



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA
CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca*) PARA LA EMPRESA
ROLDEG S.A. ECUADOR**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: ADELA ANTHONELA ARMIJOS HURTADO

DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Adela Anthonela Armijos Hurtado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Adela Anthonela Armijos Hurtado, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de noviembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Adela Anthonela Armijos Hurtado', with a large, stylized flourish above the name.

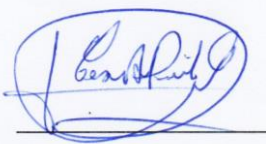
Adela Anthonela Armijos Hurtado
235054267-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca*) PARA LA EMPRESA ROLDEG S.A. ECUADOR**, realizado por la señorita: **ADELA ANTHONELA ARMIJOS HURTADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA


FECHA



Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro, PhD.

2023-11-09

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, Mgs.

2023-11-09

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, MsC.

2023-11-09

**ASESOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios quien ha sido mi luz y guía para mantenerme firme en mis metas. A mis padres Ricardo Armijos y Adela Hurtado quienes han sido la inspiración para seguir con mis sueños, dándome aliento y su apoyo incondicional en todo momento. A mi princesa Maya quien me acompaña en las noches de desvelo y en los momentos más difíciles llevando alegría a mi vida. A mis hermanas Leonela y Astrid quienes serán un apoyo para emprender en mis sueños. A mis amigos quienes siempre estuvieron apoyándome y dándome alientos en momentos difíciles. Y a mí misma por siempre seguir adelante a pesar de las circunstancias, firme en mis propósitos.

Adela

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme amor, salud y confianza para permitirme superar los momentos difíciles, por guiar mi camino y siempre hacer su voluntad, por haberme permitido vivir esta experiencia donde cumplo uno de mis sueños y avanzo una etapa más en mi vida profesional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser mi segundo hogar y ser quien me formó para ser una excelente profesional en mi carrera.

A mis padres que me han acompañado en cada paso de mi vida, dándome los recursos necesarios y brindándome su amor incondicional; también por ser mi mayor motivación y pilar fundamental para seguir adelante.

A mis hermanas por ser quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de esta travesía.

A mi princesa Maya por ser quien ha estado a mi lado desde que empezó este proceso, brindándome momentos de felicidad y alegría donde me ofrece su amor incondicional.

Y a mis tutores la ingeniera Mayra Zambrano y el ingeniero Paul Palmay por sus consejos, su guía y su apoyo para culminar con éxito el presente trabajo.

Adela

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Línea base del proyecto	4
1.4.1.	<i>Antecedentes de la empresa ROLDEG SA Ecuador</i>	4
1.4.2.	<i>Beneficios directos e indirectos</i>	6
1.4.2.1.	<i>Beneficios directos</i>	6
1.4.2.2.	<i>Beneficios indirectos</i>	6
1.5.	Objetivos del proyecto.....	6
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	6
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1.	Antecedentes de la investigación	7
2.2.	Referencias teóricas	8
2.2.1.	<i>Banano</i>	8
2.2.1.1.	<i>Taxonomía</i>	9
2.2.1.2.	<i>Morfología</i>	9
2.2.1.3.	<i>Origen</i>	11
2.2.1.4.	<i>Zonas productoras de banano en el Ecuador</i>	11
2.2.1.5.	<i>Variedad de banano en el Ecuador</i>	12

2.2.2.	Cáscara de banano	13
2.2.2.1.	<i>Composición nutricional</i>	13
2.2.3.	Almidón	14
2.2.3.1.	<i>Propiedades estructurales del almidón</i>	15
2.2.3.2.	<i>Extracción del almidón</i>	17
2.2.3.3.	<i>Almidón de la cáscara de banano</i>	18
2.2.3.4.	<i>Procesos de gelatinización y retrogradación del almidón</i>	18
2.2.4.	Plásticos	20
2.2.4.1.	<i>Fundas plásticas para empaque de alimentos</i>	21
2.2.5.	Plástico biodegradable	21
2.2.5.1.	<i>Ventajas del plástico biodegradable</i>	22
2.2.5.2.	<i>Tipos de plásticos biodegradables</i>	22
2.2.5.3.	<i>Diferencia entre el plástico tradicional y el plástico biodegradable</i>	23
2.2.5.4.	<i>Componentes para la elaboración de bioplástico</i>	24
2.2.6.	Fundamentos para la caracterización del plástico biodegradable	26
2.2.6.1.	<i>Determinación de la humedad</i>	26
2.2.6.2.	<i>Determinación del espesor</i>	26
2.2.6.3.	<i>Determinación del ensayo de resistencia a la tracción</i>	27
2.2.6.4.	<i>Determinación de la permeabilidad al vapor de agua</i>	27
2.2.6.5.	<i>Determinación de la biodegradabilidad</i>	27

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1.	Localización del proyecto	28
3.2.	Ingeniería del proyecto	29
3.2.1.	Tipo de estudio	29
3.2.1.1.	<i>Estudio experimental</i>	29
3.2.2.	Métodos y técnicas	29
3.2.2.1.	<i>Métodos</i>	29
3.2.2.2.	<i>Técnicas</i>	30
3.2.3.	Procedimiento a escala laboratorio	37
3.2.3.1.	<i>Selección de materia prima</i>	37
3.2.3.2.	<i>Pruebas preliminares para la materia prima</i>	38
3.2.3.3.	<i>Descripción de las formulaciones para la obtención del almidón</i>	38
3.2.3.4.	<i>Pruebas preliminares del almidón de la cáscara de banano</i>	46
3.2.3.5.	<i>Análisis y aprobación del método para obtener almidón de la cáscara de banano</i> ..	48

3.2.3.6.	<i>Descripción de las formulaciones para la elaboración del plástico biodegradable</i>	49
3.2.3.7.	<i>Ensayos realizados para determinar las características del plástico biodegradable</i>	51
3.2.3.8.	<i>Análisis y aprobación del método para elaborar el plástico biodegradable</i>	53
3.2.4.	Operaciones unitarias	53
3.2.5.	Variables del proceso	54
3.2.6.	Balance de masa y energía	56
3.2.6.1.	<i>Balance de masa</i>	56
3.2.6.2.	<i>Balance de energía</i>	66
3.2.7.	Balance de masa general del proceso	70
3.3.	Diseño de equipos	72
3.3.1.	<i>Diseño de una mesa para la inspección visual de la cáscara de banano</i>	72
3.3.2.	<i>Diseño de un recipiente para la etapa de blanqueado</i>	73
3.3.3.	<i>Diseño de un secador</i>	75
3.3.4.	<i>Diseño de un molino</i>	79
3.3.5.	<i>Diseño de un tamizador</i>	79
3.3.6.	<i>Diseño de una mezcladora</i>	80
3.3.7.	<i>Diseño de un tamizador para el filtrado</i>	83
3.3.8.	<i>Diseño de marmita</i>	83
3.3.9.	<i>Diseño de los moldes</i>	85
3.3.10.	<i>Diseño de túneles de secado</i>	86
3.4.	Distribución de la planta	86
3.5.	Requerimiento de equipos, tecnología y maquinaria	87
3.5.1.	<i>Requerimiento de equipos</i>	87

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	89
4.1.	Resultados	89
4.1.1.	<i>Caracterización físico-química de la cáscara de banano</i>	89
4.1.2.	<i>Caracterización física-química del almidón de la cáscara de banano</i>	89
4.1.3.	<i>Caracterización físico-química del plástico biodegradable</i>	90
4.1.3.1.	<i>Análisis de humedad</i>	90
4.1.3.2.	<i>Análisis de solubilidad en agua</i>	91
4.1.3.3.	<i>Análisis de permeabilidad al vapor de agua</i>	91
4.1.3.4.	<i>Análisis de biodegradabilidad</i>	92
4.1.4.	<i>Caracterización mecánica del plástico biodegradable</i>	96
4.1.4.1.	<i>Análisis de espesor</i>	96

4.1.4.2.	<i>Análisis de resistencia a la tracción</i>	96
4.1.5.	Rendimiento de los procesos en laboratorio	97
4.1.5.1.	<i>Rendimiento de las formulaciones para extraer almidón</i>	97
4.1.5.2.	<i>Rendimiento de las formulaciones para obtener plástico biodegradable</i>	97
4.1.6.	Validación del producto obtenido	97
4.1.7.	Resultados para el dimensionamiento de equipos	100
4.1.8.	Proceso de producción	102
4.1.8.1.	<i>Materia prima y reactivos</i>	102
4.1.8.2.	<i>Diagrama de flujo del proceso</i>	102
4.1.8.3.	<i>Descripción del proceso</i>	104
4.1.9.	Resultados del balance de masa y energía	106
4.1.10.	Análisis de costo-beneficio	107
4.1.10.1.	<i>Presupuesto</i>	107
4.1.10.2.	<i>Determinación de egresos</i>	109
4.1.10.3.	<i>Costos totales de la inversión fija y los egresos</i>	110
4.1.10.4.	<i>Determinación de ingresos anuales</i>	111
4.1.10.5.	<i>Presupuesto de costos y gastos</i>	112
4.1.10.6.	<i>Flujo de caja</i>	113
4.1.10.7.	<i>Comparación de los gastos de la empresa utilizando plásticos convencionales y gastos de la empresa implementando este diseño</i>	114
4.2.	Análisis e interpretación de resultados	114
CONCLUSIONES		118
RECOMENDACIONES		120
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Taxonomía del banano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	9
Tabla 2-2:	Producción de banano en el Ecuador.....	11
Tabla 2-3:	Composición nutricional de 100g de cáscara de banano.....	14
Tabla 2-4:	Características de los gránulos de almidón, contenido de amilosa y amilopectina de varios alimentos.....	15
Tabla 2-5:	Propiedades de los gránulos de diversos almidones	19
Tabla 2-6:	Tipos de plásticos biodegradables y sus aplicaciones industriales.....	23
Tabla 2-7:	Diferencias entre plásticos convencionales y plásticos biodegradables.....	23
Tabla 3-1:	Ubicación y caracterización geográfica de la ESPOCH.....	28
Tabla 3-2:	Técnicas analizadas en la materia prima	31
Tabla 3-3:	Técnicas para la extracción del almidón de la cáscara de banano por vía seca....	32
Tabla 3-4:	Técnica para la extracción del almidón de la cáscara de banano por vía húmeda	32
Tabla 3-5:	Técnicas analizadas en el almidón.....	33
Tabla 3-6:	Técnicas físico-químicas analizadas al plástico biodegradable	35
Tabla 3-7:	Técnicas mecánicas analizadas al plástico biodegradable	36
Tabla 3-8:	Requisitos físicos de la materia prima	37
Tabla 3-9:	Materiales y equipos utilizados en las pruebas preliminares de la materia prima	38
Tabla 3-10:	Formulación de la materia prima para la obtención del almidón	39
Tabla 3-11:	Materiales, equipos e insumos utilizados en el proceso de la obtención del almidón	39
Tabla 3-12:	Materiales, equipos, reactivos y fórmulas utilizados para las pruebas preliminares del almidón de la cáscara de banano.....	46
Tabla 3-13:	Datos de humedad obtenidos en los métodos por cada repetición	48
Tabla 3-14:	Rendimientos obtenidos en los métodos por cada repetición	48
Tabla 3-15:	Rendimiento y costos de cada una de las formulaciones para obtener almidón...	48
Tabla 3-16:	Formulación de la materia prima para la elaboración del plástico biodegradable	49
Tabla 3-17:	Materiales, equipos e insumos utilizados en el proceso de la obtención del plástico biodegradable.....	49
Tabla 3-18:	Materiales, equipos, reactivos y fórmulas utilizadas en los análisis del plástico biodegradable	51
Tabla 3-19:	Resultados de las pruebas físico-químicas y mecánicas realizadas al plástico biodegradable.....	53
Tabla 3-20:	Operaciones unitarias y procesos para obtener el producto final	54
Tabla 3-21:	Variables del proceso.....	55

Tabla 3-22:	Datos para el balance de energía del secador.....	67
Tabla 3-23:	Especificaciones de un molino	79
Tabla 3-24:	Especificaciones de un tamiz.....	79
Tabla 3-25:	Especificaciones de un tamiz para el filtrado	83
Tabla 3-26:	Especificaciones del túnel de secado	86
Tabla 3-27:	Requerimiento de equipos para la obtención de plástico biodegradable	88
Tabla 4-1:	Características de la cáscara de banano.....	89
Tabla 4-2:	Resultados de la caracterización físico-química de la cáscara de banano	89
Tabla 4-3:	Caracterización de almidón por vía seca con blanqueamiento de ácido cítrico ...	89
Tabla 4-4:	Caracterización de almidón por vía seca con blanqueamiento de peróxido de hidrógeno	90
Tabla 4-5:	Caracterización del almidón por vía húmeda.....	90
Tabla 4-6:	Resultados de la caracterización físico-química de los almidones.....	90
Tabla 4-7:	Resultados de humedad del plástico biodegradable.....	90
Tabla 4-8:	Resultados de solubilidad del plástico biodegradable.....	91
Tabla 4-9:	Resultados de la permeabilidad del plástico biodegradable durante 6 horas.....	91
Tabla 4-10:	Resultados de la permeabilidad al vapor de agua final del plástico biodegradable	91
Tabla 4-11:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en el suelo formulación 1	92
Tabla 4-12:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en el suelo formulación 2	92
Tabla 4-13:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en agua formulación 1	93
Tabla 4-14:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en agua formulación 2	93
Tabla 4-15:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en aire formulación 1	94
Tabla 4-16:	Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en aire formulación 2	94
Tabla 4-17:	Análisis de peso de plástico biodegradable del primer día y el último día.....	95
Tabla 4-18:	Resultados del análisis de espesor del plástico biodegradable.....	96
Tabla 4-19:	Resultados del ensayo de tracción para la primera formulación del plástico biodegradable	96
Tabla 4-20:	Resultados del ensayo de tracción para la segunda formulación del plástico biodegradable	96
Tabla 4-21:	Rendimiento de cada formulación analizada para la extracción de almidón.....	97

Tabla 4-22:	Rendimiento de cada formulación analizada para obtener del plástico biodegradable	97
Tabla 4-23:	Porcentaje de biodegradabilidad en el décimo día	98
Tabla 4-24:	Resultados de ensayo de tracción	98
Tabla 4-25:	Resultados de apariencia en el recubrimiento del producto de la empresa ROLDEG	99
Tabla 4-26:	Dimensionamiento de equipos	100
Tabla 4-27:	Resultados del balance de masa	106
Tabla 4-28:	Resultados del balance de energía	106
Tabla 4-29:	Presupuesto de maquinaria y equipos	107
Tabla 4-30:	Inversión en la planta de producción	108
Tabla 4-31:	Mano de obra para la instalación del proceso	108
Tabla 4-32:	Inversión fija	108
Tabla 4-33:	Costos de materia prima insumos	109
Tabla 4-34:	Costos de mano de obra	109
Tabla 4-35:	Costos fijos	110
Tabla 4-36:	Egresos anuales	110
Tabla 4-37:	Costos totales de la inversión fija y egresos	111
Tabla 4-38:	Ingresos anuales	112
Tabla 4-39:	Presupuesto de costos y gastos	112
Tabla 4-40:	Indicadores económicos para la producción de plástico biodegradable	113
Tabla 4-41:	Flujo de caja	113
Tabla 4-42:	Comparación de gastos entre el plástico tradicional y el plástico biodegradable	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1:	Banano	8
Figura 2-2:	Morfología de una planta de banano.....	9
Figura 2-3:	Cáscara de banano	13
Figura 2-4:	Segmento de una molécula de amilosa	16
Figura 2-5:	Segmento de una molécula de amilopectina	16
Figura 2-6:	Diagrama de proceso de extracción de almidón por método seco	17
Figura 2-7:	Diagrama de proceso de extracción de almidón por método húmedo.....	18
Figura 2-8:	Representación de los cambios del almidón	19
Figura 2-9:	Eventos ocurridos antes, durante y después de la gelatinización	20
Figura 2-10:	Plásticos	21
Figura 2-11:	Fundas plásticas para empaque de alimentos.....	21
Figura 2-12:	Esquema de la biodegradación del plástico biodegradable	22
Figura 2-13:	Plástico biodegradable con cáscara de fruta	22
Figura 3-1:	Localización geográfica de la ESPOCH.....	28
Figura 3-2:	Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método seco con blanqueo de ácido cítrico	40
Figura 3-3:	Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método seco con blanqueamiento de peróxido de hidrogeno.....	42
Figura 3-4:	Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método húmeda.....	44
Figura 3-5:	Diagrama de flujo para la obtención de plástico biodegradable.....	50
Figura 3-6:	Balace de masa general para la obtención de plástico biodegradable a nivel industrial.....	71
Figura 3-7:	Esquema de una mesa para la inspección de la materia prima.....	73
Figura 3-8:	Esquema del recipiente para el tratamiento de blanqueado	75
Figura 3-9:	Esquema del mezclador.....	82
Figura 3-10:	Esquema de una marmita.....	84
Figura 3-11:	Esquema de los moldes.....	86
Figura 4-1:	Diagrama de flujo para la obtención del plástico biodegradable.....	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1:	Rendimiento.....	41
Ecuación 3-2:	Porcentaje de humedad para el almidón	47
Ecuación 3-3:	Índice de solubilidad en agua	47
Ecuación 3-4:	Porcentaje de humedad en la película plástica.....	52
Ecuación 3-5:	Porcentaje de solubilidad	52
Ecuación 3-6:	Permeabilidad	52
Ecuación 3-7:	Porcentaje de pérdida de peso	52
Ecuación 3-8:	Balance de masa.....	56
Ecuación 3-9:	Balance general de energía.....	67
Ecuación 3-10:	Entalpía del aire	67
Ecuación 3-11:	Entalpía del sólido	68
Ecuación 3-12:	Calor producido por el secador	68
Ecuación 3-13:	Eficiencia energética	68
Ecuación 3-14:	Área total de transferencia de calor	69
Ecuación 3-15:	Calor perdido en las paredes del recipiente de cocción	69
Ecuación 3-16:	Calor ganado por la mezcla	70
Ecuación 3-17:	Calor suministrado por el reverbero	70
Ecuación 3-18:	Coeficiente global de transferencia de calor en el recipiente de cocción	70

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** NTE INEN 2801: NORMA PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997, MOD)
- ANEXO B:** NORMA INEN 2643:2012 ESPECIFICACIÓN PARA PLÁSTICOS COMPOSTABLES
- ANEXO C:** NORMA INEN 2635:2012 MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS
- ANEXO D:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO SECO POR BLANQUEAMIENTO DE ÁCIDO CÍTRICO
- ANEXO E:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO SECO POR BLANQUEAMIENTO DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO
- ANEXO F:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO HÚMEDO
- ANEXO G:** ELABORACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE
- ANEXO H:** CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN
- ANEXO J:** PROBETA DE ENSAYO DE TRACCIÓN
- ANEXO K:** CARACTERIZACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE
- ANEXO L:** PRUEBAS DE RECUBRIMIENTO AL PRODUCTO DE LA EMPRESA ROLDEG S.A. ECUADOR
- ANEXO M:** INFORME DE PRUEBA DE TRACCIÓN PARA LA FORMULACIÓN 1
- ANEXO N:** INFORME DE PRUEBA DE TRACCIÓN PARA LA FORMULACIÓN 2

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue diseñar un proceso industrial para la obtención de plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la empresa ROLDEG S.A. Ecuador. Con el propósito de abordar este desafío, se comenzó con la recepción de la materia prima donde se realizaron pruebas preliminares de control sensorial, humedad, pH y sólidos solubles totales. Posteriormente se extrajo el almidón por tres métodos distintos, dos por vía seca y uno por vía húmeda. Por último, se realizó la fabricación del plástico biodegradable donde se utilizó el almidón con mayor rendimiento y se varió las concentraciones de maicena, CMC, glicerina y ácido acético. Mediante la metodología se realizó un análisis de la materia prima que arrojó valores de pH (5,63), humedad (11,78%) y sólidos solubles (2,51°Brix). En cuanto al plástico biodegradable, se midieron valores de humedad (4,454%), espesor (0,233 mm), solubilidad (71,822%), resistencia máxima (2,927N), permeabilidad (0,0559g/h.m.MPa) y tasas de biodegradabilidad en suelo (25%), agua (50%) y aire (0%). Para llevar a cabo el proceso industrial, se necesitan varios equipos, incluyendo una mesa metálica, un tanque de remojo, un secador de bandejas, un molino, un tamizador, un mezclador, una marmita, moldes y un túnel de secado. En este contexto se concluye que el diseño consta de tres etapas claves como: la selección de materia prima, la extracción de almidón y la obtención del producto final. En las cuales se consideraron variables como el peso, el tiempo y la temperatura. Dando un análisis de costo-beneficio con un VAN de 7154,80, TIR de 16% y un periodo de recuperación de 3 años y 4 meses. La implementación ahorraría a la empresa un 27%, demostrando la viabilidad de convertir desechos de cáscaras de banano en materiales útiles y ecológicos.

Palabras claves: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DISEÑO DE PROCESO INDUSTRIAL>, <CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca*)>, <EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN>, <PLÁSTICO BIODEGRADABLE>.

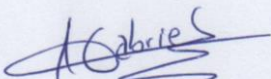
2082-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The objective of this project was to design an industrial process for obtaining biodegradable plastic from banana peel (*Musa paradisiaca*) for the company ROLDEG S.A. Ecuador. In order to address this challenge, the reception of the raw material was initiated where preliminary tests were carried out for sensory control, moisture, pH and total soluble solids. The starch was then extracted by three different methods, two by the dry process and one by the wet process. Finally, the biodegradable plastic was manufactured using the starch with the highest yield and varying concentrations of cornstarch, CMC, glycerin and acetic acid. By means of the methodology, an analysis of the raw material was carried out, which yielded values of pH (5.63), humidity (11.78%) and soluble solids (2.51°Brix). As for the biodegradable plastic, moisture (4.454%), thickness (0.233 mm), solubility (71.822%), maximum resistance (2.927N), permeability (0.0559g/h.m.MPa) and biodegradability rates in soil (25%), water (50%) and air (0%) were measured. To carry out the industrial process, several pieces of equipment are needed, including a metal table, a soaking tank, a tray dryer, a mill, a sifter, a mixer, a kettle, molds and a drying tunnel. In this context, it is concluded that the design consists of three key stages: raw material selection, starch extraction and obtaining the final product, in which variables such as weight, time and temperature were considered, giving a cost-benefit analysis with an NPV of 7154.80, IRR of 16% and a payback period of 3 years and 4 months. The implementation would save the company 27%, demonstrating the feasibility of converting banana peel waste into useful and environmentally friendly materials.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <INDUSTRIAL PROCESS DESIGN>, <BANANANA (*Musa paradisiaca*) PEELS>, <STARCH EXTRACTION>, <BIODEGRADABLE PLASTIC>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental son prioridades ineludibles, las diferentes industrias se encuentran en constante búsqueda de soluciones innovadoras que ayuden a minimizar su impacto en el medio ambiente. Ante esta realidad, los productos biodegradables han surgido como una opción prometedora. Por esta razón, la empresa ROLDEG SA Ecuador, con su destacado liderazgo en la producción de productos agrícolas y con su fiel compromiso en la preservación del entorno local, se enfocará en diseñar un proceso industrial para la fabricación de un plástico biodegradable; aprovechando los residuos orgánicos que se producen al realizar sus diferentes productos.

La cáscara de banano siendo el principal residuo desechado por la empresa ROLDEG SA Ecuador, se convertirá en un recurso valioso para la creación del producto biodegradable. Por ser un subproducto agrícola abundante en la industria bananera, que se destaca por su alto contenido en fibras como la celulosa, la hemicelulosa y lignina. Estos componentes, a menudo ignorados, se convierten en polímeros mediante procesos químicos y biotecnológicos, creando productos biodegradables como envases y plásticos, reduciendo así la generación de desechos y promoviendo una producción más responsable.

El diseño se enfocará en la creación de un producto destinado al uso del embalaje. Para lograr esto, se explorará las diferentes etapas involucradas, desde la recolección de la materia prima hasta la obtención del producto final. Llevándola por la selección meticulosa de la materia prima, la elección del método de extracción del almidón y, por último, la conversión química y biotecnológica de la formulación hasta obtener el plástico biodegradable con propiedades mecánicas y de degradación óptimas.

En resumen, la empresa ROLDEG SA Ecuador diseñará un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) donde se enfocará en la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad. Este enfoque no solo tiene el potencial de ampliar la oferta de la empresa y abrir nuevas oportunidades comerciales, sino que también representa un paso audaz hacia la diversificación y la adopción de prácticas sostenibles. Donde el desarrollo del proceso estará dividido en tres fases esenciales: la elección de la materia prima, la extracción del almidón y la formulación para obtener el producto final. Mediante la implementación de diversos equipos y maquinarias especializadas que garantizará una producción a gran escala, logrando un producto de alta calidad y rendimiento, con excelentes propiedades mecánicas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El plástico biodegradable es un material de origen orgánico, ya que se producen con materias primas renovables como el trigo, los tubérculos o los plátanos. Esta forma de fabricación facilita la reintroducción de este producto al medio ambiente, en forma de abonos orgánicos, aunque ese no es su principal beneficio, sino es tener un menor tiempo de vida en cuestión de los plásticos tradicionales (Manjón, 2019).

Aunque se lo conoce como plástico biodegradable en la actualidad, en el año de 1869 John Wesley Hyatt Jr. lo creó como un sustituto del marfil a partir de derivados de celulosa de algodón. A raíz de estos estudios se creó el celuloide que fue utilizado para la producción de películas fotográficas y de filmación, también se generó el celofán material que sigue siendo utilizado en la actualidad. La producción de plástico a partir de materia orgánica tuvo un freno drástico, ya que en 1926 se intensificó la fabricación de material plástico a base de derivados de petróleo a causa de tener un precio bastante económico y excelentes propiedades mecánicas. Sin embargo, este polímero tuvo una decaída a causa de la crisis del petróleo de Estados Unidos en 1973, haciendo notar el gran problema de depender del petróleo para fabricar el plástico (ZEAplast, 2012b).

En base a la crisis de petróleo la compañía Imperial Chemical Industries (ICI) dio un nuevo inicio a los bioplásticos con el producto Biopol, el mismo que fue exhibido como el primer biopolímero 100% degradable (ZEAplast, 2012a). Este plástico al principio llegó a tener un costo 30 veces más que un plástico tradicional, a pesar de esto fue bien recibido en Alemania, Reino Unido y Norteamérica. Posteriormente con la mejora de la tecnología y la alta producción del producto se redujo el precio a la mitad pasando de un valor de 9 a 4 dólares (Jaso 2020, p. 12-13).

Con el retorno del plástico biodegradable, la demanda del material y los problemas ambientales dejados por la segunda guerra mundial, se vio la oportunidad de retomar “la búsqueda de nuevos bioplásticos biobasados, como los polihidroxicanoatos, los compuestos de almidón termoplásticos, ácido poliláctico y la producción a partir de fuentes renovables de PTT, PET, PDO y PE” (Zambrano, 2021).

