.218	0.210	0.199	0.196	0.194	0.180	0.176	0.170	0.140	0.130	0.125	0.090	0.080
2	0.271	0.249	0.243	0.242	0.240	0.235	0.230	0.218	0.212	0.210	0.209	0.207	0.191	0.156	0.143	0.139	0.129	0.124
3	0.247	0.216	0.210	0.208	0.207	0.206	0.190	0.185	0.184	0.181	0.179	0.175	0.169	0.150	0.139	0.129	0.086	0.078
4	0.239	0.204	0.200	0.199	0.198	0.196	0.192	0.182	0.180	0.178	0.177	0.173	0.171	0.170	0.169	0.168	0.166	0.143
5	0.249	0.232	0.228	0.227	0.222	0.218	0.201	0.192	0.191	0.190	0.189	0.185	0.179	0.153	0.120	0.111	0.081	0.07
6	0.219	0.210	0.205	0.203	0.200	0.190	0.194	0.182	0.175	0.174	0.173	0.172	0.170	0.168	0.167	0.160	0.138	0.104
7	0.198	0.196	0.186	0.178	0.176	0.175	0.172	0.164	0.162	0.157	0.151	0.140	0.127	0.101	0.070	0.066	0.051	0.015
8	0.354	0.335	0.331	0.322	0.313	0.304	0.290	0.279	0.278	0.277	0.276	0.275	0.274	0.273	0.272	0.271	0.270	0.268
9	0.283	0.261	0.258	0.258	0.255	0.245	0.240	0.230	0.226	0.225	0.224	0.223	0.216	0.203	0.195	0.189	0.166	0.148
10	0.258	0.228	0.225	0.223	0.220	0.216	0.200	0.175	0.169	0.161	0.160	0.159	0.156	0.151	0.148	0.141	0.083	0.032

Anexo 26. Registro de cálculo de datos de Solubilidad

Tratamiento	Peso de Bioplástico (2 x 2)	Peso del Filtro	Peso del filtro + Bioplástico	Peso Final	Diferencia	Porcentaje de Degradación
1	0.041	0.730	0.771	0.790	0.019	53.66
2	0.042	0.733	0.775	0.791	0.016	61.90
3	0.047	0.718	0.765	0.795	0.030	36.17
4	0.051	0.715	0.766	0.785	0.019	62.75
5	0.043	0.766	0.809	0.834	0.025	41.86
6	0.053	0.726	0.779	0.809	0.030	43.40
7	0.053	0.725	0.778	0.799	0.021	60.38
8	0.047	0.740	0.787	0.808	0.021	55.32
9	0.061	0.706	0.767	0.796	0.029	52.46
10	0.057	0.719	0.776	0.805	0.029	49.12
11	0.055	0.748	0.803	0.830	0.027	50.91