Actualmente, se revelan datos donde el plástico biodegradable representa el 1% de los 300 millones de toneladas de polímeros que se fabrican anualmente. Sin embargo, estos datos pueden

varían según la demanda del material, las nuevas tecnologías y las aplicaciones (Pizá et al., 2017, p. 17). Con esto se da a conocer que la producción de bioplásticos en el 2022 creció un 7%, en el 2023 se prevé un 11% y para el 2024 se espera un aumento de 1,33 millones dada la demanda del producto y a los precios más accesibles (Plásticos Hita, 2020).

1.2. Planteamiento del problema

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas de la humanidad, especialmente con los residuos plásticos derivados del petróleo que demoran un promedio de 150 años en descomponerse (Villavicencio, 2018, p. 88). Esto causa un gran revuelo, ya que desde que se inventó el plástico hasta 2015 se establece que se ha producido un promedio de 8300 millones de toneladas métricas, lo que equivale a 1100 kg por habitante. De esta cantidad de plástico solo el 30% se encuentra en uso y el otro 70% se ha convertido en residuos. De este 70% de residuos, un 79% está distribuido en alguna parte del planeta, el 12% se ha incinerado y el 9% restante se lo ha reciclado. Si se continúa con estas cifras de fabricación para el año 2050 habrá 13000 millones de toneladas métricas arrojadas en el medio ambiente (Hidalgo et al., 2017, pp. 89-102).

En perspectiva el plástico se considera un material orgánico igual que la madera, el papel o la lana, por su uso diario; sin embargo, es un material sintético obtenido mediante reacciones de polimerización a partir de derivados del petróleo (CAIRPLAS, 2023). Esto causa que tarde miles de años en descomponerse. Por esta razón, nos vemos en la obligación de generar alternativas sostenibles y/o biodegradables para frenar la contaminación, llegando al punto de que tarden un menor tiempo en el medio ambiente y en su descomposición (Hidalgo et al., 2017, pp. 89-102).

La empresa ROLDEG SA Ecuador, ubicada en la ciudad de Manta en la provincia de Manabí, siendo una compañía ecológica que entró en el mercado en 2018 como distribuidora de vegetales, luego se dedicó al procesamiento y deshidratación de frutas y actualmente se centra en la distribución de productos a base de banana, piña, pitahaya y mango, los cuales son distribuidos a nivel nacional e internacional. El objetivo principal de esta empresa es buscar entrar al mercado con productos de ecológicos, de calidad y 100% orgánicos (CORPEI, 2018).

Debido a que la empresa se ha cimentado bajo principios de sostenibilidad ambiental los cuales se ha plasmado en su misión y visión empresarial, se realizó una evaluación a nivel interno para determinar el grado de contaminación que genera al realizar sus distintos productos y precio que involucra al empacar los productos en fundas plásticas. Dando resultados que al procesar 174687 kg de banano se genera un promedio estimado de 34937,4 kg de residuos, y, al empacar los snacks, harinas y pures, se gasta un estimado de \$1918 dólares en fundas plásticas de 5 y 0,5 kg, estos

resultados variarían según el crecimiento de la empresa y la demanda del producto. De modo que se genera un promedio estimado de 20% de contaminación en residuos orgánicos y plásticos, y un gasto un poco elevado en compra de las fundas plásticas para el empaçado (ROLDEG, 2023).

1.3. Justificación

La empresa ROLDEG SA Ecuador con el fin de presentar una empresa más ecológica y con un producto 100% natural y orgánico. Plantea reemplazar los envoltorios plásticos que utilizan para empaçar los productos por una alternativa más medioambiental y que dure menos tiempo en el planeta. Aprovechando los residuos de banana que se generan en la fabricación de los distintos productos, aunque muchos pensarán que estos desechos se utilizan para abonar la tierra de los cultivos, este dato es erróneo, ya que la gran mayoría son desechados a basureros por la gran cantidad que se produce. Por esta razón la compañía busca convertirse en una empresa más amigable con el medio ambiente, además de aprovechar para reducir los costos en el empaçado.

A parte de todo lo mencionado la empresa explorará opciones innovadoras, donde estudiará los distintos ámbitos donde no solo utilizará los residuos del banano para crear el plástico biodegradable sino también manejará los distintos desechos que se generan en la fabricación de los otros productos, dando un control óptimo y adecuada. Con base a esto se reducirán los desechos generados por la empresa y se controlarán adecuadamente para su posterior uso que es la obtención del bioplástico, con esto se centrará en el objetivo principal que es la reducción de contaminantes plástico y el tiempo de vida de estos.

Con todo lo mencionado el objetivo directo del presente proyecto técnico se enfocará en diseñar un proceso industrial para obtener un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano para la empresa ROLDEG SA Ecuador, con la posibilidad de que en un futuro se puedan tener menos niveles de contaminación al sacar su producto al consumidor. Así, el presente trabajo permitirá reemplazar las fundas plásticas actuales que utiliza dicha empresa para empaçar el producto, a una alternativa más ecológica, la cual le ayuda a reducir costos y aprovechar los residuos que se generan al fabricar los distintos productos de banano.

1.4. Línea base del proyecto

1.4.1. Antecedentes de la empresa ROLDEG SA Ecuador

La empresa ROLDEG SA Ecuador nace el 10 de abril del 2012 con la visión de dos jóvenes empresarios de crear valor al medio local y generar un bienestar a los colaboradores.

ROLDEG SA Ecuador comienza su funcionamiento con la distribución de vegetales, harinas de hueso y arroz por diferentes provincias del Ecuador. Pero a partir de septiembre del 2013, implementan un nuevo sistema a su negocio, abarcar la línea de deshidratados. Este nuevo modelo fue gestionado por la marca WAYU – infusión de frutas, la cual fue maquiladora y distribuidora directa de la materia prima, aunque no era suficiente tener la materia prima hacía falta la planta deshidratadora, misma que fue conseguida y alquilada en Montecristi – Manabí por la Sra. Ana María Olea.

En mayo del 2014 por la buena aceptación del producto, la empresa ROLDEG SA Ecuador se alianza con AGROAPOYO SA, para aumentar la capacidad de la materia prima y sacar más producto deshidratados al mercado nacional e internacional. Al tener un aumento de producción la empresa ROLDEG SA Ecuador y AGROAPOYO SA decide adquirir un nuevo horno deshidratador para ubicarlo en el Carmen – Manabí para minimizar los costos de transporte, y aprovechar la zona de la fruta. Con esto potenciarían e impulsarían a Manabí para reconocida por ser una buena zona de cultivo.

En el año de 2015 la empresa cambia su tipo de compañía de una de sociedad de responsabilidad limitada (ROLDEG CIA Ltda.) a una de sociedad anónima (ROLDEG S.A), esto con el fin de colocar a los deshidratados de frutas y verduras como principal producto, además de abrir las puertas a inversionistas y/o aporte de terceras personas.

Gracias a la alianza estratégica con AGROAPOYO SA, la empresa de ROLDEG SA Ecuador amplía su portafolio y estandariza los precios de los productos. Con esto llama la atención del cliente WHOLE SOME VALLEY FOOD (BARNANA) con el que termina cerrando un contrato en el 2017, por 12 contenedores anuales por un periodo de 5 años (Villarreal, 2021).

Actualmente la empresa ROLDEG SA Ecuador es el principal consumidor de los bananos provenientes asociaciones bananeras de Machala, adquiriendo 218500 kg de esta fruta, lo que equivale a un contenedor y medio de banano deshidratado en un periodo de 25 días (CORPEI, 2018). Hoy en día la empresa ROLDEG SA se centra en la deshidratación banano, piña, pitahaya y mango, para la fabricación de snacks, pures y harinas.

1.4.2. Beneficios directos e indirectos

1.4.2.1. Beneficios directos

El presente proyecto técnico beneficia directamente a la empresa ROLDEG SA Ecuador, ya que reutilizará los residuos orgánicos producidos y disminuirá los costos de empaquetado.

1.4.2.2. Beneficios indirectos

El presente trabajo beneficiara indirectamente a los consumidores al adquirir un producto orgánico con una empaquetado biodegradable y de buen aspecto, al medio ambiente por la reducción de desechos plásticos y residuos orgánicos y a la comunidad por la generación de nuevos empleos.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la empresa ROLDEG SA Ecuador

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización físico-química de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) de la empresa ROLDEG SA Ecuador en base a la NTE INEN 2801
- Establecer las variables del proceso para la fabricación del plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*)
- Diseñar el proceso para la fabricación del plástico biodegradable a partir de los cálculos de ingeniería
- Validar el diseño de ingeniería a través de la caracterización físico-química y mecánica del producto final obtenido mediante las normas NTE INEN 2643:2012 y NTE INEN 2635:2012
- Determinar los costos de operación y los beneficios que implicaría la obtención del plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*)

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes de la investigación

Según (Castillo et al., 2015, pp. 1-4) en su investigación de “Bioplástico a base de la cáscara del plátano”, empieza su experimento con la extracción del almidón el cual lo obtiene de la cáscara de plátano, luego procede con la fabricación del bioplástico el cual presenta propiedades físicas, químicas y ecológicas adecuadas. También (Castillo et al., 2015, pp. 1-4) menciona que, de todos los experimentos realizados, el más viable era el que contenía vinagre y glicerina, ya que este producto presentaba mayor flexibilidad y resistencia en las pruebas mecánicas. A su vez, en su investigación señala que se debe tener una temperatura constante a la hora del secado, ya que si no se la mantiene el bioplástico tiende a corrugarse.

Según (Cárdenas, 2018, pp. 52-81) es su investigación “Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero”, menciona que empieza su experimento por la obtención del almidón por dos métodos lo cual son por vía húmeda y por vía seca, donde obtuvo un rendimiento de 42,63% por método seco y un 22,30% por método húmedo, demostrado eficiencia por el método seco, luego procede a la elaboración del biopolímero el cual se realizó por varios experimentos a diferentes concentraciones de almidón, dando resultados donde la muestra 1 que no contenían ningún tipo de almidón y la muestra 2 que contenían almidón pero en muy baja dosificación en ambas pruebas resultó en la no formación de la película de biopolímero, en cambio en las muestras que contenían una dosificación considerable de almidón resultaba a una formación de una película sólida con mayor estabilidad y de fácil manipulación. Con esto (Cárdenas, 2018, pp. 52-81) demuestra en su investigación que el contenido de almidón en la formación de la película si afecta, ya que entre menos contenga, dará un mayor resultado de humedad resultado en la no formación de la película.

Según (Calero y Lapo, 2021, pp. 41-65) en su investigación “Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos” menciona que en su experimento utilizó dos tipos de cáscara: barraganetes y dominicos; y dos tipos de métodos, el método seco y el método húmedo. También (Calero y Lapo, 2021, pp. 41-65) menciona que empieza con la extracción del almidón dando resultados v1m0 (cáscara de barraganete, método seco) de 14,15%; v1m1 (cáscara de barraganete, método húmedo) de 7,3%; v0m0 (cáscara de dominico, método seco) de 11,81% y v0m1 (cáscara de dominico, método húmedo) de 6,8%, es decir obtuvo

mayor rendimiento con el método seco usando las cáscaras de plátano barraganete. Luego (Calero y Lapo, 2021, pp. 41-65) procedieron a la elaboración del bioplástico con las mismas cantidades de materia prima para cada muestra dando resultados de humedad en donde v1m0 tiene 57,17%; el v1m1 contiene un 69,89%; el v0m0 un 42,97% y el v0m1 un 74,88%; demostrando que el menor contenido de humedad es el de la cáscara de dominico por método seco, otro análisis realizado es el espesor donde arrojó resultado de v1m0 con 0,21; v1m1 con 0,19; v0m0 con 0,15 y v0m1 con 0,14; donde demuestra que la cáscara de barraganete por método seco y la cáscara de dominico por método seco están dentro de los parámetros permitidos que es 0,2mm nominal. Los resultados arrojados por (Calero y Lapo, 2021, pp. 41-65) demuestran que el método más factible para la realización el experimento es por método seco, ya que este proyecta mejores resultados que el realizado por método húmedo.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Banano*

El banano es un fruto tropical originario de una planta herbácea conocida con el mismo nombre o también referida como plátano. Esta planta pertenece a la familia de las musáceas y produce un fruto alargado o ligeramente curvado. El peso promedio del plátano varía entre 100 y 200 gramos. Su piel es gruesa, de color amarillo y se pela con facilidad. Por otro lado, la pulpa del plátano es carnosa y puede ser de color blanco o de un tono amarillo pálido (Montagu, 2023).

El banano presenta un significativo valor nutricional debido a su contenido elevado de carbohidratos, potasio y fósforo. Entre estos nutrientes, el potasio desempeña un papel de suma relevancia en esta fruta, ya que se encuentra presente en cantidades destacadas. Su función abarca desde el equilibrio de los electrolitos en el organismo hasta la transmisión de impulsos nerviosos y la adecuada función muscular (Cárdenas, 2018, p. 23).



Figura 2-1: Banano

Fuente: (Montagu, 2023)

2.2.1.1. Taxonomía

A continuación, en la tabla 2-1 se muestra la taxonomía del banano.

Tabla 2-1: Taxonomía del banano (*Musa paradisiaca*)

Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	Paradisiaca L. Mozombite
Grupo	AAA
Subgrupo	Cavendish

Fuente: (Baridón y Villarreal, 2017, p. 5)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023.

2.2.1.2. Morfología

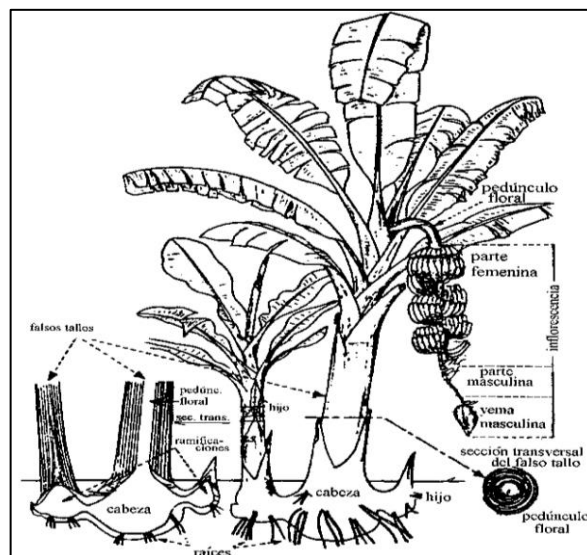


Figura 2-2: Morfología de una planta de banano

Fuente: (Baridón y Villarreal, 2017, p. 6)

- **Planta.** – Es una planta herbácea de gran tamaño y perenne, caracterizada por sus rizomas cortos y tallos sobresalientes. Estos tallos se forman mediante la unión de vainas foliares en forma cónica y pueden alcanzar alturas que oscilan entre los 3,4 y 7,5 metros. En la parte superior, los tallos se coronan con una agrupación de hojas.

- **Rizoma.** – Esta estructura, comúnmente llamada bulbo, es en realidad un tipo de tallo subterráneo que posee numerosos puntos de crecimiento conocidos como meristemos. Estos meristemos dan origen a pseudotallos, raíces y brotes vegetativos, contribuyendo así a la propagación y crecimiento de la planta.
- **Sistema radicular.** – Son raíces superficiales dispersas en capas de 30 – 40 cm, concentrando la mayor parte a unos 15 – 20 cm. Estas raíces son blancas y suaves al desenterrarlas, pero una vez fuera se vuelven duras y de color amarillo. La dimensión varía entre 5 y 8 mm, con una longitud en el crecimiento lateral entre 2,5 y 3 m, con profundidad de 1,5 m. Por otra parte, la distribución radicular está vinculada con la textura y la estructura del suelo, por lo que el poder de penetración de las raíces es débil.
- **Tallo.** – Es un rizoma subterráneo, grande y almidonoso. Coronado con yemas, las cuales se desarrollan cuando la planta ha florecido y dado sus frutos. A medida que maduran, la yema terminal se convierte en una inflorescencia, la cual es empuja hasta arriba desde el interior del suelo, hasta la formación del pseudotallo.
- **Hoja.** – Están surgen en el punto central de crecimiento o el meristemo terminal, ubicado en la parte superior del rizoma. Al inicio de la formación se observa el pecíolo y la nervadura central terminada en filamento que luego se convierten en vainas. La parte de la nervadura se vuelve más larga y el borde izquierdo empieza a cubrir el derecho, dándole crecimiento y la formación de los semilimbos. Las hojas forman un pseudotallo que se enrollan en forma de cigarro. Estas hojas son verdes, grandes y espirales, de un tamaño de 2 a 4 m de largo y 1,5 m de ancho, con un pecíolo de 1 m o más y un limbo elíptico alargado, ondulado y glabro. Aunque estas hojas son fuertes en su juventud, cuando son viejas tienen a romperse con facilidad.
- **Flores.** – Están nacen durante la floración, donde se forman inflorescencias pubescentes de 5 a 6 cm de diámetro a partir de la corona de las hojas, que terminan en un racimo caído de 1 a 2 m de largo. Tiene unas 20 brácteas ovaladas, esbeltas y puntiagudas de color púrpura cubiertas de un polvo blanco. De las axilas de estas brácteas brotan las flores, las cuales son amarillas, irregulares y de seis estambres (uno es estéril). El gineceo de la flor tiene tres pistilos, con un ovario inferior. De todo este sistema de inflorescencias se forma el banano, el cual se clasifica en grupos de bráctea llamados mano o racimo que contiene de 3 a 20 frutos. Una planta de banano no puede contener más de 4 racimas, salvo las razas muy productivas que llegar a tener de 12 a 14 racimas.

- **Fruto.** – Son bayas alargadas, las que se doblan geotrópicamente durante su desarrollo, dependiendo de su peso y en base a esto le dan forma al racimo. La planta de plátano es polimórfica y pueden contener de 5 a 10 racimas, cada una alcanza a contener de 2 a 20 frutos. Estos pueden variar en sus colores dependiendo de la variedad que se haya plantado; los colores por lo general son amarillo verdoso, amarillo, amarillo rojizo o rojo. Los bananos comestibles son asexuales partenocarpia, es decir, que no requieren polinización para producir su pulpa. La mayoría de estos frutos comestibles son estériles por razones complejas como los genes específicos de infertilidad femenina, triploidía y cambios en la estructura cromosómica (InfoAgro, 2023).

2.2.1.3. Origen

Los bananos tienen sus orígenes en Asia meridional, a pesar de que en ocasiones se ha sugerido que podrían haber surgido en Centroamérica. Sin embargo, la mayoría de los expertos han rechazado esta idea y han confirmado que su lugar de origen es el sudeste asiático, específicamente la India. Aunque se popularizaron en la región mediterránea después de la conquista árabe en el año 650 d.C., la especie fue introducida en las Islas Canarias en el siglo XV. Desde las Islas Canarias, se llevaron al continente americano en el año 1516 (Montagu, 2023).

2.2.1.4. Zonas productoras de banano en el Ecuador

Según (Ministerio de Comercio Exterior, 2017, p. 3) en su informe del sector bananero del Ecuador menciona que se registran en el país alrededor de 162236 hectáreas sembradas y cuentan con 4473 productores distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 2-2: Producción de banano en el Ecuador

Distribución por tamaño de hectárea	Hectáreas sembradas	Número de productores
0 – 30 (pequeños)	35,685	3,480
>30 ≤ 100 (medianos)	57,486	800
100 o más (grandes)	69,063	193
Total	162,236	4,473

Fuente: (Ministerio de Comercio Exterior, 2017, p. 3)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Como se especifica en la tabla 2-2, las pequeñas empresas constituyen alrededor del 78% de los productores de banano, y cuando se suman los productores de medianas empresas, esta cifra se eleva al 95,6%. Estos datos indican que la producción de banano en el país está estrechamente relacionada con la economía familiar y la Economía Popular y Solidaria (EPS). Esta conexión la

convierte en una industria que no solo genera empleo, sino que también contribuye a la reducción de la pobreza al proporcionar oportunidades económicas a nivel local.

La producción de banano en el país está mayormente centrada en tres provincias principales: El Oro, con un 41%; Guayas, con un 34%; y Los Ríos, con un 16%. Esto señala que la provincia de El Oro alberga principalmente a la mayoría de los pequeños productores, mientras que las provincias de Guayas y Los Ríos son hogar de los productores de mayor envergadura y escala (Ministerio de Comercio Exterior, 2017, p. 4).

2.2.1.5. *Variedad de banano en el Ecuador*

Existen gran variedad de especies, pero las más conocidas son:

- **Banano Cavendish.** – También conocido como plátano de seda o guineo seda. Es un fruto no muy dulce, pero es el más consumido a nivel mundial y actualmente encabeza las exportaciones (Revista Paula, 2013). Porque es el mejor adaptado a los climas frescos de las regiones subtropicales, aparte de producir grandes racimos con frutos medianos. Este fruto es de color verde y al madurar se vuelve de color amarillo (MUNEXIFRUIT, 2019).
- **Banano Orito.** – Es una especie pequeña de los bananos, ya que mide 12 cm. Este fruto en inglés es conocido finger banana o lady finger por lo que es parecido a un dedo. También se podría mencionar que este fruto al madurar tiene una piel amarilla, una pulpa blanquecina, cremosa y de alta consistencia, aparte de tener un sabor muy dulce.
- **Banano Rosado.** – Es la variedad más pequeña de los bananos, ya que mide 8 cm de largo. Su fruto es intensamente dulce con un ligero toque a frambuesa, su pulpa es de color blanco anaranjado con aroma muy característico e intenso. Al madurar su cáscara pasa de rosada a un tono casi purpura (Revista Paula, 2013).
- **Plátano barraganete.** – También conocido como plátano verde, plátano macho, plátano hartón o plátano de cocer. Es un fruto grande, robusto, de color verde pardusco, con una pulpa harinosa, rica en fibra y almidones (Imporfrut, 2015). Es la segunda variedad más exporta en el país, ya que contiene menos agua, lo cual lo hace más duro.
- **Plátano dominico.** – Es un fruto nutritivo alto en potasio, magnesio y vitaminas C, B y E. También se podría mencionar que es un plátano pequeño de color verde, que crudo tiene una

textura dura con sabor amargo, pero al momento de cocerlo toma un textura blanda, suave y mantecosa con un sabor agradable al paladar (Revista Paula, 2013).

- **Plátano maqueño.** – Es un fruto de piel rosada con un aspecto gordo y puntas redondas. Tiene una dimensión de 20 a 25 cm de largo y de 2 a 4 cm de ancho. Un peso aproximado 150 y 200 gramos, con pulpa pegajosa y dulce, este tipo de plátano se usa en muchos platillos tradicionales del Ecuador (El Comercio, 2011).

2.2.2. Cáscara de banano

La piel o cáscara de banano es rica en vitaminas A y C, además contiene fósforo y complejo B. El fósforo ayuda a activar la vitamina A y el complejo B para actuar en el metabolismo, además de fortalecer los huesos y los dientes. Según un estudio realizado por la revista *Biotechnology and Biochemistry*, las cáscaras de banano son beneficiosa por su alto contenido en fibra la cual ronda en 60% de lignina, un 25% de celulosa y un 15% de hemicelulosa, incluso la piel de este fruto ayuda contra el cáncer de próstata (Falla y Ramón, 2018, p. 10). Hay que hacer notar que la cáscara del banano trae múltiples beneficios como lo son: en la salud donde ayuda a combatir el estreñimiento, regula el colesterol y el azúcar en la sangre, previene el envejecimiento prematuro reparando y cuidando la piel, ayuda a conservar la salud visual protegiéndolo contra la degeneración macular, evitar fatiga muscular y disminuye el riesgo de fracturas o de sufrir enfermedades como la osteoporosis u osteopenia (Zanin, 2022).



Figura 2-3: Cáscara de banano

Fuente: (Zanin, 2022)

2.2.2.1. Composición nutricional

En la tabla 2-3, se muestra la composición nutricional de la cáscara de banano:

Tabla 2-3: Composición nutricional de 100g de cáscara de banano

Determinación	Unidad	Resultado
Proteína	%	7,87
Humedad	%	78,4
Ceniza	%	13,44
Energía	kcal	35,3
Carbohidratos	g	4,91
Grasas	g	0,99
Proteínas	g	1,69
Fibras	g	1,99
Potasio	mg	300,92
Calcio	mg	66,71
Hierro	mg	1,26
Magnesio	mg	29,96

Fuente: (Falla y Ramón, 2018, p. 10; Zanin, 2022)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

2.2.3. Almidón

El almidón, también conocido como fécula, es una molécula polisacárida que posee una estructura ramificada. Esto significa que está compuesta por múltiples unidades de glucosa, las cuales están conectadas mediante diversos enlaces covalentes y dispuestas en cadenas principales, de las cuales emergen cadenas secundarias o auxiliares (Rico, 2019). Además, es importante destacar que el almidón es un polímero de origen natural que se extrae de gránulos característicos, los cuales contribuyen a su composición y apariencia únicas. Cada uno de estos gránulos presenta una estructura macromolecular distintiva. Por otro lado, el almidón es un carbohidrato ampliamente presente en la naturaleza y se encuentra en diversas fuentes, incluyendo leguminosas como frijoles y lentejas, cereales como trigo, maíz y arroz, tallos como la palma de sagú, tubérculos como la papa, frutos como manzanas, duraznos y plátanos, hojas como las del tabaco, y raíces como el camote y la yuca (Guamán, 2019, p. 11).

El almidón es un hidrato de carbono conformado por dos moléculas llamadas amilosa y amilopectina, que confieren propiedades fisicoquímicas y térmicas dependiendo de la composición y el arreglo estructural de las fuentes de origen. Por esta razón a esta materia prima se la considera como un excelente componente para cambiar la textura y consistencia en diferentes alimentos (Hurtado, 2019, p. 13).

2.2.3.1. Propiedades estructurales del almidón

El almidón presenta una estructura no uniforme, ya que está compuesto por un polímero de unidades de D-glucosa, formando una mezcla de polisacáridos que incluye alrededor del 20% de amilosa y un 80% de amilopectina. Además, una pequeña fracción de alrededor del 1% al 2% está compuesta por componentes no glucosídicos como lípidos y minerales. Es importante señalar que esta composición puede variar según el origen botánico del almidón (León et al., 2020, p. 620).

En la tabla 2-4, se describen el contenido de almidón, amilosa y amilopectina, granulometría, forma del grano y tipo de productos.

Tabla 2-4: Características de los gránulos de almidón, contenido de amilosa y amilopectina de varios alimentos

	Almidón (%)	Tipo	Diámetro del granulo (µm)	Forma	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Maíz	71,0	Cereal	3 – 26	R, P	28,0	72,0
Papa	82,0	Tubérculo	5 – 100	O, S	21,0	79,0
Trigo	74,0	Cereal	2 – 35	R, L	28,0	72,0
Yuca	77,0	Raíz	4 – 35	O, S	17,0	83,0
Maíz (Waxy)	71,0	Cereal	3 – 36	R, P	0,0	100,0
Sorgo	75,0	Cereal	3 – 8	P, A	28,0	72,0
Arroz	89,0	Cereal	3 – 8	R, T	17,0	83,0
Plátano Macho	75,0	Fruta	6 – 80	O, AL	27,0	ND
Plátano Enano	75,0	Fruta	8 – 68	O, AL	24,6	ND
Plátano Morado	54,0	Fruta	25 – 35	O, AL	31,3	ND
Plátano Valery	54,0	Fruta	25 – 35	O, AL	23,5	ND
Makal	72,0	Tubérculo	8 – 20	S	23,6	76,4
Camote	74,0	Tubérculo	15 – 18	S, O	19,6	80,4
Sagú	83,0	Fruta	1 – 200	S, A	22,7	77,3
Nota: Redondo (R); Poligonal (P); Oval (O); Esférico (S); Lenticular (L); Angular (A); Alongado (D); Trucado (T); Alargada (AL); No documentado (ND)						

Fuente: (Contreras et al., 2018, pp. 90-91; Rendón et al., 2010, p. 298; Mendoza et al., 2017, p. 1)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

El almidón se forma mediante la unión de residuos de glucosa a través de enlaces α -1,4 y también enlaces ramificados α -1,6, que dan origen a las moléculas de amilosa y amilopectina. La amilosa se caracteriza por ser una cadena lineal con pocas ramificaciones, mientras que la amilopectina muestra una estructura con muchas ramas. La distribución y la disposición física de estos dos

polímeros en el gránulo de almidón contribuyen a conferir propiedades fisicoquímicas y funcionales específicas a cada tipo de almidón (León et al., 2020, p. 621).

- **Amilosa**

La amilosa se compone principalmente de moléculas de glucosa, que están entrelazadas por las posiciones 1,4 con enlaces glicosídicos con configuración alfa (α), esta molécula es especialmente lineal, PM entre 20,000 a 60,000 (Rivas, 2013, p. 23). Las ramificaciones se localizan en un rango intermedio donde se entiende entre longitudes cortas y largas, y están desacopladas por largas distancias, esto causa que las moléculas tengan la facultad de desempeñarse como un polímero lineal (Guamán, 2019, p. 13).

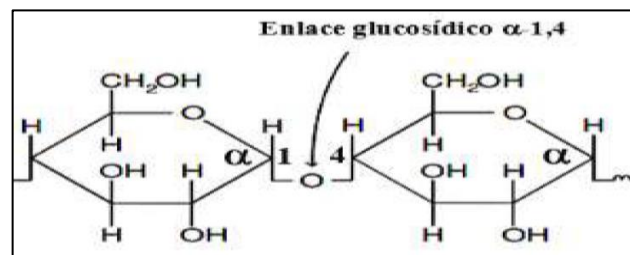


Figura 2-4: Segmento de una molécula de amilosa

Fuente: (Guamán, 2019, p. 13)

- **Amilopectina**

La amilopectina se conforma de ramificaciones que le dan forma molecular de árbol, claramente no lineales, está conformada por unidades de α -D-glucosa unida por enlaces α -1,4 glicosídicos en las principales cadenas y las ramificaciones se entrelazan mediante enlaces α -1,6 glicosídicos. Tiene $PM \geq 100,000$ (Rivas, 2013, p. 25). Esta estructura se encuentra ubicada en la capa exterior y menos soluble en el agua. Las moléculas de amilopectina poseen un grupo de mayor cantidad que la amilosa, la cual varía entre 10 mil y 20 millones de unidades de glucosa (Guamán, 2019, p. 14).

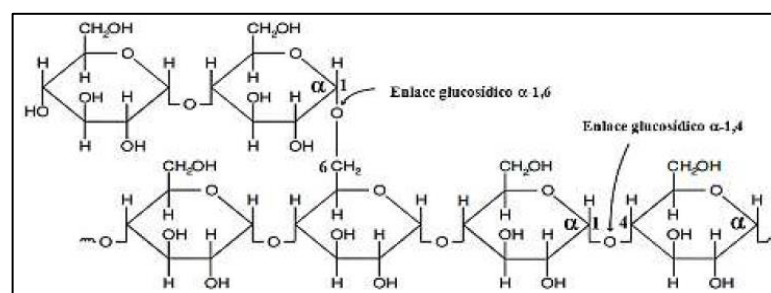


Figura 2-5: Segmento de una molécula de amilopectina

Fuente: (Guamán, 2019, p. 14)

2.2.3.2. Extracción del almidón

Desde hace muchos años se aplican diversos métodos para extraer almidón de diferentes hortalizas, frutos y tubérculos, los cuales se han ido perfeccionando para tener mejor eficiencia al punto de poderlos aplicar a nivel industrial. Un ejemplo claro, es la extracción del almidón de la papa, del cual se obtienen anualmente un promedio de 3 millones de toneladas (Ayala, 2016, p. 9).

La extracción del almidón se basa en fragmentar alimentos a través de un método, esto se puede realizar tanto a nivel artesanal como tecnificado, ya sea a pequeñas o grandes escalas, depende mucho de cada una de las empresas. Existen diferentes fuentes de donde se extrae el almidón como lo son: el maíz, el trigo, la yuca, la papa o el plátano (Carrasco y Molocho, 2018, pp. 5-6).

Los métodos más comunes para extraer este producto son por vía seca y por vía húmeda.

- **Método Seco**

Este método consiste básicamente en moler el fruto, grano o tubérculo después del secado para obtener una harina, la cual va a un proceso de tamizado para conseguir pequeños granúlos, este producto obtenido es el almidón. Aunque básicamente en esto consiste este método no solo se utilizan estas operaciones, ya que si se desea obtener producto final de calidad y con características propias del almidón se deben tomar en cuenta una serie de operaciones, las que ayudaran a facilitar el método y a tener un fácil desarrollo (Carrasco y Molocho, 2018, p. 6).

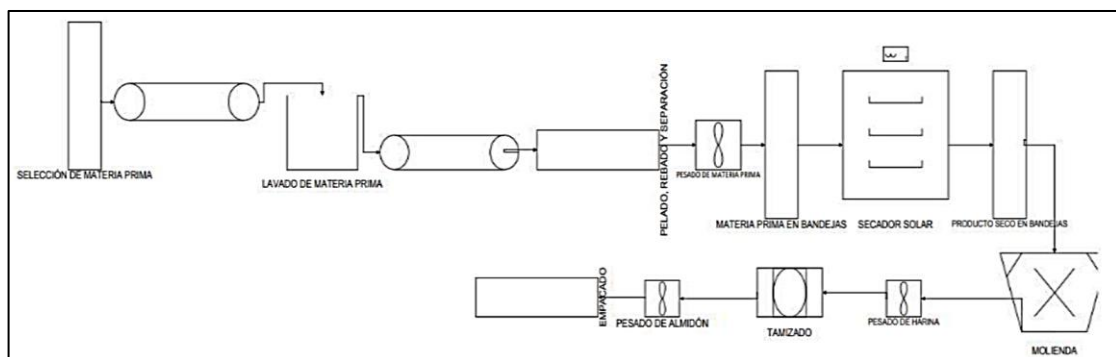


Figura 2-6: Diagrama de proceso de extracción de almidón por método seco

Fuente: (Carrasco y Molocho 2018, p. 6)

- **Método Húmedo**

Básicamente este método se basa en la trituración de la materia prima, para proceder a una maceración donde se separar los componentes relativamente grandes, como las fibras y las

proteínas, posteriormente, se eliminará el agua por decantación. Una vez concluido el proceso se lava el material sedimentado para separar todo elemento ajeno al almidón y finalmente se somete al producto purificado a un secado. Todas estas operaciones van en conjunto a pequeños procesos, que nos darán un producto final de calidad (Carrasco y Molocho, 2018, p. 6).

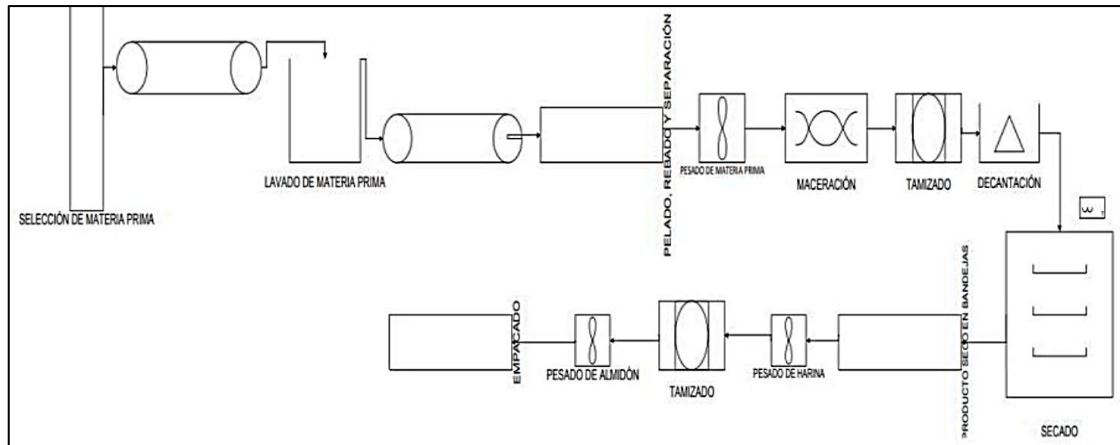


Figura 2-7: Diagrama de proceso de extracción de almidón por método húmedo

Fuente: (Carrasco y Molocho, 2018, p. 7)

2.2.3.3. Almidón de la cáscara de banano

El almidón de la cáscara de banano varía sus beneficios dependiendo de la especie que utilice para extraerlo. Este almidón tiene un contenido estándar de amilosa entre 15 y 30%; en cambio de amilopectina varía de 70 a 85% (Pozo, 2019, p. 26). La obtención de este producto a partir de la cáscara de banano no ha sido ampliamente investigada; sin embargo, se han identificado dos métodos para su extracción: el proceso en seco y el proceso en húmedo. Cada uno de estos métodos aporta diversos beneficios para la salud humana debido a su mayor contenido de vitaminas y minerales en comparación con la pulpa del banano, lo que podría resultar en concentraciones nutricionales superiores (Ayala, 2016, pp. 9-10).

2.2.3.4. Procesos de gelatinización y retrogradación del almidón

- **Gelatinización**

Es un proceso donde el gránulo de almidón que es insoluble en agua fría por su estructura muy organizada con fases amorfas y compactas; es sometido a una hidratación con agua a una temperatura de 60°C a 70°C. Es decir, el gránulo del almidón que es sometido a un medio acuoso a una temperatura que se eleva progresivamente hasta un estándar de 70°C, ocasiona que este vaya absorbiendo el líquido poco a poco dando como resultado que se empiece a hinchar,

resultado de esto da un aumento de volumen, y al seguir elevando la temperatura el granulo alcanzará su volumen máximo equilibrando su estructura, pero si se sigue sometiendo al calor este comenzara a perder su patrón como se demuestra en la figura 2-8 (Calabokis, 2020).

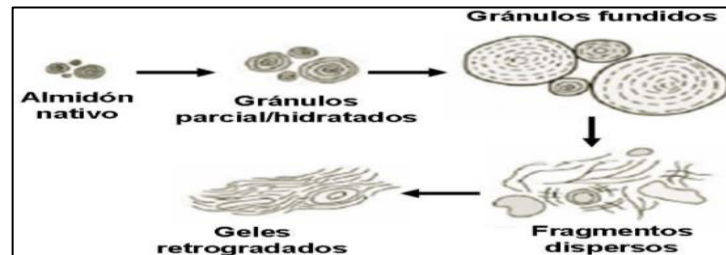


Figura 2-8: Representación de los cambios del almidón durante la gelatinización

Fuente: (Tovar, 2008, p. 31)

El grado de gelatinización depende de factores como:

- Condiciones de procesamiento (temperatura, humedad, presión, etc.)
- La presencia de otros compuestos (sales, lípidos, azúcares, etc.)

En la tabla 2-5 se demuestran las propiedades de algunos almidones.

Tabla 2-5: Propiedades de los gránulos de diversos almidones

Almidón	Tipo	Contenido de amilosa (%)	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	Propiedad de cocción
Yuca	Raíz	17,0	50,68	54 – 78	60 – 100	Gel claro
Maíz	Cereal	28,0	62,3	66,3	72,9	Gel opaco
Papa	Tubérculo	21,0	60,0	69,0	80,0	Gel claro

Nota:
Ti (Temperatura inicial de gelatinización)
Tp (Temperatura pico de gelatinización)
Tf (Temperatura final de gelatinización)

Fuente: (Guamán, 2019, p. 17; Calabokis, 2020)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

• Retrogradación

Este proceso empieza al reducir la temperatura del almidón gelatinizado, ya que las moléculas se reorganizan para formar estructuras ordenadas, es decir pasan de una etapa amorfa a una etapa final más cristalina. A causa de que la retrogradación es la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, ocasiona un comportamiento distinto en cada tipo de

almidón, ya que depende mucho del contenido de amilosa y amilopectina en el granulo. Este proceso al ser complejo depende de muchos factores como la concentración del almidón, los regímenes de cocción y enfriamiento, el pH y último la presencia de solutos que presenta el grano (Calabokis, 2020; Tovar, 2008, p. 32).

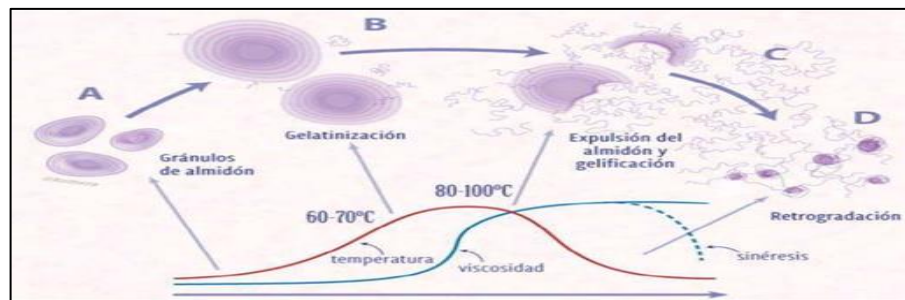


Figura 2-9: Eventos ocurridos antes, durante y después de la gelatinización

Fuente: (Calabokis, 2020)

2.2.4. Plásticos

Los plásticos son materiales compuestos de polímeros de origen natural y modificado, es decir que se componen de largas cadenas de moléculas, las cuales se obtienen por bloques de monómeros, esto gracias a transformaciones químicas por medio de catalizadores, calor y presión. Estos plásticos tienen características de alta densidad, excelente aislamiento térmico y eléctrico y una alta resistencia a ácidos, álcalis y disolventes. Estas propiedades dependen del método de polimerización que se allí trabajado en el polímero y en el monómero. Por ejemplos los plásticos de polímeros orgánicos se pueden deformar con mayor facilidad apoyado por un medio como la extrusión, el moldeo, el hilado, etc., para obtener la forma deseada; en cambio con los polímeros artificiales o modificados aporta mejores propiedades ya que pueden venir acompañados de aditivos como las fibras, cargas, pigmentos y otros componentes similares. Entre los plásticos más comunes encontramos a los termoplásticos, los termoestables y los elastómeros (Meneses et al., 2007, pp. 58-59; Espinosa, 2014, p. 1; Díaz del Castillo, 2012, p. 4).

- **Termoplásticos:** Este plástico al calentarse se ablandan y al enfriarse recuperan su dureza, todo este proceso se puede llevarse a cabo sin perder las propiedades del polímero.
- **Termoestables:** Este experimenta una transformación química durante su elaboración la cual se llama fraguado, que hace que se pueda moldear una sola vez.
- **Elastómeros:** Este material tiene una elasticidad única, ya que puede estirarse 8 veces su longitud y volver a su forma cuando se deje de ejercer la presión a la que se le somete (Espinosa, 2014, p. 2).



Figura 2-10: Plásticos

Fuente: (Sánchez, 2021)

2.2.4.1. Fundas plásticas para empaque de alimentos

El empaque plástico es un material que permite contener, proteger y/o preservar los alimentos en su interior desde el momento del empaquetado hasta la llegada al consumidor (Thompson, 2009). Este producto es una herramienta óptima para la conservación de alimentos, ya que permite alargar la frescura de los alimentos y protegerla de cualquier contaminante externo como los microorganismos, mohos, humedad y rayos UV (Pinasco, 2019).



Figura 2-11: Fundas plásticas para empaque de alimentos

Fuente: (Plastife Quito, 2021)

2.2.5. *Plástico biodegradable*

Los plásticos biodegradables son materiales que están compuestos por materias primas naturales como: el trigo, maíz, soja, papas, yucas o plátanos. Este tipo de polímero es capaz de formar estructuras químicas que facilitan su degradación por acción de microorganismo como los hongos, las algas y las bacterias bajo condiciones que ocurren naturalmente en el medio ambiente. Es decir, el plástico puede reintroducirse en el ciclo natural como un tipo de abono, ya que al momento de ser desechados comienzan un proceso de oxidación el cual convierte al plástico en agua, dióxido de carbono y biomasa, los cuales son beneficiosos para el suelo (García, 2015, pp. 20-21; Manjón, 2019; Ecoplas, 2020, p. 4; Quimisor, 2022).



Figura 2-12: Esquema de la biodegradación del plástico biodegradable

Fuente: (Ecoplas, 2020, p. 4)

2.2.5.1. Ventajas del plástico biodegradable

Las principales ventajas que ofrece este tipo de material son:

- Tienen un tiempo de vida útil de 2 años desde su fabricación
- Reducen las emisiones de residuos en el medio ambiente
- Se pueden compostar sin generar toxinas
- Pueden ser extruidos, inyectados, soplados, termoformados, impresos y sellado al calor para formar diversidad de productos tanto flexibles como rígidos.
- Permite a las empresas reducir las huellas de carbono (Quimisor, 2022).



Figura 2-13: Plástico biodegradable con cáscara de fruta

Fuente: (Juárez, 2018)

2.2.5.2. Tipos de plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables se dividen en dos categorías que son:

- **Bioplásticos.** – Se obtienen a partir de materias primas renovables
- **Plásticos fabricados con aditivos biodegradables.** – No son 100% de materia primas renovables, sino que contienen un parte un 30% de componen petroquímicos que hacen mejorar su biodegradabilidad (Manjón, 2019).

A continuación, en la tabla 2-6 se muestran unos ejemplos de tipo de plástico biodegradables.

Tabla 2-6: Tipos de plásticos biodegradables y sus aplicaciones industriales

Origen	Tipo	Aplicaciones
Sintético	PBS (Succinato de Polibutileno)	Ideal para botellas, bandejas y empaques
	PES (Polietersulfona)	Muy utilizado en la industria farmacéutica y alimentaria por ser un material hidrofílico
	PBAT (Polibutileno de tereftalato adipato)	Utilizados en la industria alimentaria por ser flexibles, transparentes y tolerantes al calor
	PCL (Policaprolactona)	Se utilizan para hacer films por su alta resistencia
	TPS (Almidón termoplástico)	Utilizados en la industria alimentaria, agrícola, farmacéutica y textil por ser una mezcla de poliésteres
Biológico	PLA (Ácido poliláctico)	Se lo emplea en la industria textil, médica, alimentaria, y de empaquetados.
	PHA (Polihidroxialcanoatos)	Se lo aplica en la industria farmacéutica, biomédica, alimentaria, de empaquetados, etc.
	Bioplásticos basados en almidón	Utilizado en la industria de empaquetados.
	Bioplásticos basados en celulosa	Ideal para hacer etiquetas y tapones

Fuente: (Gonzales, 2019)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

2.2.5.3. Diferencia entre el plástico tradicional y el plástico biodegradable

Actualmente, los plásticos biodegradables han tomado fuerza en las diferentes industrias. Y las empresas en su mayoría prefieren adquirir un bioplástico que un plástico tradicional. Debido a esto se ha ido descubriendo las diferencias de utilizar un plástico degradable a comparación de un convencional (ZEAplast, 2012a).

En la tabla 2-7, se describen algunas diferencias entre los plásticos tradicionales y los biodegradables:

Tabla 2-7: Diferencias entre plásticos convencionales y plásticos biodegradables

Características	Plásticos Tradicionales	Plásticos Biodegradables
Degradable al 100%	No	Si
Transparente	Si	No
Moldeable	Si	Si
Resistente a la humedad	Si	Parcialmente
Impermeables	Si	Si
Resistente a la corrosión	Si	Si
Baja densidad	Si	Si
Ayuda a disminuir la contaminación	No	Si

Aislante eléctrico	Si	Si
Tiempo máximo de degradación	Mayor a 500 años	1 año
Reciclable	No	Si

Fuente: (Pizá et al., 2017, p. 37)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

2.2.5.4. Componentes para la elaboración de bioplástico

La producción de plástico biodegradable a partir del almidón implica la adición de diversos reactivos a la mezcla para garantizar las condiciones óptimas durante su fabricación. En este proceso, los bioplásticos requieren la incorporación de elementos como plastificantes, espesantes, lubricantes y otros componentes. Estos aditivos contribuyen a fortalecer la resistencia y durabilidad del material, al mismo tiempo que complementan las características de biodegradación (Guamán, 2019, p. 19).

2.2.5.4.1. Plastificante

Según lo estipula la norma ASTM D883, “un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesamiento y mejorar su flexibilidad o distensibilidad” (Guamán, 2019, p. 20).

El plastificante es una sustancia o material que se añade a un plástico con el propósito de incrementar su flexibilidad, facilidad de manipulación o extensibilidad. No obstante, su influencia no se limita únicamente a modificar las propiedades físicas y el proceso de vulcanización del material. También juega un papel en la mejora del proceso de fabricación, en la reducción de la temperatura de transición y en la modificación del módulo elástico del plástico. Es importante señalar que los plastificantes contribuyen a mejorar características como la resistencia al fuego, las propiedades estéticas, la durabilidad, la adherencia, la incorporación de otros materiales y el procesamiento a bajas temperaturas, logrando un flujo más eficiente en este último caso (Mexpolimeros, 2018). También la mayoría de los plastificantes confieren elasticidad a la película plástica, lo que resulta en un incremento de su maleabilidad y de su capacidad para permitir el paso del vapor de agua a través de ella (Caiza, 2021, p. 15).

- **Glicerina**

La glicerina con fórmula molecular $C_3H_8O_3$ es una sustancia líquida incolora de aspecto viscosa, dulce al paladar y con un olor característico, es muy utilizada en la industria por ser un compuesto alcohólico con tres grupos hidroxilos (-OH) e higroscópico la cual le da la capacidad de ceder o

absorber humedad en el medio donde se encuentra. Esta sustancia no es tóxica, ni irritante, lo que la hace segura para el consumo humano, por lo que se la encuentra en todo tipo de aceites y grasas tanto de animal como vegetal siempre y cuando el producto este asociado con los ácidos grasos como el oleico o esteárico. Por otra parte, es un producto soluble en agua y tiene un sistema capaz de biodegradarse y descomponer al llegar al punto de ebullición (290°C) (Méndez, 2010). A este tipo de sustancia se la considera como un plastificante que le da suavidad y humectación al almidón (Guamán, 2019, p. 20). Aparte de incrementar el espacio intermolecular al disminuir los enlaces de hidrógeno interno al mismo tiempo que evita el agrietamiento de los bioplásticos durante la manipulación y el almacenamiento (Caiza, 2021, p. 16).

2.2.5.4.2. Agua destilada

El agua destilada es el producto final después de un proceso minucioso de destilación. Es decir, el agua pura, natural o potable es sometida a un proceso de vaporización y condensación para retirar todo tipo de contaminantes y sales minerales que en esta alberguen, con ello llegando a un estado de máxima pureza libre de microorganismos y contaminantes (Ondarse, 2021b). Este tipo de agua está libre de electrolitos y sales minerales por lo que es prohibido para el consumo humano ya que podría ocasionar deshidratación, diarrea y otras afecciones transitorias. Además, este tipo de sustancia se lo utiliza para desintegrar la estructura del almidón y generar una fécula termoplástica (Guamán, 2019, p. 20).

2.2.5.4.3. Ácido acético

El ácido acético con fórmula molecular $C_2H_4O_2$ es una sustancia líquida incolora, con un olor característico y un sabor agrio, es utilizado en la industria por ser un compuesto orgánico con un grupo metilo (CH_3) y un grupo carboxilo ($COOH$) unidos por un enlace simple, también por ser una sustancia ácido-orgánica que se caracteriza por tener presencia en la composición del vinagre. Este compuesto es cristalino y soluble en agua, sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de la manipulación ya que es un material inflamable y corrosivo (Ondarse, 2021a). El vinagre se utiliza como un adictivo el cual “actúa como un modificador químico, ya que reduce la naturaleza hidrofílica del almidón, otorgándole particularidades hidrofóbicas al material” (Guamán, 2019, p. 21).

2.2.5.4.4. Maicena

La maicena también conocida como fécula o almidón es un polvo fino extraído de la harina de maíz, que es utilizado en diversas áreas. Una de la más conocida es el área de la cocina donde se

utiliza como espesante (delMaíz, 2023). La maicena se utilizará como un espesante en este procedimiento para dar consistencia a la mezcla.

2.2.5.4.5. Carboximetilcelulosa CMC

La carboximetilcelulosa (CMC) es un éter derivado de la celulosa que presenta excelentes propiedades para la creación de películas plásticas biodegradables. Estas cualidades incluyen higroscopicidad, inocuidad, alta viscosidad en soluciones diluidas, y su origen natural garantiza que no tenga un impacto negativo en el entorno ecológico. Al provenir de materiales naturales, es fácilmente biodegradable y puede transformarse en humus. Este componente potencia la eficacia del plastificante al mejorar características mecánicas como la elongación, resistencia a la tracción, solubilidad y permeabilidad (Caiza, 2021, p. 16).

2.2.6. *Fundamentos para la caracterización del plástico biodegradable*

2.2.6.1. *Determinación de la humedad*

La humedad es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire, aunque esta puede variar por diferentes factores ambientales, por ejemplo, fuentes de aguas como lagos, mares, vegetación o la ausencia de estos, también por la variación de agua después de una lluvia. Es decir, no todo lugar tendrá la misma humedad, ya que, si tiene presencia de agua, la misma puede calentarse y evaporarse haciendo que el medio sea más húmedo (Concepto, 2020).

El procedimiento más recurrente para estipular la humedad contenida en los productos es por el método termogravimétrico por pérdida durante el secado, esta técnica consiste en calentar la muestra y documentar la pérdida de peso hasta llegar a un peso constante, ya que así se evapora toda el agua que contiene el producto, determinado con esto la cantidad de vapor de agua. Este método se realiza por dos tecnologías como lo son el analizador de humedad y el horno de secado, en conjunto con una balanza (Mettler Toledo, 2023).

2.2.6.2. *Determinación del espesor*

Al espesor se lo conoce por dos distintos conceptos, el primero estipula que es el grosor, ancho, o abultado de un elemento, mientras que el segundo menciona que es la densidad o la condensación de una sustancia (Pérez y Gardey, 2017). En cambio, en ingeniería se define al espesor como la resistencia o elasticidad que tiene un material y esta puede ser medida por un micrómetro (Guamán, 2019, p. 22).

2.2.6.3. Determinación del ensayo de resistencia a la tracción

Según la norma INEN 2637, el ensayo de tracción permite determinar el punto final de degradación, es decir que permite ver el punto de fragilidad de las películas o láminas degradable de polietileno/polipropileno. A su vez permite ver las propiedades de elongación por tracción las cuales pueden variar según el espesor de la muestra, el método de elaboración, la velocidad de la prueba, el tipo de mordaza utilizada y la forma en la que se mide la extensión del ensayo. Por lo tanto, estas pruebas determinan la resistencia a la tracción y la deformación a la rotura que pueda soportar el material en cuestión (Guamán, 2019, p. 22).

2.2.6.4. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua

A la permeabilidad se la define como la velocidad de transferencia de vapor agua por la unión del “área del material y por la unión de diferencia de presión entre dos superficies bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad” (Guamán, 2019, p. 22).

Según la norma ASTM E96 determinación de la trasmisión de vapor de agua (WVT) de materiales, indica que se puede obtener valores fiables a través de aparatos simples con materiales permeables y semipermeables (Guamán, 2019, p. 22).

2.2.6.5. Determinación de la biodegradabilidad

La norma ASTM D-5488-94 determina que la biodegradabilidad es la capacidad que tiene un material en descomponerse en agua, metano, dióxido de carbono, biomasas o compuestos inorgánicos, siendo el mecanismo predominante la acción enzimática de los microorganismos, las cuales pueden medirse con ensayos estándares, los que reflejaran las condiciones de eliminación (Meneses et al., 2007, p. 61).

También la norma europea EN 13432 define que los productos finales de origen orgánico deben desintegrarse en un 90% en un máximo de 12 meses dejando fragmentos pequeños y tienen que descomponerse en presencia de oxígeno y sin oxígeno donde general lo siguiente compuestos:

- Descomposición anaeróbica (sin oxígeno): Dióxido de carbono, metano y biomasa
- Descomposición aeróbica (con oxígeno): Dióxido de carbono, Agua y biomasa

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización del proyecto

El presente proyecto técnico será desarrollado en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, en los laboratorios de biorremediación e bromatología pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que se encuentra ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½, cuyas coordenadas de longitud son 78° 40' 20" y una altitud de 2815 msnm.

Tabla 3-1: Ubicación y caracterización geográfica de la ESPOCH

Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Altitud	2815 msnm
Coordenadas	78° 40' 20"
Ubicación	Panamericana Sur km 1 ½

Fuente: Google maps

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

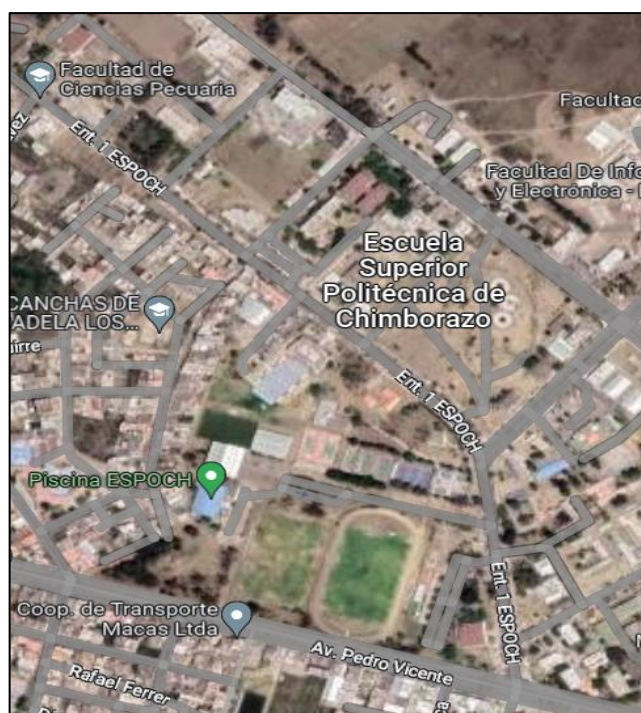


Figura 3-1: Localización geográfica de la ESPOCH

Fuente: Google maps

3.2. Ingeniería del proyecto

A continuación, se describen los pasos específicos para el correcto desarrollo del proyecto técnico.

3.2.1. Tipo de estudio

El presente proyecto titulado diseño de un proceso industrial para la obtención de plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la empresa ROLDEG SA Ecuador, es de modelo técnico-experimental el cual se basará en investigaciones y experimentos tanto teóricos como prácticos, manejando tres métodos que son el inductivo, deductivo y experimental. También se operarán técnicas para la selección de la materia prima, la extracción del almidón y la obtención del producto final. Por otra parte, se definirán variables, procesos y operaciones unitarias que intervengan en la fabricación del plástico biodegradable a partir de la materia prima estipulada, a través de ensayos simulación a escala laboratorio.

3.2.1.1. Estudio experimental

Para la obtención del plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*), es necesario controlar los procesos, variables y operaciones que se requieran al momento de la obtención del producto final los cuales son: la selección, el lavado, el pesado, el blanqueado, el secado, la molienda, el triturado, el tamizado, el mezclado, la cocción, el moldeado y nuevamente el secado. Este proceso se realizará hasta conseguir una buena eficiencia y rendimiento, para esto se realizarán experimentos a nivel laboratorio donde se experimentará en la extracción del almidón con dos diferentes métodos y variaciones en la formulación del bioplástico, seguido de un diseño experimental aplicando la metodología para la obtención de datos.

3.2.2. Métodos y técnicas

3.2.2.1. Métodos

Los métodos considerados para elaborar este proyecto técnico son el deductivo, inductivo y experimental, los mismos que sirvieron para proporcionar datos e información, y establecer las operaciones unitarias, los procesos y las condiciones factibles en cada etapa, mismas que están sustentadas por estudios previos realizados a nivel laboratorio.

- **Método Deductivo.** – Este método nos permitió conocer los principios y procedimientos que se utilizan a la hora de aplicar este diseño a escala industrial para la fabricación del plástico

biodegradable a partir de cáscara de banano (*Musa paradisiaca*), y con ello adaptarlo a la empresa ROLDEG SA Ecuador. Para elaboración de este producto fue necesario obtener variables, parámetros, procesos y operaciones, los cuales se adaptan en el proceso de producción en el caso de ser requeridos.

- **Método Inductivo.** – Este método se empleó para conocer los procedimientos adecuados para el desarrollo industrial del plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano, para lo cual se inició con la selección de la materia prima adecuada (cáscara de banano en un estado óptimo), luego se procede a la caracterización de la misma, con eso podemos dar constancia de la excelente calidad del producto final.

- **Método Experimental.** – Con este método se usaron equipos e instrumentos de laboratorio que nos llevaron a la obtener el plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano, con el fin de cumplir con los requisitos que se establecen en las normas NTE INEN 2643:2012 Especificación para plásticos compostables y NTE INEN 2635:2012 Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas delgadas.

3.2.2.2. Técnicas

Las técnicas desarrolladas fueron: la revisión de la materia prima, la caracterización físico-química de la cáscara de banano, la extracción de almidón de la cáscara de banano, caracterización física-química del almidón obtenido y pruebas físico-químicas y mecánicas del plástico biodegradable.

- **Revisión de la materia prima**

La empresa ROLDEG SA Ecuador recibe banano convencionales y orgánicos en estado verde, estos pasan a un proceso de maduración para obtener un producto óptimo para la producción de snacks, pures o harinas, una vez obtenido el producto maduro estos son pelados manualmente para continuar con el proceso de producción, en cambio la cáscara de banano es desechada. En este punto, comienza la recepción de la materia prima para este proceso, donde se selecciona a las cáscaras adecuadas para obtener un producto de buena calidad.

- **Caracterización físico-química de la materia prima**

Para la caracterización físico-química de la materia prima (cáscara de banano) no existen normas específicas, por tal razón estos estudios y análisis se realizaron a través de caracterizaciones físico-

química de la materia prima encontradas bibliográficamente. Las pruebas se centraron en el control sensorial, el pH, la humedad y los sólidos solubles totales.

Tabla 3-2: Técnicas analizadas en la materia prima

Análisis	Materiales y equipos	Procedimiento
Control sensorial	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de ensayo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la materia prima 2. Analizar color, textura, olor y materiales extraños. 3. Si cumple con la especificación optima se acepta el producto, caso contrario se rechaza
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitación de 100 ml • Licuadora • Potenciómetro pH 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la cáscara de banano 2. Licuarla en 50 ml de agua destilada 3. Colocar la mezcla en un vaso de precipitación 4. Verificar si el potenciómetro esta calibrado 5. Colocar los electrodos del potenciómetro dentro del vaso de precipitación, sin estar en contacto con las paredes del recipiente 6. Anotar el valor marcado en el potenciómetro
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Secador de bandejas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la cáscara de banano 2. Colocarla en el secador de bandeja a una temperatura de 55 °C 3. Ir controlando el peso cada 2 horas hasta tener un peso constante 4. Determinar el peso perdido 5. Calcular la humedad con $\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg)}}{\text{Masa total producto húmedo (kg)}} * 100$ 6. Anotar lo establecido en el cálculo
Sólidos solubles totales	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitación 100 ml • Licuadora • Refractómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la materia prima 2. Licuarla en 50 ml de agua destilada 3. Colocar una pequeña muestra en el refractómetro digital 4. Anotar el valor marcado

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

• **Técnicas para la extracción del almidón**

La extracción del almidón de la cáscara de banano se puede realizar por dos métodos los cuales son por vía húmeda y por vía seca. En este procedimiento se realizaron dos métodos por vía húmeda y uno por vía seca.

Tabla 3-3: Técnicas para la extracción del almidón de la cáscara de banano por vía seca

Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Secador de bandeja • Cuchillo • Recipiente de 6 L • Papel aluminio • Tamiz malla 120 • Molino • Varilla de agitación • Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de banano • Ácido cítrico o peróxido de hidrogeno V. 30 • Agua purificada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepción y selección de la materia prima cumpliendo con las características adecuadas 2. Lavado con agua clorada y luego con agua de potable 3. Pesado 4. Colocado en una bandeja con concentración de ácido cítrico por 30 minutos o en peróxido de hidrogeno por 2 horas. 5. Colocado en bandejas en troceado 6. Secado. Se coloca las cáscaras a una temperatura de 70°C por un día o hasta que se encuentren en un estado crocante 7. Sacado de la estufa para el temperado 8. Molienda. Se procede a la molienda de las cáscaras 9. Tamizado. Se tamiza por el tamiz malla 120 10. Finalmente se almacena la muestra

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 3-4: Técnica para la extracción del almidón de la cáscara de banano por vía húmeda

Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Licuadora • Recipientes de 6 L • Cedazo • Media nylon • Secador de bandejas • Bandejas de aluminio • Mortero • Tamiz malla 120 • Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de banano • Agua purificada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepción y selección de la materia prima cumpliendo con las características adecuadas 2. Lavado con agua clorada y luego con agua de potable 3. Pesado, troceado y colocado en licuadora con una cantidad de agua. 4. Filtrado por dos filtros primero por un cedazo y luego por medias nylon 5. Sedimentado por 24 horas 6. Pasado el tiempo se desecha el agua superficial y se conserva los sedimentos al cual se le coloca agua purificada y deja reposar por 2 horas 7. Pasado el tiempo se desecha el agua y se coloca nueva agua, así hasta obtener un agua en tono claro. 8. El sedimento obtenido se seca a 60°C por 24 horas 9. Triturado. Secado el sedimento se tritura en un mortero 10. Tamizado. Se tamiza en tamiz malla 120 11. Finalmente se almacena la muestra

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Caracterización física-químicas del almidón**

Al almidón obtenido por tres maneras: 2 por vía seca y 1 por vía húmeda. Se le realiza una caracterización física-química donde se observarán si cumple con el estándar del tamaño de gránulo para ser considerado almidón y poder ser utilizado en la realización del plástico biodegradable, en caso de no cumplir se reingresará a un nuevo triturado hasta obtener el tamaño deseado. Aparte se evaluará otras características físico-químicas como: el control sensorial, humedad, pH, solubilidad, viscosidad y temperatura de gelatinización; que no interfieren en la obtención del producto final.

Tabla 3-5: Técnicas analizadas en el almidón

Análisis	Materiales y equipos	Procedimiento
Control sensorial	<ul style="list-style-type: none"> • Envases 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la materia prima 2. Analizar color, textura, olor y sabor. 3. Anotar los datos registrados
Tamaño de la partícula	<ul style="list-style-type: none"> • Tamices 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar el almidón y colocarlo en el tamiz más grande 2. Mover los tamices de un lado para otro por 5 minutos 3. Anotar los pesos obtenidos en cada tamiz
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Crisol • Balanza analítica • Desecador • Pinzas • Estufa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar el crisol en una balanza analítica (C) y anotar dato 2. Colocar 2g de muestra del almidón en el crisol (CM) 3. Colocarla en el secador de bandeja a una temperatura de 105 °C por 3 horas 4. Pasado el tiempo se toma el crisol con unas pinzas y se coloca en el desecador (con desecante en el fondo) hasta obtener una temperatura ambiente 5. Alcanzada la temperatura se saca el crisol y se pesa con este dato se determina la humedad del almidón (CMS) 6. Calcular la humedad con $\% \text{ Humedad} = \frac{CMS - C}{CM - C} * 100$ 7. Anotar lo establecido en el cálculo
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación • Agitador • Reverbero • Potenciómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar 5 g de la muestra de almidón 2. Añadir 100 ml de agua destilada a una temperatura de 25 °C 3. Agitar hasta obtener una masa homogénea y sin grumos 4. Dejar reposar la mezcla por 10 minutos 5. Verificar si el potenciómetro esta calibrado 6. Colocar los electrodos del potenciómetro dentro del vaso de precipitación, sin estar en contacto con el recipiente 7. Anotar el valor marcado en el potenciómetro
Solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Baño maría • Centrifuga 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar 1,25 g de almidón en los tubos de ensayo 2. Añadir 30 ml de agua destilada y agitar 3. Prender el baño maría y programar a los 60 °C

	<ul style="list-style-type: none"> • Estufa • Tubos de centrifuga • Vaso de precipitación • Pipeta volumétrica • Pipeteador 	<ol style="list-style-type: none"> Colocar los tubos de ensayo en el baño maría por 10 minutos Sacar los tubos, agitarlo levemente y regresar al baño maría por 20 minutos Pasado el tiempo, se saca los tubos de ensayo y se deja reposar hasta llegar a temperatura ambiente Luego se coloca los tubos en una centrifuga a 4900 RPM durante 30 minutos Pasado el tiempo se saca los tubos y se toma 10 ml del líquido en un vaso de precipitación de 25 ml y la muestra restante se toma el peso Colocarlo en una estufa a una temperatura de 70°C por 12 horas Pasado el tiempo, se deja enfriar el recipiente y se toma el peso Calcular el índice de solubilidad en agua $ISA = \frac{Ps \times V \times 10}{Pm}$ <p>Donde: ISA: Índice de solubilidad en agua Ps: Peso del almidón soluble V: Volumen obtenido luego de centrifugar Pm: Peso muestra seca</p> Anotar lo establecido en el cálculo
Viscosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Viscosímetro • 2 vasos de precipitación • Reverbero 	<ol style="list-style-type: none"> Tomar 5 g de almidón Añadir 100 ml de agua destilada Agitar la solución y colocarla a baño maría hasta alcanzar hervor Dejar enfriar la mezcla hasta los 25 °C Tomar la viscosidad con el viscosímetro Anotar el valor marcado
Temperatura de Gelatinización	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • 2 vasos de precipitación • Reverbero • Varilla de agitación 	<ol style="list-style-type: none"> Tomar 5 g de almidón Añadir 50 ml de agua destilada Mezclar la muestra hasta la disolución Tomar 25 ml de la suspensión y colocarla a baño maría a una temperatura de 85 °C Agitar constantemente hasta formar una pasta Anotar el valor marcado por el termómetro al momento de obtener la pasta

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

• Caracterización físico-química del plástico biodegradable

Las técnicas empleadas para la caracterización físico-química del plástico biodegradable fueron realizadas en los laboratorios de Biorremediación y Bromatología; los cuales se encontraban en la facultad de ciencias de la ESPOCH.

Tabla 3-6: Técnicas fisico-químicas analizadas al plástico biodegradable

Análisis	Procedimiento
Humedad	<p>Este tipo de análisis se lo calcula gravimétricamente</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Primero se coloca los crisoles a la estufa a una temperatura de 105 °C por dos horas 2. Se saca los crisoles y se colocan en el desecador 3. Pesar los crisoles fríos 4. Toma una muestra de la película de plástico, colocarla en los crisoles y nuevamente volver a pesar a temperatura ambiente 5. Luego se colocan los crisoles en la estufa a temperatura de 105°C por 2 horas 6. Pasado el tiempo se saca las muestras y se pesa 7. Repetir el procedimiento hasta que se tenga una temperatura constante 8. Se calcula con la formula el porcentaje de humedad: $\%Humedad = \frac{pi - pf}{pf} * 100$ <p>Donde: pi: peso inicial de la muestra (g) pf: peso final de la muestra (g)</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Para mayor certeza se realiza el ensayo por triplicado
Solubilidad en agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar muestras de plástico biodegradable 3 cm x 3 cm y pesar 2. Las muestras se colocan en vasos plásticos con 80 ml de agua destilada y se tapan bien 3. Los vasos se colocan en el Shaker a 200 rpm por una hora 4. Se retirar del Shaker y se filtran para eliminar el agua, luego se la coloca en un papel filtro y después se colocan en la estufa a 40 °C hasta notar que se encuentra seco 5. Luego se aumenta la temperatura a 105 °C y se controla hasta tener un peso constante 6. Una vez seco se pesa nuevamente la muestra 7. Se calcula con la fórmula de porcentaje de solubilidad $\%S = \frac{piseco - pfseco}{piseco} * 100$ <p>Donde: pi: peso inicial seco de la muestra (g) pf: peso final seco de la muestra (g)</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Para mayor certeza se realiza el ensayo por duplicado
Permeabilidad al vapor de agua	<p>Este análisis se basa en la norma ASTM-E96/96-M05 con condiciones de 75% HR a una temperatura de 25 °C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se dejan activando la sílica gel por 24 horas hasta obtener una humedad relativa del 0% 2. Esta activación se hace por triplicado, obtenida la humedad se lavan los tubos de ensayo 3. Se cortan las muestras de bioplástico en una dimensión 3 x 3 cm 4. Luego se llenan ¾ partes de 8 tubos de ensayos con sílica gel 5. Se tapa los tubos con los trozos de plásticos (asegurándose que no entre aire), luego se sujeta con ligas y se asegura cinta masking. 6. Se pesa los tubos y se registra los pesos 7. Se coloca los tubos en el desecador, en el cual se encuentra una solución de agua con sal saturada con una humedad relativa de 50% 8. Los tubos se pesan uno a uno cada hora hasta completar las 6 horas 9. Pasado el tiempo se calcula la permeabilidad con la siguiente formula

	$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$ <p>Donde:</p> <p>WVP: Permeabilidad al vapor de agua</p> <p>P₂: peso final de la lámina</p> <p>P₁: peso inicial de la lámina</p> <p>e: espesor de la lámina</p> <p>t: tiempo de determinación</p> <p>pv: presión de vapor del proceso</p> <p>φ₁: Humedad relativa al interior de la celda</p> <p>φ₂: Humedad relativa de la cámara con NaCl saturado</p> <p>10. Para mayor certeza se realiza el análisis por duplicado</p>
Biodegradabilidad	<p>Se evalúa por método gravimétrico en condiciones aeróbicas y anaeróbicas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se cortan muestras en dimensiones de 3 x 3 cm 2. Se coloca en recipiente donde contengan agua, tierra y aire. 3. Se deja por 10 días y se evalúa la pérdida de peso cada 2 días 4. Pasado el tiempo se calcula la pérdida de peso con la siguiente formula $\%pp = \frac{pis - pfs}{pis} * 100$ <p>Donde:</p> <p>%pp: pérdida de peso</p> <p>pis: peso inicial seco</p> <p>pfs: peso final seco</p>

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

• Caracterización mecánica del plástico biodegradable

Las técnicas empleadas para la caracterización mecánica del plástico biodegradable fueron realizadas en la instalación de LenMaV (Laboratorio de ensayo de materiales), basándose en la Norma Inen 2635:2012.

Tabla 3-7: Técnicas mecánicas analizadas al plástico biodegradable

Análisis	Procedimiento
Espesor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recortan 8 muestras con medidas de 3 cm x 3 cm 2. Se mide el grueso de la lámina con un pie de rey, con una resolución de 0,002 cm. 3. Se registra las medidas y se saca un promedio
Resistencia a la tracción	<p>Este ensayo se realiza mediante la norma INEN 2635:2012</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se comienza realizando una probeta tipo A como se señala en el ANEXO J imagen a 2. Esta probeta obtenida (ANEXO J imagen b) se coloca en un equipo universal de pruebas de tracción

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Este equipo realiza un ensayo que consiste en deformar la probeta a lo largo de su eje mayor, a velocidad constante aplicando una fuerza determinada hasta que la probeta se rompa o hasta que la carga o el alargamiento alcancen un valor previamente. 4. Con ello se analizan características del plástico como el espesor, anchura, longitud inicial, sección transversal, módulo de elasticidad, carga de fluencia, carga máxima, esfuerzo máximo y porcentaje de elongación 5. Cada muestra se realiza por triplicado y cada una tiene un análisis diferente
--	---

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.3. Procedimiento a escala laboratorio

Para establecer el proceso industrial y llegar a la formulación adecuada para elaborar el plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano, se realizaron varias pruebas a nivel laboratorio con técnicas establecidas por algunos artículos relacionadas con la elaboración de bioplástico y con ello se llegó a la formulación adecuada.

3.2.3.1. Selección de materia prima

Para empezar con el procedimiento experimental a nivel laboratorio, se hizo un análisis previo al producto que procesaba la empresa ROLDEG SA Ecuador, donde se recabo que procesan dos tipos de banano los convencionales y los orgánicos. Cada uno cumple con los estándares de calidad antes de ingresar a la empresa, aunque este fruto se recibe en estado verde, pasa por un proceso de maduración para tomar un color amarillo característico del fruto maduro, luego la pulpa y la piel son separados para una continua con el proceso y la otra ser desechada.

A partir de la cáscara desechada se comenzó tomando muestras por in-situ para verificar si cumple con los parámetros de calidad, estas pruebas se realizaron de manera rápida, para evitar la oxidación de la piel del banano y se torne de un color marrón con esto no afectará en la calidad del producto final. En esta simple inspección se analizaron parámetros de calidad donde se consideraban el color, la textura y el olor, las cuales si cumplían se seleccionaban para continuar con el proceso de elaboración.

Tabla 3-8: Requisitos físicos de la materia prima

Parámetros	Características
Color	Por fuera amarillo verdoso y por dentro crema o blanco hueso
Textura	Lisa y suave
Olor	Característico de la fruta fresca
Apariencia	Libre de impurezas, maltratos o materiales extraños

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.3.2. Pruebas preliminares para la materia prima

Una vez adquirida la materia prima y cumpliendo con los estándares requeridos, al llegar al laboratorio se realizaron pruebas preliminares para verificar la calidad de la cáscara del banano. Estas pruebas constan en controlar la humedad, el pH y los sólidos solubles totales, todas estas pruebas realizadas para controlar el tiempo de secado para obtener el almidón por el método seco y la cantidad de materia solidos solubles que se pueden sedimentar para obtener el almidón por el método húmedo.

En la tabla 3-9, se describen los materiales y equipos que se utilizaron para realizar las pruebas preliminares y el procedimiento se especifica en la tabla 3-2 (Técnicas analizadas en la materia prima).

Tabla 3-9: Materiales y equipos utilizados en las pruebas preliminares de la materia prima

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none">• Cáscara de banano• Agua destilada• Recipientes• Cuchillo	<ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica• Secador de bandejas• Licuadora• Potenciómetro pH y refractómetro

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.3.3. Descripción de las formulaciones para la obtención del almidón

Para este estudio se establecieron tres métodos dos por vía seca y uno por vía húmeda. El estudio por vía seca se sometió a dos distintos tratamientos de blanqueado, en cambio por vía húmeda no necesita tratamiento de blanqueo.

- **Formulación de la materia prima**

Para obtener el almidón se utilizaron tres diferentes formulaciones, con la misma cantidad de materia prima inicial, con el fin de observar todos los gastos, insumos y equipos que involucran al realizar cada tratamiento, con eso poder cuantificar el rendimiento total que se obtiene al extraer almidón por cada uno de los métodos y verificar el más eficiente.

Tabla 3-10: Formulación de la materia prima para la obtención del almidón

Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
<ul style="list-style-type: none">• 3 kg de cáscara de banano• 5 L de agua purificada• 128,3 g de ácido cítrico	<ul style="list-style-type: none">• 3 kg de cáscara de banano• 5 L de peróxido de hidrogeno V. 30	<ul style="list-style-type: none">• 3 kg de cáscara de banano• 5 L de agua purificada

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Materiales, equipos e insumos de laboratorio**

Para la experimentación a escala laboratorio en la tabla 3-11 se describen los materiales, equipos e insumos que se utilizaron en el proceso de obtención del almidón.

Tabla 3-11: Materiales, equipos e insumos utilizados en el proceso de la obtención del almidón

Materiales	Equipos	Insumos
<ul style="list-style-type: none">• Varilla de agitación• Cuchillo• Vidrio reloj• Papel de aluminio• Tamices• Recipientes de 6 L• Cedazo o media nylon• Bandeja de aluminio• Fundas ziploc• Mortero	<ul style="list-style-type: none">• Secador de bandejas• Licuadora industrial• Molino• Balanza	<ul style="list-style-type: none">• Cáscara de banano• Ácido cítrico• Peróxido de hidrogeno V. 30• Cloro• Agua destilada• Agua purificada• Agua potable

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Descripción de la formulación del primer método**

En la figura 3-2, se indica el diagrama de flujo para extraer el almidón por vía seca con tratamiento de blanqueo por ácido cítrico.

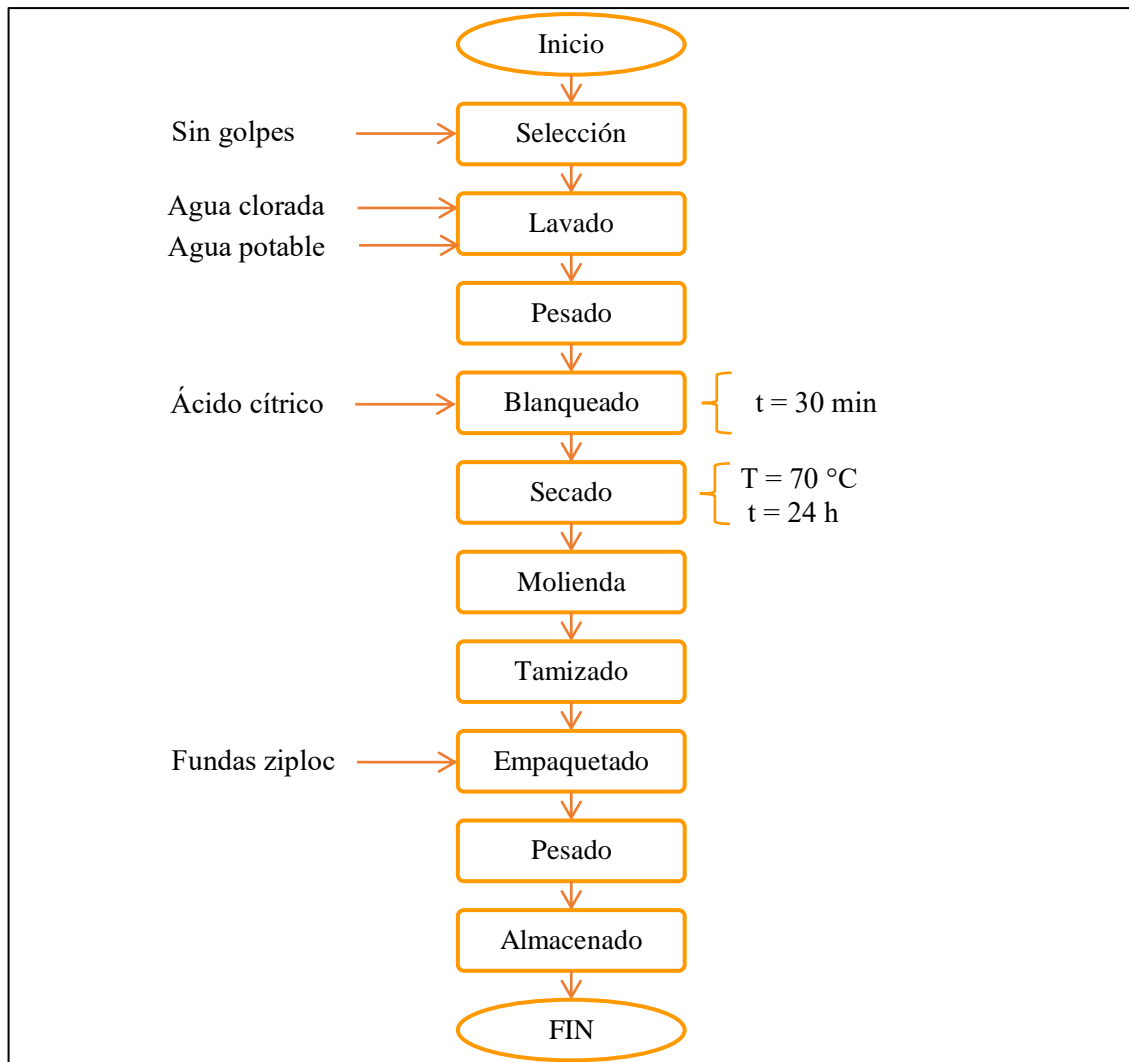


Figura 3-2: Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método seco con blanqueo de ácido cítrico

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Selección de la materia prima: En esta etapa se realizó una inspección sensorial a la materia prima para controlar el olor, el color, la textura y la apariencia. Con eso nos aseguramos una buena calidad para el proceso, toda cáscara con golpes y poco agraciada fue descartada en esta fase.

Lavado: Se comenzó con un lavado en agua clorada, luego pasó a un lavado con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro que haya quedado, con esto se realizó una eliminación de todos residuos, tierra o suciedad que contenían la cáscara.

Pesado: Una vez lavado se dejó en reposo por 10 minutos para eliminar el exceso de agua que adquirió durante el lavado. Luego se pesó para constatar el peso inicial requerido para este tratamiento el cual fue 3 kg de cascara de banano.

Blanqueado: Una vez controlado el peso inicial se pasó al proceso de blanqueado donde se comenzó por preparar la solución de ácido cítrico donde se coloca 25,6608 g por cada litro de agua necesaria para sumergir por completo a las cáscaras. Para nuestro procedimiento se utilizó 5 litros de agua purificado por tanto se colocó 128,304 g de ácido cítrico y se disolvió la mezcla. Luego se colocaron las cáscaras de banano hasta cubrir las completamente y se dejó reposar en la solución por un lapso de 30 minutos, este proceso también sirve como antipardeamiento para evitar la rápida oxidación de las cáscaras.

Secado: Una vez terminado el tiempo de blanqueo se procedió a desechar la solución de ácido cítrico y se colocó las cáscaras en las rejillas previamente envueltas en papel aluminio. Seguido a esto se colocaron las rejillas con la materia prima en la estufa a una temperatura de 70 °C donde se dejó por un período de 24 horas. Si el tiempo pasó y todavía las cáscaras siguen con contenido de humedad se dejan a la misma temperatura por tiempo de cuatro horas o hasta observar que tengan la consistencia crocante.

Molienda: Las cáscaras secas con consistencia crocante se someten a un proceso de molienda.

Tamizado: El material molido se lo tamizó con un tamiz malla 120 mesh o 125 microns y se obtuvieron partículas <0,125 milímetros.

Empacado: Molida las cáscaras, se obtiene el almidón mismo que se empacó en funda ziploc.

Pesado: Una vez empacado el almidón se pesó para constatar el rendimiento por este método.

Almacenado: Finalmente se almacenó el almidón un lugar fresco y seco para evitar el desarrollo de bacterias o microorganismos.

Una vez obtenido el almidón se procede a calcular el rendimiento conseguido por este método con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 3-14. Además, en la tabla 3-15, se presentan los rendimientos globales obtenidos por los tres métodos, asimismo se presentan los costos en insumos involucrados al realizar este procedimiento.

Ecuación 3-1: Rendimiento

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Cantidad de materia que sale del proceso}}{\text{Cantidad de materia que entra en el proceso}} * 100$$

- **Descripción de la formulación del segundo método**

En la figura 3-3, se indica el diagrama de flujo para extraer el almidón por vía seca con tratamiento de blanqueo por peróxido de hidrógeno V. 30.

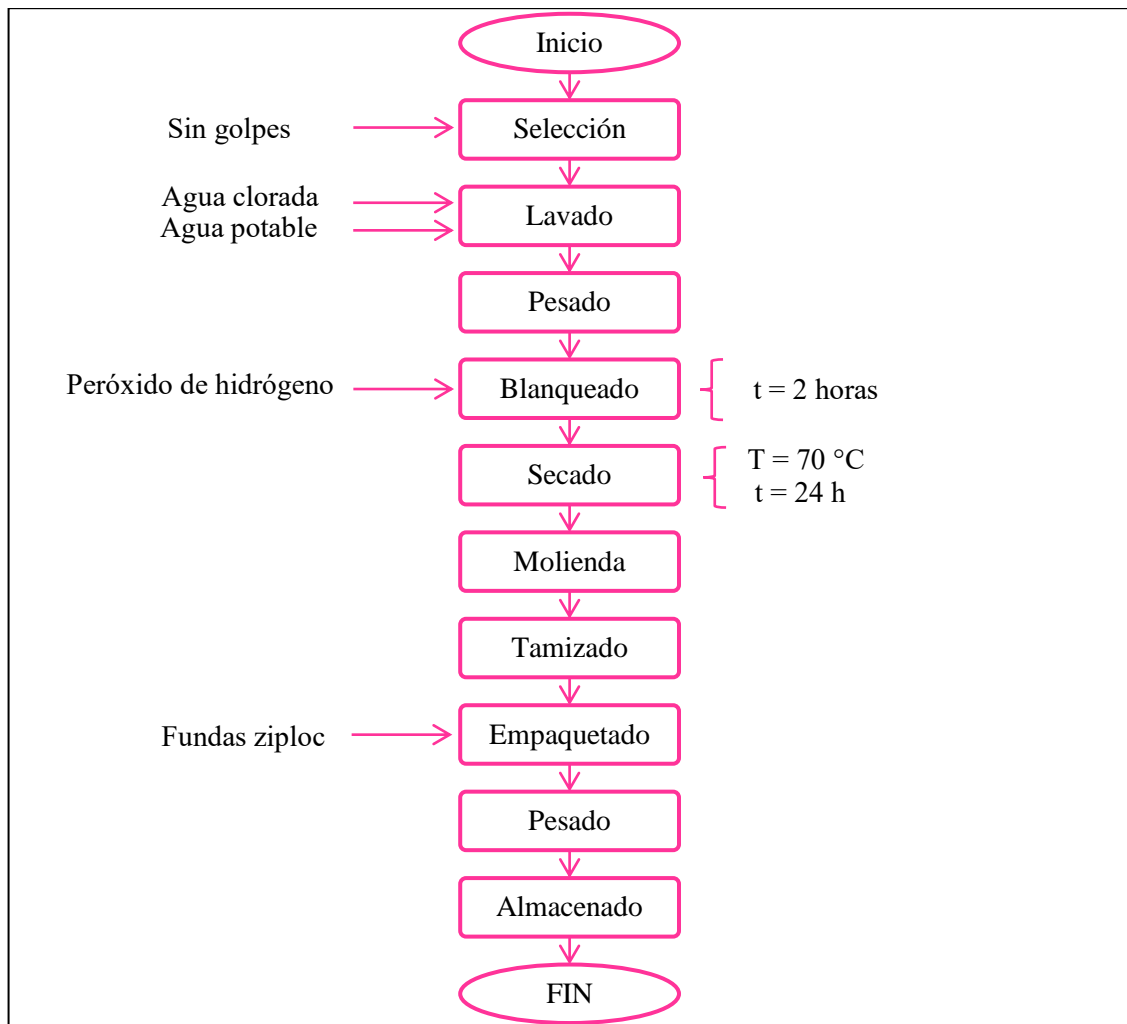


Figura 3-3: Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método seco con blanqueamiento de peróxido de hidrogeno.

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Selección de la materia prima: Se comenzó realizando un control sensorial a la materia prima donde se analizaron el olor, el color, la textura y la apariencia. Con eso nos aseguramos una buena calidad para el proceso, toda cáscara con golpes y poco agraciada fue descartadas en esta etapa.

Lavado: Se comenzó con un lavado en agua clorada, luego se pasó a un lavado con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro que haya quedado. Con esto se realizó una eliminación de todos residuos, tierra o suciedad que haya quedado en la cáscara.

Pesado: Una vez lavado se dejó en reposo por 10 minutos para eliminar el exceso de agua que pudo haber adquirido la cáscara en el momento de lavado. Luego se pesó la materia prima para constatar el peso inicial requerido para este tratamiento el cual fue 3 kg de cascara de banano.

Blanqueado: Para el tratamiento de blanqueamiento se inició con la colocación de las cáscaras de banano en un recipiente de 6 litros, luego se colocó una bandeja debajo del recipiente para evitar derrames a la hora de colocar el peróxido ya que la solución al contacto con las cáscaras de banano genera una espuma blanca. Después de colocar la bandeja se procedió a verter el peróxido de hidrogeno V.30 en el recipiente hasta cubrir completamente las cáscaras, luego se dejó actuar por un lapso de 2 horas.

Secado: Terminado el tiempo de blanqueado, se desechó la solución de peróxido de hidrogeno y se comenzó a distribuir las cáscaras en las rejillas previamente envueltas en papel aluminio. Luego a las rejillas con la materia prima se la colocó en la estufa a una temperatura de 70 °C por 24 horas. Si el tiempo pasó y todavía las cáscaras sigue con contenido de humedad se dejan a la misma temperatura por tiempo de cuatro horas o hasta observar que tengan la consistencia crocante.

Molienda: Las cáscaras secas se sometieron a un proceso de molienda para reducir su tamaño.

Tamizado: El material molido se lo tamizó con un tamiz malla 120 mesh o 125 microns y se obtuvieron partículas menores a 0,125 milímetros.

Empacado: Una vez molida las cáscaras de banano, se obtiene el almidón mismo que se empacó en funda ziploc.

Pesado: Empaquetado el almidón se pesó para calcular el rendimiento obtenido por este método.

Almacenado: Finalmente se almacenó el almidón un lugar fresco y seco para evitar el desarrollo de bacterias o microorganismo.

Una vez obtenido el almidón se procede a calcular el rendimiento conseguido por este método con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 3-14. Además, en la tabla 3-15, se presentan los rendimientos globales obtenidos por los tres métodos, asimismo se presentan los costos en insumos involucrados al realizar este procedimiento.

- **Descripción de la formulación del tercer método**

En la figura 3-4, se indica el diagrama de flujo para extraer el almidón por vía húmeda.

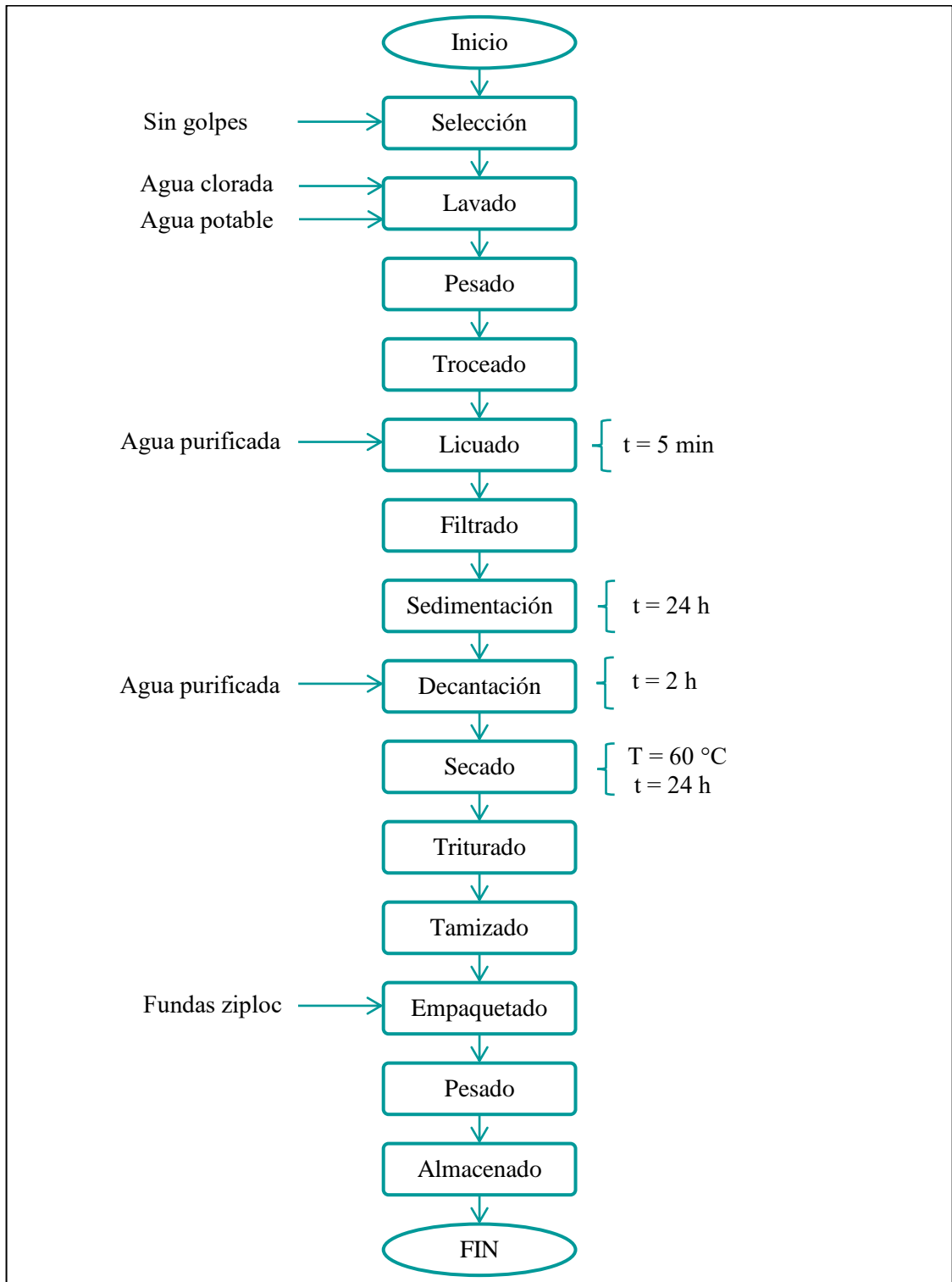


Figura 3-4: Diagrama de flujo de la extracción de almidón por método húmeda

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Selección de la materia prima: En esta etapa se realiza una inspección sensorial a la materia prima para controlar el olor, el color, la textura y la apariencia. Con eso nos aseguramos una buena calidad para el proceso, toda cáscara con golpes y poco agraciada fue descartadas en esta fase.

Lavado: La etapa comenzó con un lavado en agua clorada, luego pasó a un lavado con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro que haya quedado en la cáscara. Con esto nos aseguramos de la eliminación de todos los residuos, tierra o suciedad que haya quedado en la cáscara.

Pesado: Una vez lavado se dejó en reposo por 10 minutos para eliminar el exceso de agua que haya adquirido durante el proceso de lavado. Luego se pesó la materia prima para constatar el peso inicial requerido para este tratamiento el cual fue 3 kg de cascara de banano.

Troceado: Pesada la materia prima, se troceó en tamaños de 5 cm para evitar el dañar del equipo y facilitar esfuerzo en el triturado.

Licuada: Se colocó en la licuadora las cáscaras de banano con agua y se procedió al triturado. Este procedimiento se lo realizó por lotes por un periodo de 5 minutos a una velocidad media-alta, ya que la capacidad del equipo era de 500 g por cada licuada.

Filtrado: Completada la etapa de licuada, la mezcla pasó al filtrado de la cual se utilizó dos distintos filtros. El primero consistió en pasar la mezcla por un cedazo para eliminar los residuos de tamaño considerable, el líquido obtenido pasó al segundo filtrado donde se utilizó una media nylon donde se eliminaron todas las partículas pequeñas que contenía la mezcla.

Sedimentación: El líquido obtenido del filtrado se dejó en reposo por 24 horas, para el proceso de sedimentación donde la parte más densa se asienta en el fondo del recipiente por acción de la gravedad.

Decantación: Terminado el tiempo sedimentación se desechó el agua superior y se conservó el sedimento. A este precipitado se añadió agua purificada y se dejó reposar por dos horas para un decantado. Pasado el tiempo se desechó el agua superior y se volvió a colocar agua al sedimento y repitió este proceso hasta obtener un agua de tono claro.

Secado: Al sedimento obtenido se llevó a un proceso de secado a 60 °C por un período de 24 horas.

Triturado: Pasado el tiempo de secado, el almidón se sometió a un proceso de triturado en un mortero.

Tamizado: Realizado el triturado se tamizó con un tamiz malla 120 mesh o 125 microns y se obtuvieron partículas menores a 0,125 milímetros.

Empacado: Tamizado el almidón se empacó en funda ziploc

Pesado: Empaquetado el producto se pesó para calcular el rendimiento que se obtiene por este método.

Almacenado: Finalmente se almacenó el almidón un lugar fresco y seco para evitar el desarrollo de bacterias o microorganismo.

Una vez obtenido el almidón se procede a calcular el rendimiento conseguido por este método con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 3-14. Además, en la tabla 3-15, se presentan los rendimientos globales obtenidos por los tres métodos, asimismo se presentan los costos en insumos involucrados al realizar este procedimiento.

3.2.3.4. Pruebas preliminares del almidón de la cáscara de banano

Una vez obtenido el almidón se realizaron pruebas preliminares para verificar la calidad del producto. Estas pruebas se centraron en el control sensorial, humedad, pH, solubilidad, viscosidad y temperatura de gelatinización.

A continuación, en la tabla 3-12 se describen los materiales, equipos, reactivos y fórmulas que se utilizaron para su medición, el procedimiento aplicado se describió en la tabla 3-5 (técnicas analizadas en el almidón).

Tabla 3-12: Materiales, equipos, reactivos y fórmulas utilizados para las pruebas preliminares del almidón de la cáscara de banano

Control sensorial y tamaño	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Tubos de ensayo• Tamices• Esfero• Papel	<ul style="list-style-type: none">• Almidón de la cáscara de banano• Agua destilada

Humedad		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> • Crisol • Balanza analítica • Desecador • Pinzas de crisol • Estufa • Esfero • Papel 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano 	<p>Ecuación 3-2: Porcentaje de humedad para el almidón</p> $\%Humedad = \frac{CMS - C}{CM - C} * 100$ <p>Donde: CMS: peso del crisol más la muestra seca (g) CM: peso del crisol más la muestra húmeda (g) C: peso del crisol (g)</p>
pH		
Materiales y equipos	Reactivos	
<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitación 250 ml • Agitador • Reverbero • Potenciómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano • Agua destilada 	
Solubilidad		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Baño maría con calentamiento constante • Centrifuga • Estufa • Tubos de centrifuga de 50 ml • Vaso precipitación de 25 ml • Pipeta volumétrica de 10 ml • Pipeteador de 30 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano • Agua destilada 	<p>Ecuación 3-3: Índice de solubilidad en agua</p> $ISA = \frac{Ps \times V}{Pm}$ <p>Donde: ISA: Índice de solubilidad en agua Ps: Peso del almidón soluble V: Volumen obtenido luego de centrifugar Pm: Peso muestra seca</p>
Viscosidad		
Materiales y equipos	Reactivos	
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Viscosímetro • Vaso de precipitación de 250 ml y • Vaso de precipitación de 500 ml • Reverbero y malla de asbesto 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano • Agua destilada 	
Temperatura de gelatinización		
Materiales y equipos	Reactivos	
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Vaso de precipitación 100 ml • Vaso de precipitación 250 ml • Varilla de agitación • Reverbero y malla de asbesto 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano • Agua destilada 	

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.3.5. Análisis y aprobación del método para obtener almidón de la cáscara de banano

A continuación, en la tabla 3-13 se presenta los resultados obtenidos en cada una de las formulaciones para obtener el almidón de la cáscara de banano.

Tabla 3-13: Datos de humedad obtenidos en los métodos por cada repetición

PROCESO	REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)
Formulación del primer método	3000	365,45	3000	426,18	3000	405,82
Formulación del segundo método	3000	283,64	3000	311,24	3000	357,44
Formulación del tercer método	3000	18,88	3000	12,0	3000	12,0

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

En la tabla 3-14, se presentan los rendimientos obtenidos en cada repetición por los métodos realizados.

Tabla 3-14: Rendimientos obtenidos en los métodos por cada repetición

PROCESO	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3
	Rendimiento (%)	Rendimiento (%)	Rendimiento (%)
Formulación del primer método	12,18	14,21	13,53
Formulación del segundo método	9,45	10,37	11,91
Formulación del tercer método	0,63	0,40	0,40

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

En la tabla 3-15, se presenta los rendimientos globales y costos que se registraron realizando los tres métodos de extracción de almidón.

Tabla 3-15: Rendimiento y costos de cada una de las formulaciones para obtener almidón

PROCESO	COSTOS	RENDIMIENTO GLOBAL
Formulación del primer método	\$ 2,90	13,31 %
Formulación del segundo método	\$ 14,00	10,58 %
Formulación del tercer método	\$ 3,00	0,47 %
Formulación aceptable a escala industrial	\$ 2,90	13,31 %

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

En base a los análisis realizados y costos de producción se determina que el primer método es el más factible para elaborarlo a nivel industrial ya que cumple con los parámetros necesarios para obtención del almidón, debido a que tiene un rendimiento global de 13,31% y un costo de \$ 2,90.

3.2.3.6. Descripción de las formulaciones para la elaboración del plástico biodegradable

Una vez obtenido el almidón se procede a la elaboración del plástico biodegradable en el cual se emplea el almidón seleccionado, con este se harán dos formulaciones distintas utilizando diferentes cantidades para la preparación del plástico biodegradable donde varían las cantidades de maicena, glicerina, ácido acético y CMC.

- **Formulación de la materia prima**

Para elaborar el plástico biodegradable se utilizaron dos formulaciones distintas, variando la maicena, la glicerina, el ácido acético y Carboximetilcelulosa (CMC), con ello se verifica cual es la mejor opción para la creación del producto a nivel industrial.

Tabla 3-16: Formulación de la materia prima para la elaboración del plástico biodegradable

Formulación 1 (F1)	Formulación 2 (F2)
<ul style="list-style-type: none"> • 4,310% de almidón de cáscara de banano • 1,724% de maicena • 1,724% de glicerina • 5,172% de ácido acético • 86,207% de agua destilada • 0,862% de carboximetilcelulosa (CMC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 4,301% de almidón de cáscara de banano • 2,151% de maicena • 3,441% de glicerina • 3,441% de ácido acético • 86,022% de agua destilada • 0,645% de carboximetilcelulosa (CMC)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Materiales, equipos e insumos de laboratorio**

Para la experimentación a escala laboratorio en la tabla 3-17 se describen los materiales, equipos e insumos que se utilizaron en el proceso de la elaboración del plástico biodegradable.

Tabla 3-17: Materiales, equipos e insumos utilizados en el proceso de la obtención del plástico biodegradable

Materiales	Equipos	Insumos
<ul style="list-style-type: none"> • Malla de asbesto • Reverbero • Vasos de precipitación de 250 ml • Varilla de agitación • Moldes • Cedazos 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Termómetro • Agitador mecánico 	<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de la cáscara de banano • Maicena • Carboximetilcelulosa • Glicerina • Ácido acético • Agua destilada

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Descripción del método para obtener plástico biodegradable**

En la figura 3-5, se indica el diagrama de flujo para elaborar plástico biodegradable.

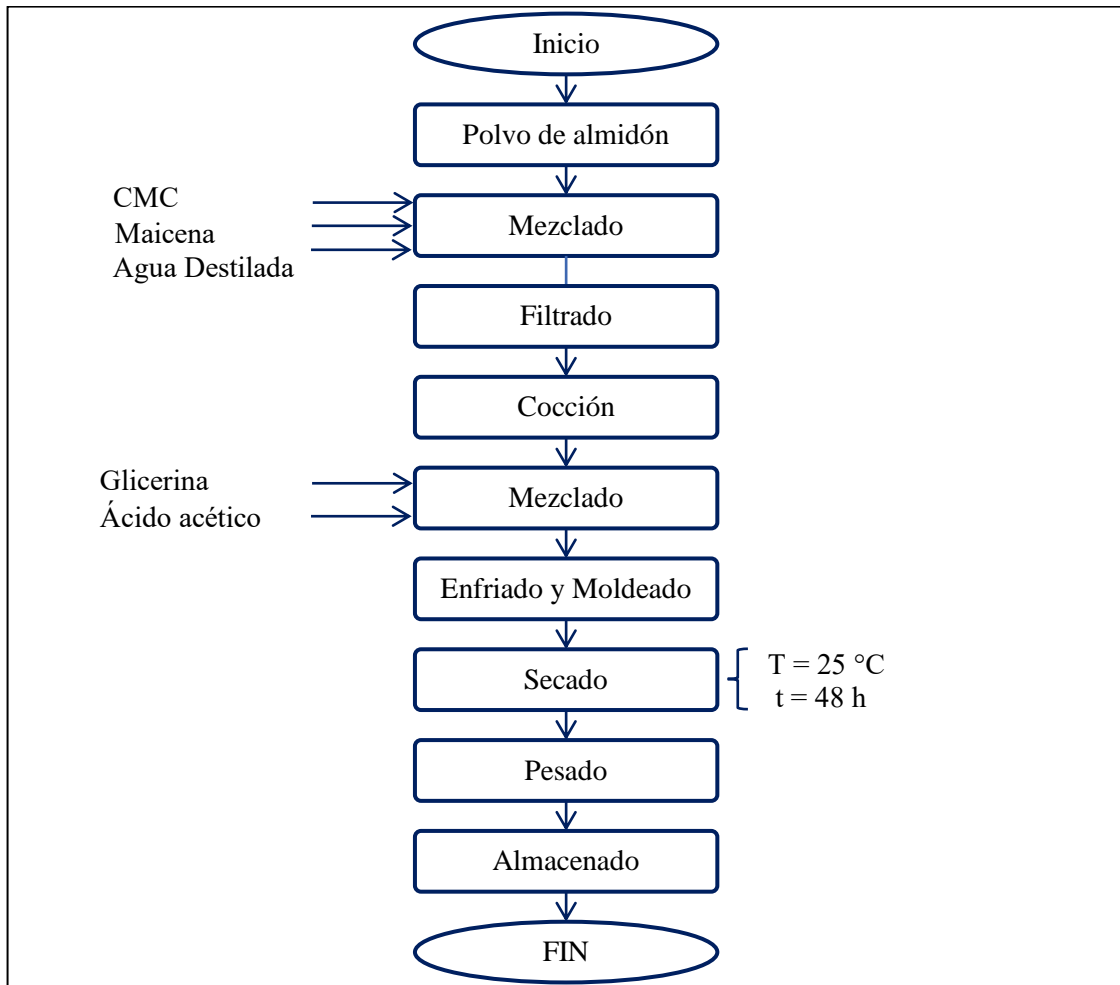


Figura 3-5: Diagrama de flujo para la obtención de plástico biodegradable

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Polvo de almidón: Se comenzó seleccionando el almidón que obtuvo mejor resultado en la etapa de la extracción. En este caso se utilizó el almidón obtenido a partir del método seco por blanqueamiento de ácido cítrico.

Mezclado: Se colocó en un vaso de precipitación el agua destilada con el almidón de la cáscara de banano, el CMC y la maicena, estos componentes se agitaron hasta obtener una masa homogénea.

Filtrado: Una vez mezclada la solución se pasó por un cedazo donde se eliminaron todos los grumos que la mezcla contenía.

Cocción: Una vez filtrada la solución se colocó en un vaso de precipitación mismo que se colocó sobre un reverbero con malla de asbesto a una temperatura baja y se agitó la mezcla hasta alcanzar una temperatura de 75°C misma temperatura que gelatiniza al almidón y la maicena.

Mezclado: Una vez alcanzada la temperatura se retiró del calor y se añadió la glicerina y el ácido acético después se agitó hasta obtener una mezcla homogénea.

Enfriado y moldeado: Homogenizada la mezcla, se la dejó reposar para enfriar la solución y poder colocarla sobre los moldes.

Secado: Una vez la mezcla se encontró en el molde, se lo colocó en un lugar apartado para evitar contacto con algún residuo y se dejó reposar por un periodo de 48 horas a temperatura ambiente o en un secador a 27 °C para conseguir las propiedades cualitativas deseadas.

Pesado: Secado el plástico biodegradable se desmoldo y se lo pesó.

Almacenado: Finalmente pesado, se almacena para realizar los ensayos para determinar las características del mismo.

3.2.3.7. *Ensayos realizados para determinar las características del plástico biodegradable*

Una vez obtenido el plástico biodegradable se realizaron ensayos para verificar la calidad del producto final. Estas pruebas se centraron en el espesor, humedad, resistencia de tracción, solubilidad, permeabilidad al agua y biodegradabilidad. Cada prueba se realizó por triplicado para constar su validez. A continuación, en la tabla 3-18 se describen los materiales, equipos, reactivos y fórmulas que se utilizaron para su medición, el procedimiento realizado se describió en la tabla 3-6 (técnicas físico-químicas analizadas al plástico biodegradable) y tabla 3-7 (técnicas mecánicas analizadas al plástico biodegradable).

Tabla 3-18: Materiales, equipos, reactivos y fórmulas utilizadas en los análisis del plástico biodegradable

Espesor	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Pie de rey• Bisturí• Regla• Esfero	<ul style="list-style-type: none">• Plástico Biodegradable

Humedad		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica Estufa Desecador Crisoles Bisturí 	<ul style="list-style-type: none"> Plástico biodegradable 	<p>Ecuación 3-4: Porcentaje de humedad en la película plástica</p> $\%Humedad = \frac{pi - pf}{pf} * 100$ <p>Donde: pi: peso inicial de la muestra (g) pf: peso final de la muestra (g)</p>
Resistencia a la tracción		
Materiales y equipos	Reactivos	
<ul style="list-style-type: none"> Máquina universal de ensayos 	<ul style="list-style-type: none"> Plástico biodegradable 	
Solubilidad		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> Shaker Estufa Papel filtro Vasos plásticos con tapa Balanza analítica Bisturí 	<ul style="list-style-type: none"> Plástico biodegradable Agua destilada 	<p>Ecuación 3-5: Porcentaje de solubilidad</p> $\%S = \frac{p_{iseco} - p_{fseco}}{p_{iseco}} * 100$ <p>Donde: pi: peso inicial seco de la muestra (g) pf: peso final seco de la muestra (g)</p>
Permeabilidad al vapor		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> Tubos de ensayo Desecador Balanza analítica Bisturí Ligas Cinta masking Regla Esfero 	<ul style="list-style-type: none"> Plástico biodegradable Sílica gel Solución salina 	<p>Ecuación 3-6: Permeabilidad</p> $WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$ <p>Donde: WVP: Permeabilidad al vapor de agua en P₂: peso final de la lámina P₁: peso inicial de la lámina e: espesor de la lámina t: tiempo de determinación pv: presión de vapor del proceso φ₁: Humedad relativa al interior de la celda φ₂: Humedad relativa de la cámara con NaCl saturado</p>
Biodegradabilidad		
Materiales y equipos	Reactivos	Fórmula
<ul style="list-style-type: none"> Recipientes de ½ L Tapas Bisturí Regla Esfero Balanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> Plástico biodegradable Agua Tierra 	<p>Ecuación 3-7: Porcentaje de pérdida de peso</p> $\%pp = \frac{pis - pfs}{pis} * 100$ <p>Donde: %pp: pérdida de peso pis: peso inicial seco pfs: peso final seco</p>

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.3.8. Análisis y aprobación del método para elaborar el plástico biodegradable

A continuación, en la tabla 3-19 se describe los resultados obtenidos en las pruebas físico-químicas y mecánicas realizadas al producto final por las dos formulaciones planteadas.

Tabla 3-19: Resultados de las pruebas físico-químicas y mecánicas realizadas al plástico biodegradable.

PRUEBAS		PRIMERA FORMULACIÓN	SEGUNDO FORMULACIÓN	UNIDAD
Humedad		4,454	8,685	%
Solubilidad en agua		71,822	85,518	%
Espesor		0,233	0,337	mm
Permeabilidad del vapor de agua		0,0559	0,1024	g/h*m*MPa
Resistencia a la tracción (Carga máxima)		2,927	2,297	N
Biodegradabilidad Aeróbica	Agua	50,582	49,633	%
	Aire	0,00	0,00	%
	Suelo	26,488	24,652	%
Biodegradabilidad Anaeróbica	Agua	91,925	91,521	%
	Aire	0,00	0,00	%
	Suelo	86,509	98,896	%

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Según los análisis llevados a cabo, se ha determinado que la primera formulación es la más idónea para producir plástico a nivel industrial, ya que ha demostrado resultados superiores y propiedades físico-químicas y mecánicas destacadas. Se observó una humedad menor del 4,454%, una solubilidad en agua de 71,822%, un espesor de película de 0,233 mm, una permeabilidad al vapor de agua baja de 0,0559 g/h*m*MPa, una carga máxima de 2,927 N y, por último, una capacidad de biodegradación tanto en ambientes aeróbicos como anaeróbicos; con 50,582% y 91,925% en agua, 0% en aire y 26,488% y 86,509% en suelo.

3.2.4. Operaciones unitarias

A continuación, en la tabla 3-20 se describen las operaciones unitarias y los procesos involucrados en la obtención del producto final

Tabla 3-20: Operaciones unitarias y procesos para obtener el producto final

Proceso	Subproceso	Descripción corta	Variable	Rango
Obtención del almidón	Selección	Selección de cáscaras de banano sin golpes	Grado de maduración del banano	Optimo
	Lavado	Lavado de las cáscaras con agua clorada y agua potable para eliminar suciedades		
	Pesado	Control de peso al ingreso del proceso		
	Blanqueado	Las cáscaras se sumergen en ácido cítrico para un blanqueo previo	Tiempo de remojo	30 min
	Secado	Se elimina el exceso de agua retenida en las cáscaras de banano	Temperatura de secado Tiempo de secado	70 °C 24 horas
	Molienda Tamizado	Las cáscaras secas se trituran para tener menor rango de partículas Se tamizan para tener partículas pequeñas	Tamiz malla 120	<0,125 mm
Producto	Polvo almidón	Producto resultante de la primera etapa.		
Obtención del plástico biodegradable	Mezclado	Se mezclan el agua destilada, el CMC, la maicena y el almidón hasta obtener una solución homogénea.		
	Filtrado	Se filtra la mezcla para eliminar cualquier grumo que se haya generado a la hora del mezclado		
	Cocción	La solución se coloca en el reverbero y se agita hasta obtener una temperatura de gelatinización	Temperatura de cocción	75°C
	Mezclado	Se mezclan la glicerina, el vinagre y mezcla obtenida de la cocción hasta homogenizar		
	Enfriado y Moldeado	La mezcla se la enfría y se coloca en un molde	Tiempo de enfriado	30 min
	Secado	Se deja reposar la lámina para adquirir la consistencia deseada	Temperatura de secado Tiempo de secado	30 °C 48 horas
	Pesado	Control de peso al final del proceso		
Producto final	Plástico biodegradable	Producto resultante de la segunda etapa y fase final.		

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.5. Variables del proceso

Para efectuar el diseño de un proceso industrial para obtención de plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano para la empresa ROLDEG Ecuador, es necesario realizar una propuesta tecnológica para establecer las variables que afectarán en cada parte del proceso hasta obtener el producto final, mismas que se detallan en la tabla 3-21.

Tabla 3-21: Variables del proceso

Variable	Tipo de variable	Subvariable	Concepto	Método de medición	Etapas del proceso	Parámetro
Cáscara de banano	Dependiente	Materia prima apta	Características deseables sin golpes	Visual	Selección de materia prima	-----
	Independiente	Materia prima no apta				-----
Almidón	Dependiente	Volumen de agua y tiempo de lavado	Características deseables para el proceso de producción	Visual	Lavado	-----
	Independiente	Impurezas				-----
	Independiente	Peso	Cantidad de producto inicial	Balanza	Pesado	-----
	Dependiente	Tiempo	Magnitud referente a un período en el que se desarrolla la acción	Cronómetro	Blanqueado	30 min
	Dependiente	Temperatura	Mide el grado o nivel térmico presente en un cuerpo	Sensor de temperatura	Secado	60 – 70 °C
	Dependiente	Tiempo	Magnitud referente a un período en el que se desarrolla la acción	Cronómetro		24 horas
	Independiente	Tamaño del granulo	El porcentaje de grano que pasa a través de la malla del tamiz	Tamiz y número de la malla	Molienda y tamizado	-----
	Independiente	Peso	Cantidad de producto final en la primera etapa	Balanza	Pesado	-----
Plástico biodegradable	Independiente	-----	-----	Visual	Mezclado	3-5 min
	Independiente	-----	-----	Visual	Filtrado	-----
	Dependiente	Temperatura	Mide el grado o nivel térmico presente en un cuerpo	Sensor de temperatura	Cocción	75 °C
	Independiente	-----	-----	Visual	Mezclado	3-5 min
	Dependiente	Tiempo	Magnitud referente a un período en el que se desarrolla la acción	Cronómetro	Enfriado y moldeado	30 min
	Dependiente	Temperatura	Mide el grado o nivel térmico presente en un cuerpo	Sensor de temperatura	Secado	27 °C
	Dependiente	Tiempo	Magnitud referente a un período en el que se desarrolla la acción	Cronómetro		48 horas
	Independiente	Peso	Cantidad del producto final	Balanza	Pesado y almacenado	-----

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.2.6. Balance de masa y energía

3.2.6.1. Balance de masa

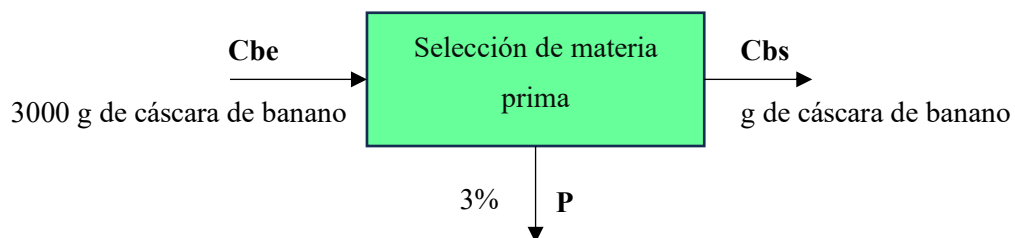
Cumpliendo con el plan de proponer un diseño de un proceso industrial es necesario efectuar un balance de masa en cada una de etapas para realizar una propuesta tecnológica de equipos, la cual nos ayuda a determinar tanto los flujos de entrada como de salida en cada operación unitaria. Para determinar este balance de materia fue necesario realizar ensayos a nivel laboratorio para observar a pequeña escala los flujos de entrada y de salida que se dan en los diferentes puntos del proceso, así como evaluar las pérdidas que se da en algunas etapas. A continuación, se describirá cada proceso y se determinará el balance de masa mediante la ecuación 3-8.

Ecuación 3-8: Balance de masa

$$\text{Entrada de flujos} = \text{Salida de flujos}$$

- Selección de materia prima

Para iniciar con el proceso se partió seleccionando 3000 g de materia prima en la empresa ROLDEG, aunque la selección fue minuciosa, por el trayecto de la empresa a las instalaciones de la ESPOCH se consideraron 3% de pérdidas en la materia prima, con esto se describe a continuación la resolución de este proceso:



Donde:

Cbe = Cáscara de banano a la entrada (g)

Cbs = Cáscara de banano a la salida (g)

P = Pérdida del producto (g)

Balance de masa global

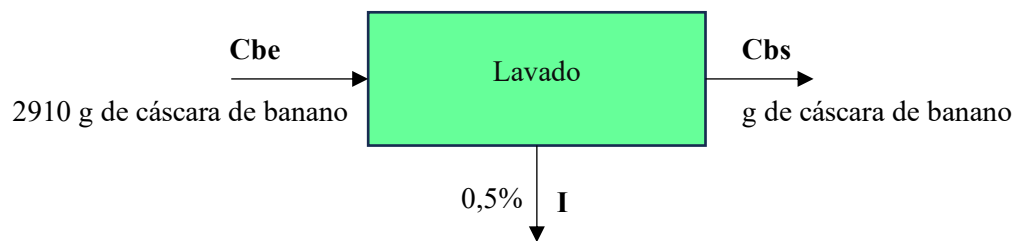
$$E = S$$
$$C_{be} = C_{bs} + P$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Lavado**

El lavado se hace de manera manual pasando por dos tipos de limpieza, la primera con agua clorada y la segunda con agua potable. Con esto se descartaron impurezas arraigadas en la cáscara de banano, se calcula 0,5% de pérdidas en esta etapa.



Donde:

C_{be} = Cáscara de banano a la entrada (g)

C_{bs} = Cáscara de banano a la salida (g)

I = Impurezas (g)

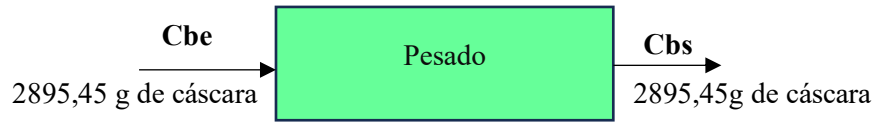
Balance de masa global

$$E = S$$
$$C_{be} = C_{bs} + I$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Pesado**



Donde:

Cbe = Cáscara de banano a la entrada (g)

Cbs = Cáscara de banano a la salida (g)

Balance de masa global

$$E = S$$

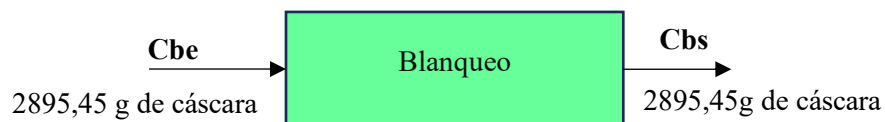
$$Cbe = Cbs$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Blanqueado**

El proceso de blanqueado comenzó con la disolución de 128,304 g de ácido cítrico en 5 L de agua purificada (25,6608 g/L), luego se sumerge las cáscaras en esta solución por un tiempo de 30 min.



Donde:

Cbe = Cáscara de banano a la entrada (g)

Cbs = Cáscara de banano a la salida (g)

Balance de masa global

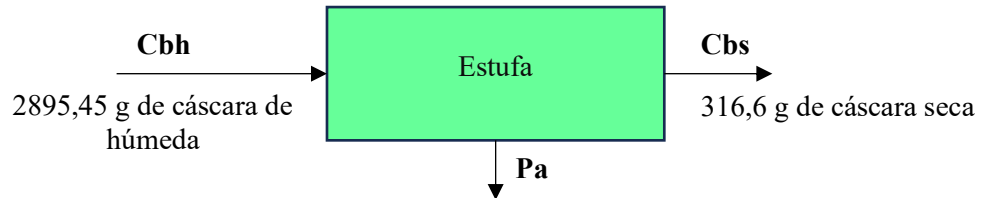
$$E = S$$

$$Cbe = Cbs$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Secado**



Donde:

Cbh = Cáscara de banano húmeda (g)

Cbs = Cáscara de banano seca (g)

Pa = Pérdida de agua (g)

Balance de masa global

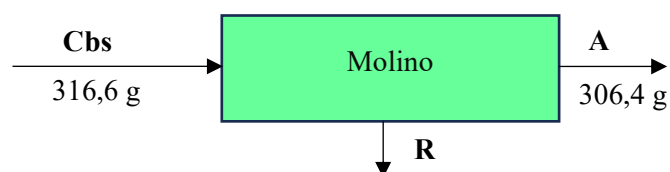
$$E = S$$

$$Cbe = Cbs + Pa$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Molienda**



Donde:

Cbs = Cáscara de banano seca (g)

A = Almidón (g)

R = Residuos sólidos (g)

Balance de masa global

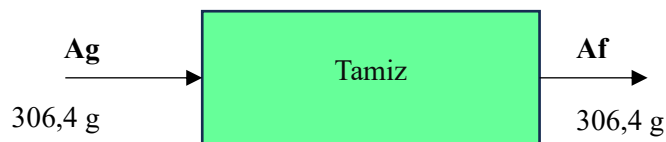
$$E = S$$

$$Cbs = A + R$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Tamizado**



Donde:

Ag = Almidón grueso (g)

Af = Almidón fino (g)

Balance de masa global

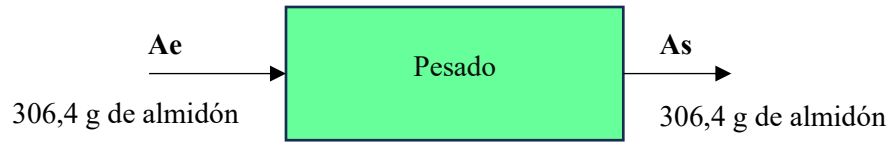
$$E = S$$

$$Ag = Af$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Pesado**



Donde:

Ae = Almidón de entrada (g)

As = Almidón de salida (g)

Balance de masa global

$$E = S$$

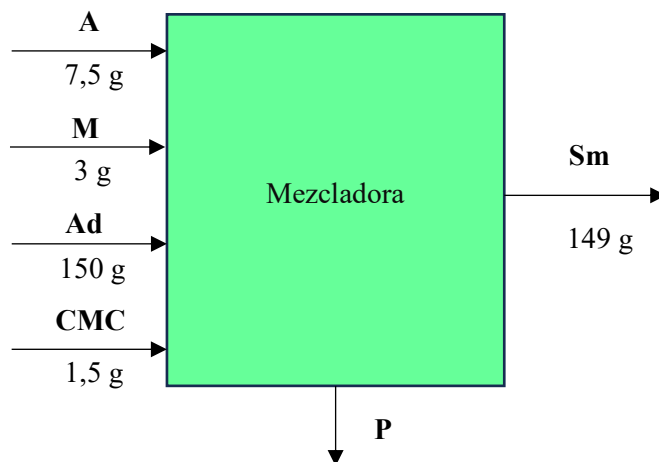
$$Ae = As$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Mezclado**

El proceso de mezclado se añade el almidón de la cáscara de banano, la maicena, el CMC y el agua destilada en la mezcladora y se agita hasta obtener una solución homogénea.



Donde:

A = Almidón de la cáscara de banano (g)

M = Maicena (g)

Ad = Agua destilada (ml)

CMC = Carboximetilcelulosa (g)

Sm = Solución mezclada (g)

P = Pérdida por volatilidad

Balance de masa global

$$E = S$$

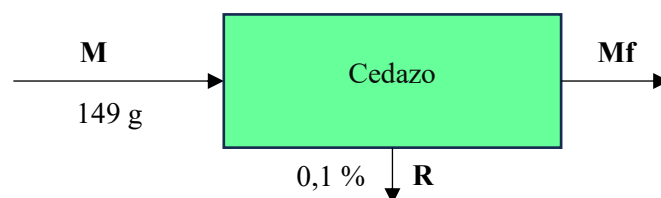
$$A + M + Ad + CMC = Sm + P$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Filtrado**

En el proceso de filtrado se pasa a la mezcla por un cedazo para eliminar todo grumo que se haya generado en la etapa de mezclado. Concluida la filtración se considera un porcentaje de 0,01% en pérdidas.



Donde:

M = Mezcla de almidón, maicena, CMC y agua destilada (g)

Mf = Mezcla filtrada de almidón, maicena, CMC y agua destilada (g)

R = Residuos grumosos (g)

Balance de masa global

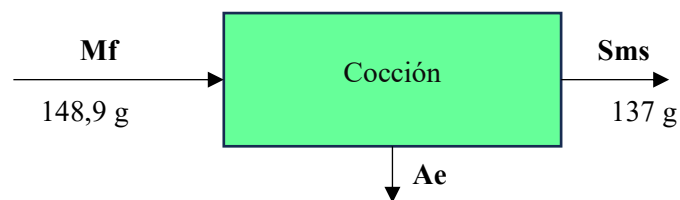
$$E = S$$

$$M = M_f + R$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Cocción**



Donde:

M_f = Mezcla filtrada de almidón, maicena, CMC y agua destilada (g)

S_{ms} = Solución mezclada de almidón, maicena, CMC y agua destilada saliente de la cocción (g)

A_e = Agua evaporada (g)

Balance de masa global

$$E = S$$

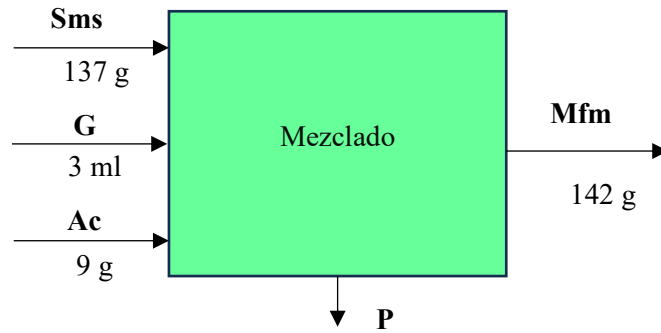
$$M_f = S_{ms} + A_e$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Mezclado**

En este proceso de mezclado se agrega a la mezcla saliente de la cocción, la glicerina y el ácido acético y se agitó hasta obtener una mezcla homogénea.



Donde:

Sms = Solución mezclada de almidón, maicena, CMC y agua destilada saliente de la cocción (g)

G = Glicerina (ml)

Ac = Ácido acético (ml)

Mf = Mezcla final en la cocción

P = Pérdida

Balance de masa global

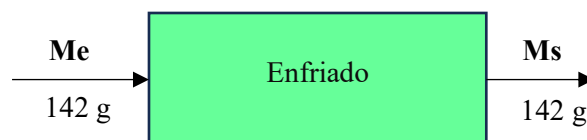
$$E = S$$

$$Sms + G + Ac = Mfm + P$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Enfriado**



Donde:

Me = Mezcla entrante (g)

Ms = Mezcla saliente (g)

Balance de masa global

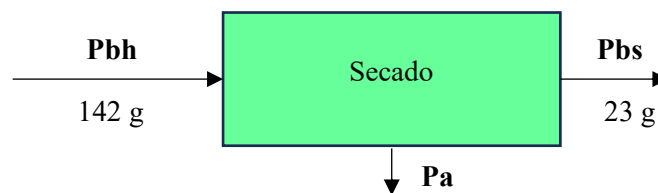
$$E = S$$

$$M_e = M_s$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Secado**



Donde:

Pbh = Plástico biodegradable húmedo (g)

Pbs = Plástico biodegradable seco (g)

Pa = Pérdida de agua (g)

Balance de masa global

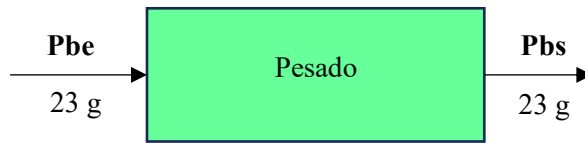
$$E = S$$

$$P_{bh} = P_{bs} + P_a$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

- **Pesado**



Donde:

Pbe = Plástico biodegradable entrante (g)

Pbs = Plástico biodegradable saliente (g)

Balance de masa global

$$E = S$$

$$Pbe = Pbs$$

Rendimiento del proceso

Una vez obtenido los flujos de entrada y salida, se procede a calcular el rendimiento conseguido por este proceso con la ecuación 3-1, mismos resultados mostrados en la tabla 4-27.

3.2.6.2. Balance de energía

- **Secador**

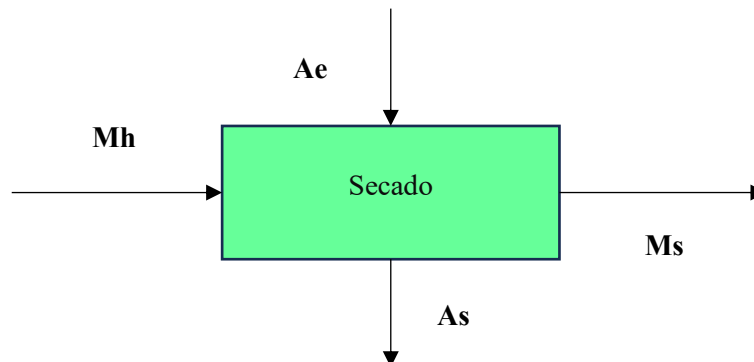


Tabla 3-22: Datos para el balance de energía del secador

Parámetros	Siglas	Valor	Unidad
Temperatura del aire a la entrada	T _{ae}	70	°C
Masa de la cáscara húmeda	m _{bh}	2,895	Kg
Temperatura de la cáscara húmedo a la entrada	T _{bhe}	19	°C
Humedad de la cáscara húmeda	h _{bh}	0,1225	kg de agua/ kg de cáscara
Masa del aire a la entrada	m _{ae}	1508,68	Kg
Humedad del aire a la entrada	h _{ae}	0,021	kg de agua/ kg de aire
Temperatura del aire a la salida	T _{as}	24,8	°C
Masa de la cáscara seca	m _{bs}	0,306	Kg
Temperatura de la cáscara seca a la salida	T _{bss}	40	°C
Humedad de la cáscara seca	h _{bs}	0,007448	kg de agua/ kg de cáscara
Masa del aire a la salida	m _{as}	1516,10	Kg
Humedad del aire a la salida	h _{as}	0,028	kg de agua/ kg de aire

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Ecuación 3-9: Balance general de energía

$$m_{ae} * H_{ae} + m_{se} * H_{se} = m_{as} * H_{as} + m_{ss} * H_{ss} + Q$$

Donde:

m_{ae} = Masa de aire a la entrada (kg)

H_{ae} = Entalpía del aire a la entrada (J/kg)

m_{se} = Masa de sólidos a la entrada (kg)

H_{se} = Entalpía de sólidos a la entrada (J/kg)

m_{as} = Masa de aire a la salida (kg)

H_{as} = Entalpía del aire a la salida (J/kg)

m_{ss} = Masa de sólidos a la salida (kg)

H_{ss} = Entalpía de sólidos a la salida (J/kg)

Q = Calor necesario para secar la muestra

Ecuación 3-10: Entalpía del aire

$$H_a = 1,005T_a + h_a(2500,5 + 1,884T_a)$$

Donde:

H_a = Entalpía del aire (J/kg)

T_a = Temperatura del aire (K)

h_a = Humedad del aire (kg de agua/kg de aire)

Ecuación 3-11: Entalpía del sólido

$$H_s = Cp_b * T_s + h_s * Cp_{H2O} * T_s$$

Donde:

H_s = Entalpía del sólido (J/kg)

Cp_a = Capacidad calorífica del almidón (kJ/kg*K)

T_s = Temperatura del sólido (K)

h_s = Humedad del sólido (kg de agua/kg de sólido)

Cp_{H2O} = Capacidad calorífica del agua (kJ/kg*K)

Para el cálculo del calor necesario en el secador se necesita reemplazar las ecuaciones de entalpía del aire y del sólido en la ecuación de balance general de energía

$$m_{ae} * H_{ae} + m_{se} * H_{se} = m_{as} * H_{as} + m_{ss} * H_{ss} + Q$$

$$m_{ae} * (1,005T_a + h_a(2500,5 + 1,884T_{bh}))_e + (m_{se} * Cp_b * T_s + h_s * Cp_{H2O} * T_s)_e =$$
$$m_{as} * (1,005T_a + h_a(2500,5 + 1,884T_a))_s + m_{bs} * (Cp_b * T_s + h_s * Cp_{H2O} * T_s)_s + Q$$

La capacidad calorífica del almidón según reportado por (Pineda et al., 2011; citado en Avellán et al., 2021, p. 4) es de $8,516 \times 10^{-6}$ kJ/g*°C ($8,516 \times 10^{-3}$ kJ/kg*°C).

Ecuación 3-12: Calor producido por el secador

$$Q_g = \frac{V^2}{R} * t$$

Donde:

Q_g = Calor generado por el secador (J)

V = Voltaje (V)

R = Resistencia instalada (Ω)

T = Tiempo de secado (s)

Ecuación 3-13: Eficiencia energética

$$\epsilon = \frac{q}{Q_g} * 100$$

Donde:

ϵ = Eficiencia energética

q = Calor necesario (kJ)

Q_g = Calor generado (kJ)

- **Cocción**

$$Q_{ganado} = Q_{perdido}$$

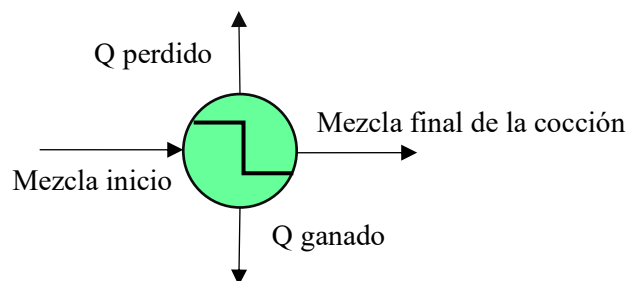
$$Q_j = Q_H + Q_P$$

Donde:

Q_j = Calor ganado por la mezcla (kw)

Q_H = Calor suministrado (kw)

Q_P = Calor perdido por las paredes del recipiente de cocción (kw)



Ecuación 3-14: Área total de transferencia de calor

$$A_s = \pi * D_p * L_p$$

Donde:

A_s = Área de transferencia de calor (m^2)

D_p = diámetro del recipiente de cocción (m)

L_p = altura del recipiente de cocción (m)

Ecuación 3-15: Calor perdido en las paredes del recipiente de cocción

$$Q_p = k_{acero} * A * \Delta T$$

$$Q_p = k_{acero} * A * (T_p - T_a)$$

Donde

Q_p = Calor perdido en las paredes del recipiente de cocción (kw)

k_{acero} = Coeficiente de transferencia de calor del recipiente de cocción $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

A_s = Área de transferencia de calor (m^2)

T_p = Temperatura de cocción ($^\circ C$)

T_a = Temperatura de alimentación ($^\circ C$)

Ecuación 3-16: Calor ganado por la mezcla

$$Q_j = m_m * C_{pmezcla} * (T_p - T_a)$$

Donde:

Q_j = Calor ganado por la mezcla (kW)

m_m = Alimentación del recipiente de cocción (kg/s)

$C_{pmezcla}$ = Capacidad calorífica del almidón (KJ/kg* $^\circ C$)

La capacidad calorífica del almidón según reportado por (Avellán et al., 2021, p. 50) es de $8,516 \times 10^{-6}$ kJ/g* $^\circ C$ ($8,516 \times 10^{-3}$ kJ/kg* $^\circ C$).

Ecuación 3-17: Calor suministrado por el reverbero

$$Q_j = Q_H + Q_p$$

$$Q_H = Q_j - Q_p$$

Ecuación 3-18: Coeficiente global de transferencia de calor en el recipiente de cocción

$$Q_H = U * A * \Delta T$$

$$U = \frac{Q_H}{A_s * \Delta T}$$

3.2.7. Balance de masa general del proceso

A continuación, se detalla el balance de global para un diseño de un proceso industrial para la obtención de plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano para la empresa ROLDEG SA Ecuador, en él se describirán las formulaciones aceptadas para elaborarlas la producción a nivel industrial.

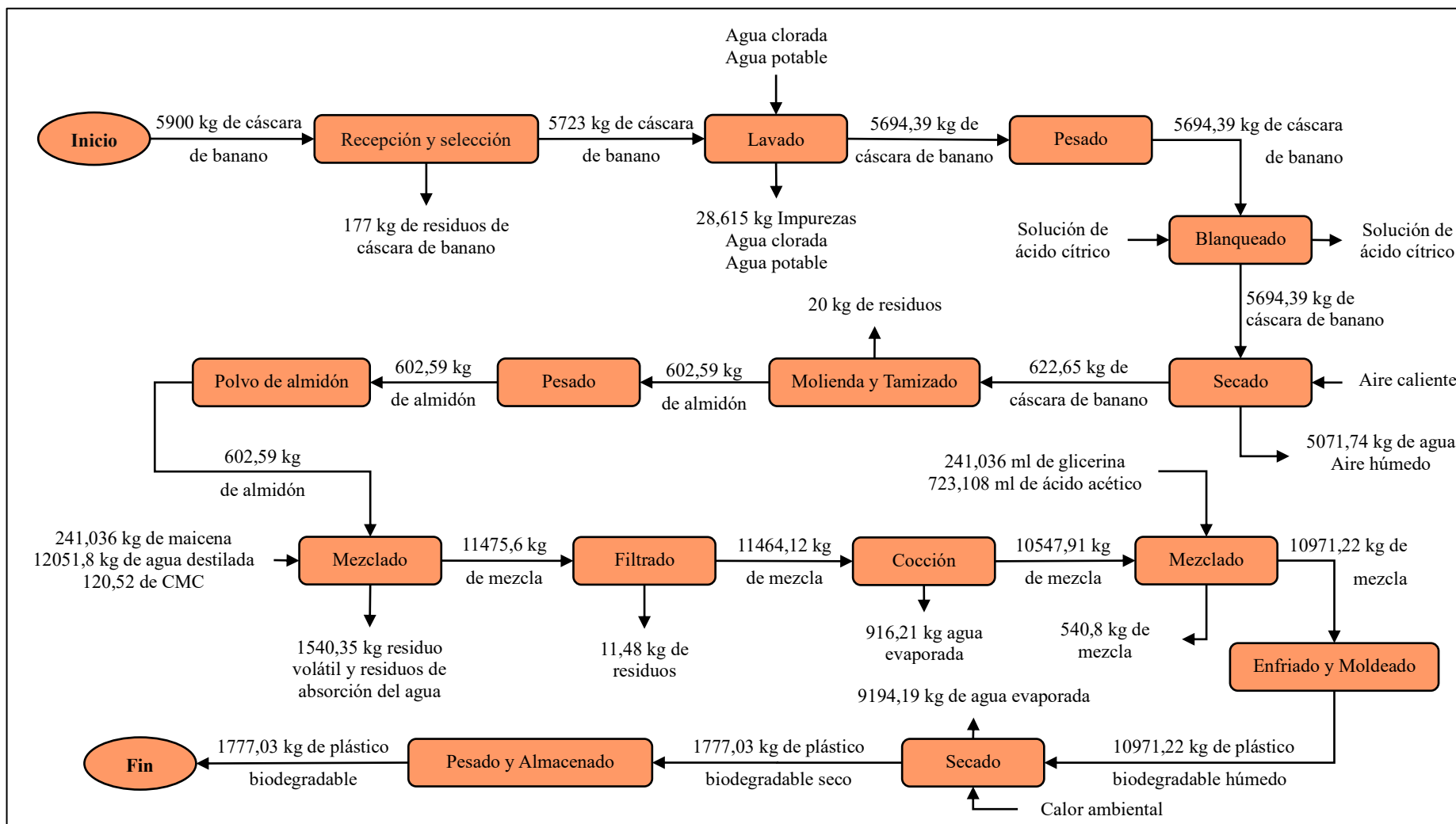


Figura 3-6: Balance de masa general para la obtención de plástico biodegradable a nivel industrial

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3. Diseño de equipos

A continuación, se presenta los cálculos ingenieriles de los equipos requeridos para la obtención del plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano, cada cálculo se evalúo a escala industrial tomando como referencia los datos obtenidos a nivel laboratorio.

3.3.1. *Diseño de una mesa para la inspección visual de la cáscara de banano*

Para empezar con la fabricación del plástico biodegradable se tiene que realizar una inspección visual de las cáscaras de banano, la cual se la realiza manualmente comprobando que las cáscaras se encuentren en un estado óptimo sin golpes. Para esto se requiere de un diseño de una mesa con ciertas dimensiones, que abarquen la capacidad de la inspección.

- **Cálculo del volumen de la mesa**

$$V_{\text{mesa}} = l * a * h$$

Donde:

l = longitud de la mesa (m)

a = ancho de la mesa (m)

h = altura de la caja de la mesa (m)

- **Cálculo de la capacidad de la mesa**

$$m = \rho_{\text{cáscara de banano}} * V_{\text{mesa}}$$

Donde:

$\rho_{\text{cáscara de banano}}$ = densidad (kg/ m³)

m = masa total (kg)

V_{mesa} = Volumen de la mesa (m³)

- **Esquema propuesto para la mesa**

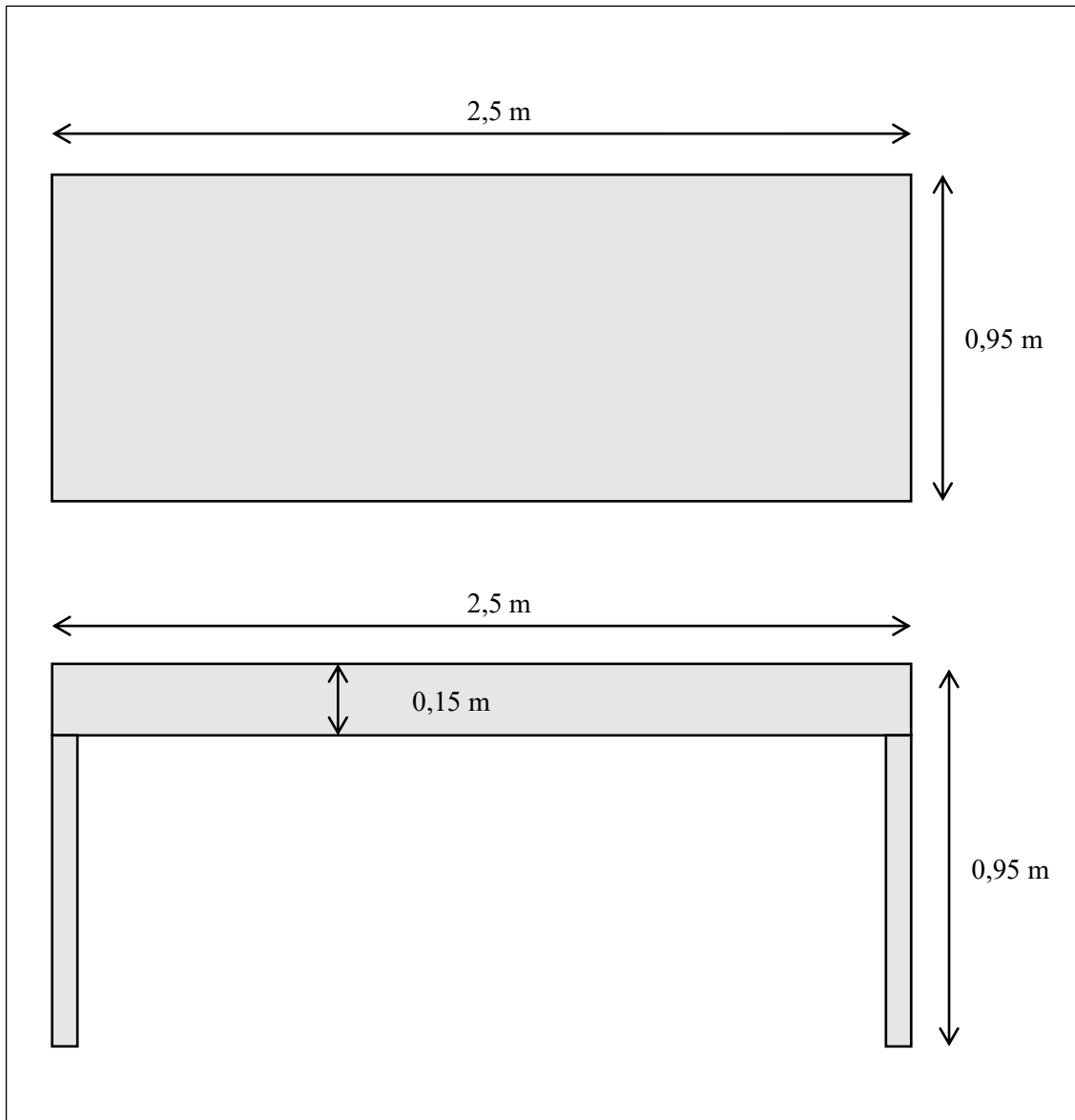


Figura 3-7: Esquema de una mesa para la inspección de la materia prima

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.2. *Diseño de un recipiente para la etapa de blanqueado*

Para el recipiente para la etapa de blanqueado se eligió un tanque de remojo, el cual consta de un tanque cilíndrico con salida cónica en la parte inferior, la cual se cierra con una ranura para evitar fugas durante el período de blanqueo. Por la cantidad de materia prima distribuida por la empresa se requieren de 6 de estos tanques para realizar el remojo. A continuación, se presenta los cálculos de un tanque con las características deseadas.

- **Cálculo del volumen del tanque**

$$V_R = V_{H_2O}$$

Donde:

V_R = Volumen del tanque requerido (m³)

V_{H_2O} = Volumen de agua requerido (m³)

$$V_{H_2O} = \frac{m_{cb} + m_{cb} * 10\%}{\rho_{H_2O}}$$

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 20% y se tiene:

$$V_T = V_R + V_R * 20\%$$

- **Cálculo de la longitud del tanque**

$$L_R = \frac{V_T}{\pi * r^2}$$

Donde:

L_R = longitud del tanque (m)

V_T = Volumen del tanque total (m³)

r = radio del tanque (m)

$r = 1,16$ m (valor tomado de un tanque de 10000 L)

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 10% y se tiene:

$$L_T = L_R + L_R * 10\%$$

- **Esquema propuesto para el tanque**

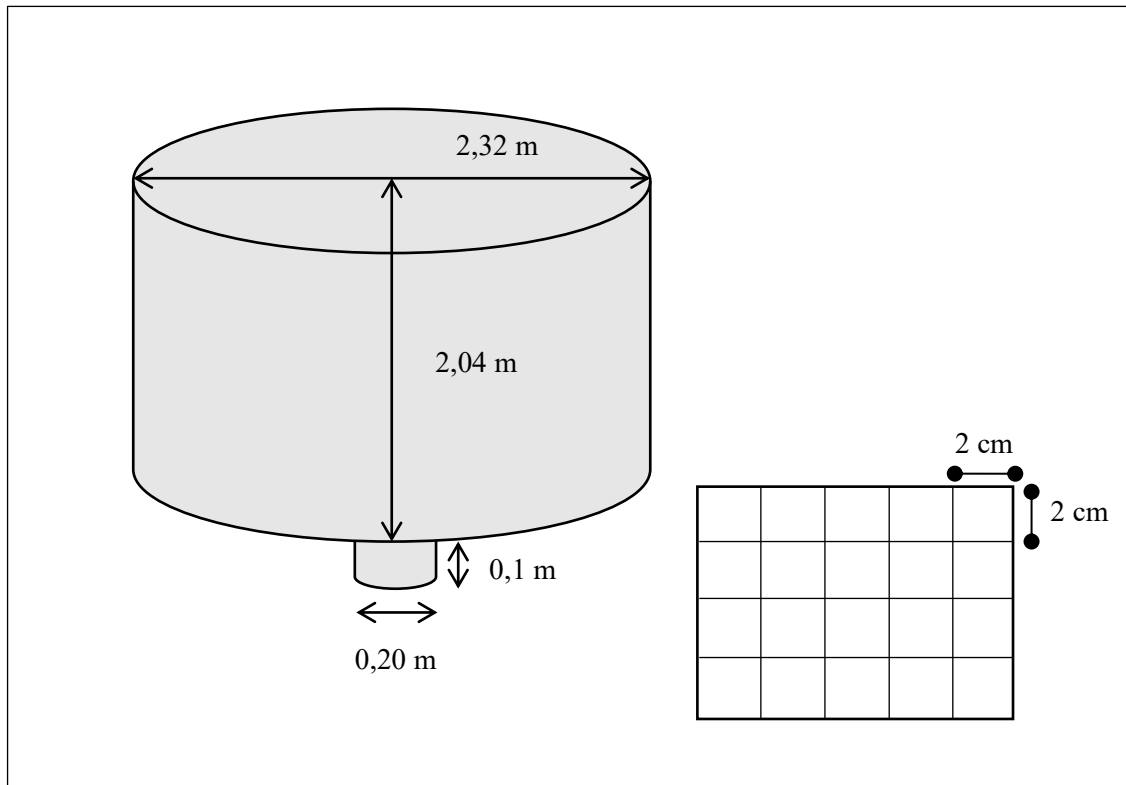


Figura 3-8: Esquema del recipiente para el tratamiento de blanqueado

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.3. *Diseño de un secador*

Para la etapa de secado se tiene que utilizar un secador continuo, para extraer uniformemente el contenido de agua de las cáscaras y no tener pérdidas después del periodo de secado.

- **Cálculo para el requerimiento energético del secador**

Calor necesario para secar la materia prima

$$Q_1 = m_{cbs} * C_{BE} * (T_{bss} - T_{bhe})$$

Donde:

Q_1 = Calor necesario para secar la muestra (kJ)

m_{bs} = Masa de la cáscara de banano seca (kg)

C_{BE} = Calor específico de la cáscara (kJ/kg°C)

$C_{BE} = 0,92$ kJ/kg°C (Valor tomando bibliográficamente)

T_{bhe} = Temperatura de la cáscara húmeda a la entrada (°C)

T_{bss} = Temperatura de la cáscara seca a la salida (°C)

Calor necesario para evaporar el agua

Para calcular el calor necesario para evaporar el agua se necesita primero calcular el agua evaporada, por lo cual se utilizarán datos obtenidos durante el proceso de secado a 70°C.

$$H_2O_{ev} = (h_{bh} * m_{cb}) - (h_{bs} * m_{cb})$$

Ya con el dato obtenido de agua evaporada se continua con el cálculo de calor necesario para evaporar el agua.

$$Q_2 = H_2O_{ev} * \lambda$$

Donde:

Q_1 = Calor necesario para evaporar el agua (kJ)

H_2O_{ev} = Agua evaporada (kg/h)

Calor total del secado

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

- Cálculos para el requerimiento de aire suministrado por el ventilador

Volumen requerido

$$V_{aire} = \frac{m_{aire}}{\rho_{aire}}$$

Caudal requerido

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t}$$

- **Cálculo para el requerimiento de bandejas**

Área de las bandejas

Para determinar el área de las bandejas, se necesitará calcular el volumen ocupado por los 5695 kg de cáscara de banano y a esta se la distribuirá en 4 lotes. Entrando al secado 1424 kg de cáscara de banano

Distribución por columna

$$V_{cb} = \frac{m_{cb}}{\rho_{cb}}$$

Calculado el volumen de las cáscaras de banano, se procede a calcular el área de las bandejas, asumiendo una altura de 0,01 m.

$$V_{cb} = A_T * h$$
$$A_T = \frac{V_{cb}}{h}$$

Dimensiones de las bandejas

Suponiendo un total de 270 bandejas, distribuidas en 9 columnas y 30 filas, entonces el área de cada bandeja sería de 0,652 m², en base a esto se calculará la dimensión de cada bandeja.

Cálculo del largo de la bandeja

$$A_b = l * a$$
$$A_b = l * \frac{3}{4}l$$
$$l = \sqrt{\frac{4 * A_b}{3}}$$

Cálculo del ancho de la bandeja

$$a = \frac{3}{4}l$$

- **Cálculo para el requerimiento de las dimensiones del secador**

Altura

Para determinar la altura se tiene que asumir que la dimensión de separación entre bandejas es de 0,05 m.

$$H_S = sep * N_B$$

Asumiendo un factor de seguridad del 30%, se determina la altura total del secador

$$H_T = H_S + H_S * 0,30$$

Ancho

Para el ancho requerido del secador se tomarán separaciones de 0,15 m y se considera las 3 columnas

$$A_R = 3 * a + 3 * (sep)$$

Asumiendo un factor de seguridad del 10%, se determina el ancho total del secador

$$A_T = A_R + A_R * 0,1$$

Largo

Para el largo requerido del secador se tomarán separaciones de 0,15 m y se considera las 3 columnas

$$L_R = 3 * l + 3 * (sep)$$

Asumiendo un factor de seguridad del 10%, se determina el ancho total del secador

$$L_T = l + l * 0,1$$

3.3.4. *Diseño de un molino*

Para especificar las dimensiones del molino, se ha escogido un molino comercial que se adapte a las necesidades del proceso de producción a nivel industrial para empresa ROLDEG SA Ecuador, el cual se detalla en la tabla 3-23.

Tabla 3-23: Especificaciones de un molino

Parámetro	Especificaciones
Tipo	Molino de martillos
Modelo	MMQ20
Marca	MAQUINOVA
Peso estimado	250 kg
Motor	15-20 Hp
Cámara de molienda	500(20") x 750 mm
Número de martillos	50
Capacidad de producción	1-2 ton/h
Material	Acero inoxidable AISI – 304

Fuente: (MAQUINOVA)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.5. *Diseño de un tamizador*

Para especificar las dimensiones de un tamizador, se ha escogido un tamizador vibratorio comercial que se adapte a las necesidades del proceso de producción a nivel industrial para empresa ROLDEG SA Ecuador, el cual se detalla en la tabla 3-24.

Tabla 3-24: Especificaciones de un tamiz

Parámetro	Especificaciones
Tipo	Tamizador vibratorio
Marca	MULTIDESK
Modelo	CST-800
Número de tamices	1 < 4
Superficie de tamiz	0,445 m ²
Malla de sugerencia	Tamiz mesh 120
Tamaño de la partícula	< 0,125 mm
Potencia	1,1 – 1,2 kW
Frecuencia	50 – 60 Hz
Potencia del motor	110/ 240 / 260 – 480 Hp
Material de construcción	Acero inoxidable AISI – 304

Fuente: (MULTIDESK)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.6. Diseño de una mezcladora

- **Cálculo del volumen del mezclador**

$$V_R = V_{as} + V_{gm} + V_{H2O} + V_{CMC}$$

Donde:

V_R = Volumen del tanque requerido (m^3)

V_{as} = Volumen de almidón (m^3)

V_m = Volumen de maicena (m^3)

V_{CMC} = Volumen de carboximetilcelulosa (m^3)

$$V_{as} = \frac{m_{as}}{\rho_{as}}$$

$$V_m = \frac{m_{gm}}{\rho_{gm}}$$

$$V_{H2O} = \frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O}}$$

$$V_{CMC} = \frac{m_{CMC}}{\rho_{CMC}}$$

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 20% y se tiene:

$$V_T = V_R + V_R * 0,2$$

- **Cálculo de la longitud del mezclador**

$$L_R = \frac{V_T}{\pi * r^2}$$

Donde:

L_R = longitud del tanque (m)

V_T = Volumen del tanque total (m^3)

r = radio del tanque (m)

$r = 1,6$ m (valor tomado de un tanque de 16000 L)

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 10% y se tiene:

$$L_T = L_R + L_R * 0,1$$

- **Cálculo del espacio de la espira entre el cilindro y el borde de la hélice**

Para este mezclador se consideran colocar una espira, de la cual se debe colocar a un espacio determinado entre la pared del cilindro y el borde de la espira.

$$espacio = \frac{2 * r}{100}$$

- **Cálculo del diámetro de la hélice externa**

$$D_e = 2 * r - 2 * espacio$$

- **Cálculo del diámetro de la hélice interna**

$$D_i = \frac{D_e}{\sqrt{2}}$$

- **Cálculo del número de espiras**

$$ne_i = \frac{L_T}{D_e}$$

Donde:

ne_i = longitud del tanque (m)

- **Cálculo de la longitud del eje**

$$L_{eje} = L_T - (S_{giro} + A)$$

Donde:

L_{eje} = Longitud del eje (m)

S_{giro} = Sistema de giro del eje (m)

A = Acoplamiento de los ejes (m)

- **Cálculo de la potencia de accionamiento del sistema de mezclado**

$$P = T * N$$

Donde:

P = Potencia del motor (kW)

T = Torque (Nm) (2784,81)

N = Revoluciones por minuto de giro (100 rpm)

Considerando una eficiencia del 80% la potencia total sería:

$$P_T = P * \frac{100}{\text{eficiencia}}$$

- **Esquema propuesto para el mezclador**

A continuación, se presenta un diseño estándar de un mezclador.

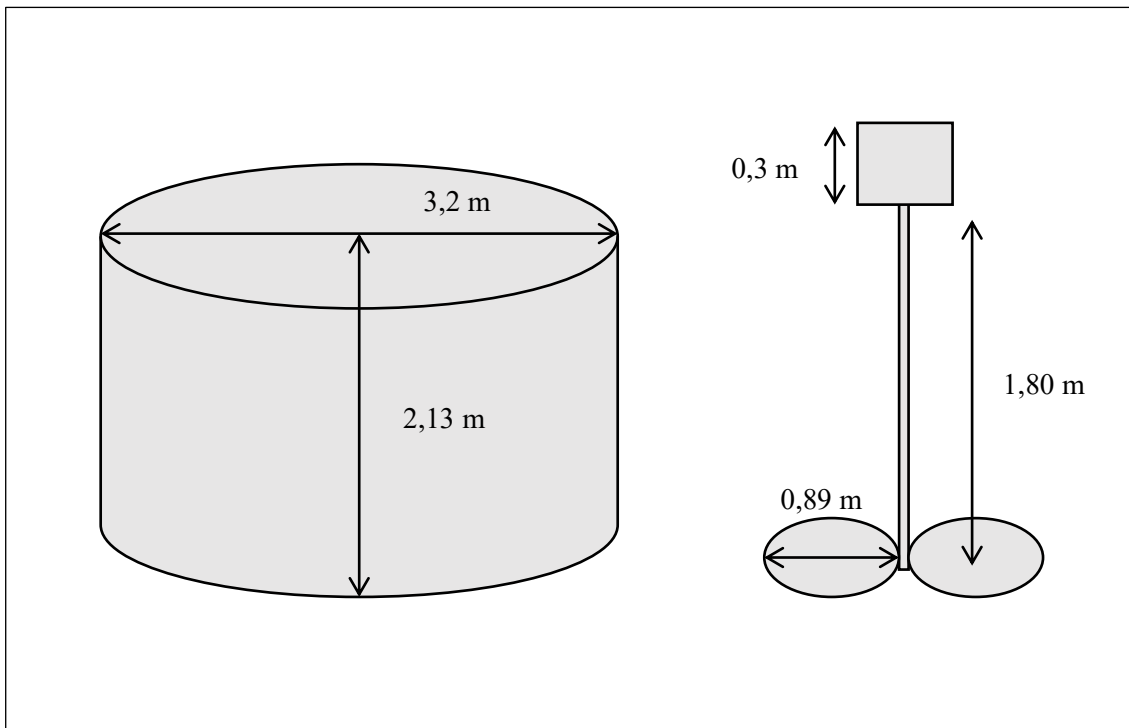


Figura 3-9: Esquema del mezclador

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.7. Diseño de un tamizador para el filtrado

Para especificar las dimensiones de un tamizador, se ha escogido un tamiz comercial ya que se adapta mejor a las necesidades del proceso de producción a nivel industrial para empresa ROLDEG SA Ecuador, el cual se detalla en la tabla 3-25.

Tabla 3-25: Especificaciones de un tamiz para el filtrado

Parámetro	Especificaciones
Tipo	Tamizadora circular vibratorio
Marca	RUSSELL FINEX
Modelo	FINEX 22” Sieve de alta velocidad
Número de tamices	2
Malla de sugerencia	Tamiz mesh 35
Línea de productos	Productos líquidos de alta viscosidad
Potencia	1,1 – 1,2 kW
Frecuencia	50 – 60 Hz
Potencia del motor	110/ 240 / 260 – 480 Hp
Material de construcción	Acero inoxidable AISI – 304

Fuente: (RUSSELL FINEX)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.8. Diseño de marmita

- **Cálculo del volumen de la marmita**

$$V_R = V_{mezcla} + V_g + V_{aa}$$

Donde:

V_R = Volumen del tanque requerido (m^3)

V_{mezcla} = Volumen de mezcla requerido (m^3)

V_g = Volumen de la glicerina (m^3)

V_{aa} = Volumen del ácido acético (m^3)

$$V_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{\rho_{mezcla}}$$

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 20% y se tiene:

$$V_T = V_R + V_R * 0,2$$

- **Cálculo de la longitud de la marmita**

$$L_R = \frac{V_T}{\pi * r^2}$$

Donde:

L_R = longitud de la marmita (m)

V_T = Volumen total de la marmita (m^3)

r = radio de la marmita (m)

$r = 1,6$ m (valor tomado de un tanque de 16000 L)

Aplicando un factor de seguridad para evitar derrames se aplica 10% y se tiene:

$$L_T = L_R + L_R * 0,1$$

- **Esquema propuesto para la marmita**

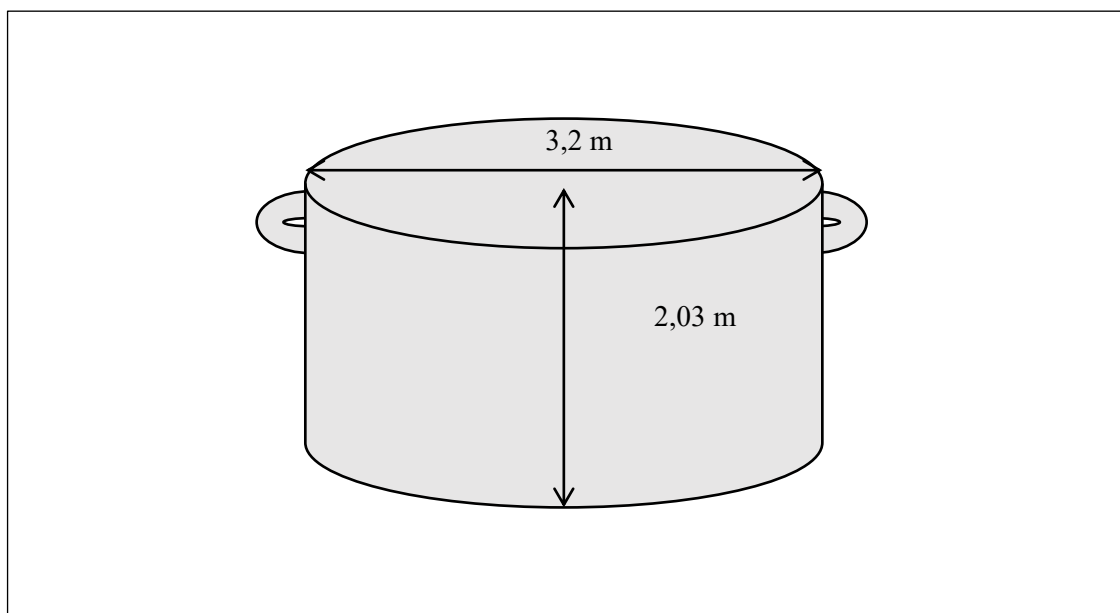


Figura 3-10: Esquema de una marmita

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.9. *Diseño de los moldes*

Para empezar con el dimensionamiento de los moldes se tiene que estipular que tamaño se desea obtener para las láminas de plástico biodegradable. En esta ocasión por el dimensionamiento del túnel de secado se estipula que de ancho será de 3,780 m, dado el caso se reducirá un 90 cm.

- **Cálculo del volumen del molde**

$$V_{moldes} = l * a * h$$

Donde:

l = longitud de los moldes (m)

a = ancho de los moldes (m)

h = altura de los moldes (m)

- **Cálculo del área del molde**

$$A_{moldes} = l * a$$

- **Cálculo de la capacidad de la mezcla por molde**

Se tiene que mencionar que por cada 0,01 m² tiene la capacidad de abarcar 0,27 g de mezcla. Por lo tanto, por el área del molde de 3,69 m² se tiene que calcular la masa total que abarca para tener una condición óptima de bioplástico.

$$m_{molde} = 9,85 \text{ kg}$$

Cada molde tiene una capacidad de 9,85 kg de mezcla, lo que resulta conveniente para la capacidad de mezcla total.

- **Esquema propuesto para el molde**

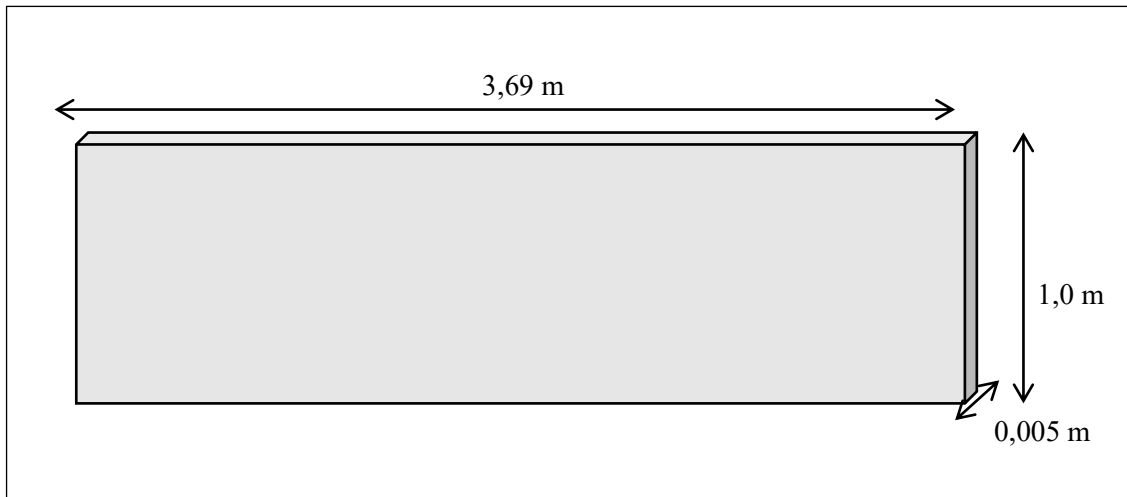


Figura 3-11: Esquema de los moldes

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.3.10. Diseño de túneles de secado

Para especificar las dimensiones del túnel de secado, se ha escogido un modelo comercial que se adapte a las necesidades del proceso de producción a nivel industrial para empresa ROLDEG SA Ecuador, el cual se detalla en la tabla 3-26.

Tabla 3-26: Especificaciones del túnel de secado

Parámetro	Especificaciones
Tipo	Túnel de secado por infrarrojos
Marca	BARNINI
Modelo	IR 3400
Longitud (mm)	20000
Ancho (mm)	3780
Temperatura máxima	120
Potencia	29 kW
Material de construcción	Chapa galvanizada y prepintada

Fuente: (BARNINI)

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

3.4. Distribución de la planta

La empresa ROLDEG SA Ecuador es una compañía con una estructura consolidada, donde tiene sus áreas de recepción de materia prima, producción, limpieza, almacenamiento, oficinas, entre otros. A pesar de eso las estructuras con las que cuenta no serían de gran ayuda para el diseño de

este proyecto, ya que la producción del plástico biodegradable abarca otro sistema de fabricación del que manejan en esta empresa. Por tal razón a continuación, se describirán las principales áreas con las que contara el diseño de este proceso industrial.

- **Área de selección y limpieza:** Esta área está pensada para recibir, seleccionar y limpiar a la materia prima (cáscara de banano). Por eso esta razón el proceso comenzara recibiendo la materia prima, hará una selección minuciosa donde las cáscaras que presenten cualquier indicio de maltrato serán desechadas, luego continuara el proceso de lavado donde se eliminara cualquier residuo que contenga la cáscara.
- **Área de producción:** En este espacio se centrará en todo el proceso de fabricación del plástico biodegradable, desde la etapa de blanqueado, la extracción del almidón y la obtención del producto. Cada etapa contara con un espacio individual para no interrumpir los procesos, además se controlarán las variables y operaciones unitarias involucradas en este proceso desde el ingreso de la materia prima hasta la obtención del producto.
- **Área de almacenamiento y bodegas:** Cada empresa cuenta con áreas de almacenamiento y bodega, ya que en ella se guardan los insumos para utilizar en el proceso de elaboración del producto. Aparte de ser un área donde se podrá almacenar el producto final en condiciones óptimas para su posterior uso.
- **Oficinas:** En este espacio se encontrarán las oficinas de administración, contaduría, gerencia, entre otros. Aunque este espacio puede ser acoplado justo con la administración que ya se encuentra funcionando en la empresa ROLDEG SA Ecuador.
- **Área de recreación:** Este espacio está pensado para que los operadores puedan tener un momento de receso en sus horas libres o en sus momentos de estrés y así poder salir un poco de la rutina, además de ser un área donde podrán convivir entre todos los trabajadores de la planta y tener convivencia.

3.5. Requerimiento de equipos, tecnología y maquinaria

3.5.1. Requerimiento de equipos

Para realizar una propuesta tecnológica se necesitan de cierto materiales y equipos, que nos ayudaran a agilizar el proceso de producción, además de facilitar la obtención del producto final.

Tabla 3-27: Requerimiento de equipos para la obtención de plástico biodegradable

Equipo	Descripción
Mesa de inspección	Construida en acero inoxidable 304, tiene una longitud de superficie de 0,15 m que ayudará para la supervisar las cáscaras de banano y retirar si no cumple con las especificaciones necesarias.
Tanques de blanqueo	Tanque construido en acero inoxidable 304, con una rejilla en la parte inferior que ayudara a retirar la solución rápidamente en el momento de terminado el tiempo de blanqueo y se encuentra cerrado en el momento del blanqueo.
Secador de bandejas	Sirve para eliminar el contenido de humedad de las cáscaras de banano y dejarlas de una estructura crocante. Esta construido en acero inoxidable 304, con 9 columnas que constan de 30 rejillas cada una.
Molino de martillos	Molino construido acero inoxidable AISI 304, sirve para reducir de tamaño las cáscaras de banano y dejarlas en partículas <0,125mm, haciendo creación del almidón.
Tamizador vibratorio	Construido en acero inoxidable AISI 304, sirve para clasificar las partículas del almidón de la cáscara de banano, partículas de gran tamaño son descartadas en este procedimiento, ya que se necesita partículas <0,125 mm.
Mezclador cilíndrico	Mezclador construido en acero inoxidable 304, sirve para mezclar los componentes acordes a la formulación planteada.
Marmita industrial	Sirve para gelatinizar el almidón e integrar toda la mezcla para obtener un plástico biodegradable en óptimas condiciones. Esta construido en acero inoxidable AISI 304.
Moldes	Construidos en material de teflón antiadherente para el secado del plástico biodegradable, se escoge este tipo de material que es útil a la hora de despegar el material del molde.
Túneles de secado	Sirve para el secado del plástico biodegradable, adaptada para trabajar a varias temperaturas a la vez y puede aumentar hasta una temperatura de 120 °C funciona con lámparas de infrarrojo. Construido en chapa galvanizada y con estructura prepintada, cuenta con paneles con aislamiento térmico de alta densidad.

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Caracterización físico-química de la cáscara de banano

Tabla 4-1: Características de la cáscara de banano

Parámetro		Característica	Método
Olor		Tropical fresco característico	Sensorial
Color		Amarillo verdoso – Amarillo claro	Sensorial
Sabor		Dulce amargo	Sensorial
Apariencia		Libre de impurezas, maltratos o materiales extraños	Sensorial
Textura	Por fuera	Lisa	Sensorial
	Por dentro	Blanda y esponjosa	

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-2: Resultados de la caracterización físico-química de la cáscara de banano

Parámetro	Características			Unidad	Método/Norma
	R1	R2	R3		
pH	5,70	5,53	5,65	-----	NTE INEN-ISO 1842:2013
Humedad	12,25	14,35	12,75	%	USP 731
Sólidos solubles totales	2,522	2,499	2,516	° Brix	ISO 2173: 1978

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.2. Caracterización física-química del almidón de la cáscara de banano

Tabla 4-3: Caracterización de almidón por vía seca con blanqueamiento de ácido cítrico

Formulación	Parámetro	Característica	Método
Formulación 1	Olor	Frutal amaderado	Sensorial
	Color	Chocolate	Sensorial
	Sabor	Amargo	Sensorial
	Textura	Suave	Sensorial
	Tamaño de partícula	< 0,125 mm	Sensorial

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-4: Caracterización de almidón por vía seca con blanqueamiento de peróxido de hidrógeno

Formulación	Parámetro	Característica	Método
Formulación 2	Olor	Ahumado	Sensorial
	Color	Caramelo	Sensorial
	Sabor	Dulce	Sensorial
	Textura	Suave	Sensorial
	Tamaño de partícula	< 0,125 mm	Sensorial

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-5: Caracterización del almidón por vía húmeda

Formulación	Parámetro	Característica	Método
Formulación 3	Olor	Mar y algas	Sensorial
	Color	Café	Sensorial
	Sabor	Levemente amargo	Sensorial
	Textura	Ligeramente áspera	Sensorial
	Tamaño de partícula	< 0,125 mm	Sensorial

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-6: Resultados de la caracterización físico-química de los almidones

Parámetro	Almidón			Unidad	Estándar	Método/Norma
	F1	F2	F3			
Humedad	7,448	8,068	6,469	%	6 – 16%	Meaño et al., (2014)
pH	5,12	5,7	6,34	-----	5 – 7	INEN 1456
Solubilidad	0,078	0,152	0,259	%	-----	FAO 163 (2017)
Viscosidad	53,7	10,3	25,5	cp.	840 – 1500 cp	ISI, 2002
Temperatura de gelatinización	69	74	70	°C	57,5 – 70 °C 78 °C	Grace,1977 Cárdenas,2018

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.3. Caracterización físico-química del plástico biodegradable

4.1.3.1. Análisis de humedad

Tabla 4-7: Resultados de humedad del plástico biodegradable

Contenido de humedad				
Tratamiento	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio (%)
Formulación 1	6,617	6,778	5,966	4,454
Formulación 2	9,310	8,659	8,086	8,685

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.3.2. Análisis de solubilidad en agua

Tabla 4-8: Resultados de solubilidad del plástico biodegradable

Porcentaje de solubilidad				
Tratamiento	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio (%)
Formulación 1	62,139	81,269	72,059	71,822
Formulación 2	79,481	90,824	86,25	85,518

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.3.3. Análisis de permeabilidad al vapor de agua

Tabla 4-9: Resultados de la permeabilidad del plástico biodegradable durante 6 horas

Permeabilidad al vapor de agua en 6 horas					
Tratamiento	Tiempo (h)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	Promedio (g)
Formulación 1	0	33,901	33,374	34,414	33,896
	1	33,938	33,400	34,435	33,924
	2	33,941	33,409	34,437	33,929
	3	33,988	33,421	34,457	33,955
	4	33,991	33,431	34,491	33,971
	5	34,068	33,483	34,495	34,015
	6	34,117	33,515	34,510	34,047
Formulación 2	0	34,607	34,200	35,018	34,608
	1	34,619	34,237	35,050	34,635
	2	34,634	34,242	35,054	34,643
	3	34,655	34,266	35,099	34,673
	4	34,661	34,286	35,113	34,687
	5	34,713	34,302	35,117	34,711
	6	34,812	34,366	35,220	34,799

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-10: Resultados de la permeabilidad al vapor de agua final del plástico biodegradable

Permeabilidad al vapor de agua final		
Tratamiento	Tiempo (h)	Resultado final (g/h.m.MPa)
Formulación 1	6	0,0559
Formulación 2	6	0,1024

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.3.4. Análisis de biodegradabilidad

- Análisis de biodegradabilidad en el suelo

Tabla 4-11: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en el suelo formulación 1

Biodegradabilidad en suelo formulación 1							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,323	0,0	0,336	0,0	0,330	0,0
	2	0,292	9,554	0,303	9,720	0,298	9,637
	4	0,263	18,625	0,272	18,924	0,268	18,775
	6	0,244	24,547	0,253	24,626	0,248	24,586
	8	0,242	25,043	0,252	25,061	0,247	25,052
	10	0,242	25,052	0,252	25,101	0,247	25,076
Anaeróbica	0	0,330	0,0	0,334	0,0	0,332	0,0
	2	0,328	0,492	0,332	0,478	0,330	0,485
	4	0,326	1,187	0,332	0,478	0,329	0,833
	6	0,326	1,187	0,332	0,478	0,329	0,833
	8	0,326	1,187	0,332	0,478	0,329	0,833
	10	0,326	1,187	0,332	0,478	0,329	0,833

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-12: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en el suelo formulación 2

Biodegradabilidad en suelo formulación 2							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,815	0,0	0,780	0,0	0,796	0,0
	2	0,737	9,545	0,712	8,655	0,725	9,100
	4	0,662	18,823	0,646	17,233	0,654	18,028
	6	0,619	24,064	0,592	24,140	0,605	24,102
	8	0,615	24,528	0,588	24,659	0,601	24,594
	10	0,615	24,524	0,587	24,779	0,601	24,651
Anaeróbica	0	0,687	0,0	0,553	0,0	0,620	0,0
	2	0,685	0,293	0,551	0,362	0,618	0,327
	4	0,684	0,405	0,550	0,481	0,617	0,443
	6	0,683	0,566	0,550	0,481	0,617	0,524
	8	0,678	1,255	0,550	0,481	0,614	0,868
	10	0,678	1,255	0,550	0,481	0,614	0,868

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Análisis de biodegradabilidad en el agua**

Tabla 4-13: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en agua formulación 1

Biodegradabilidad en agua formulación 1							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,502	0,0	0,506	0,0	0,504	0,0
	2	0,448	10,761	0,453	10,425	0,451	10,593
	4	0,385	23,330	0,392	22,583	0,388	22,956
	6	0,300	40,180	0,310	38,819	0,305	39,500
	8	0,267	46,730	0,279	44,936	0,273	45,833
	10	0,243	51,563	0,255	49,601	0,249	50,582
Anaeróbica	0	0,504	0,0	0,495	0,0	0,500	0,0
	2	0,502	0,413	0,493	0,369	0,498	0,391
	4	0,502	0,413	0,493	0,369	0,498	0,391
	6	0,502	0,413	0,493	0,369	0,498	0,391
	8	0,502	0,413	0,493	0,369	0,498	0,391
	10	0,501	0,590	0,492	0,511	0,497	0,551

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-14: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en agua formulación 2

Biodegradabilidad en agua formulación 2							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,778	0,0	0,750	0,0	0,764	0,0
	2	0,699	10,185	0,673	10,282	0,686	10,233
	4	0,607	22,037	0,581	22,550	0,594	22,294
	6	0,481	38,236	0,462	38,448	0,471	38,342
	8	0,431	44,555	0,413	44,868	0,422	44,712
	10	0,394	49,416	0,376	49,850	0,385	49,633
Anaeróbica	0	0,670	0,0	0,523	0,0	0,597	0,0
	2	0,668	0,321	0,521	0,360	0,594	0,340
	4	0,667	0,438	0,520	0,482	0,594	0,460
	6	0,666	0,620	0,520	0,482	0,593	0,551
	8	0,666	0,620	0,520	0,482	0,593	0,551
	10	0,666	0,620	0,520	0,482	0,593	0,551

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Análisis de biodegradabilidad en aire**

Tabla 4-15: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en aire formulación 1

Biodegradabilidad en aire formulación 1							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
	2	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
	4	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
	6	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
	8	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
	10	0,214	0,0	0,227	0,0	0,2205	0,0
Anaeróbica	0	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0
	2	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0
	4	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0
	6	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0
	8	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0
	10	0,229	0,0	0,265	0,0	0,247	0,0

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-16: Resultado de biodegradabilidad del plástico biodegradable en aire formulación 2

Biodegradabilidad en aire formulación 2							
Tratamiento	Tiempo (día)	R1		R2		Promedio	
		g	%	g	%	g	%
Aeróbica	0	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
	2	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
	4	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
	6	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
	8	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
	10	0,797	0,0	0,761	0,0	0,779	0,0
Anaeróbica	0	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0
	2	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0
	4	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0
	6	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0
	8	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0
	10	0,663	0,0	0,523	0,0	0,593	0,0

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Análisis de peso del plástico biodegradable**

En la tabla 4-17, se especifican el porcentaje de peso perdido desde el primer día de ingresos en los diferentes medios y al 10mo día correspondientes al último día.

Tabla 4-17: Análisis de peso de plástico biodegradable del primer día y el ultimo día

Prueba		Peso		Porcentaje (%)
		1er día	10mo día	
Formulación 1				
Biodegradabilidad aeróbica	Agua	0,502	0,243	51,563
		0,506	0,255	49,601
	Suelo	0,323	0,242	27,976
		0,336	0,252	25,000
	Aire	0,214	0,214	0,00
		0,227	0,227	0,00
Biodegradabilidad anaeróbica	Agua	0,504	0,057	88,690
		0,495	0,024	95,160
	Suelo	0,330	0,010	96,969
		0,334	0,080	76,048
	Aire	0,229	0,229	0,00
		0,265	0,265	0,00
Formulación 2				
Biodegradabilidad aeróbica	Agua	0,778	0,394	49,416
		0,750	0,376	49,850
	Suelo	0,815	0,615	24,524
		0,780	0,587	24,779
	Aire	0,797	0,797	0,00
		0,761	0,761	0,00
Biodegradabilidad anaeróbica	Agua	0,670	0,088	86,866
		0,523	0,020	96,176
	Suelo	0,687	0,009	98,689
		0,557	0,005	99,102
	Aire	0,663	0,663	0,00
		0,523	0,523	0,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.4. Caracterización mecánica del plástico biodegradable

4.1.4.1. Análisis de espesor

Tabla 4-18: Resultados del análisis de espesor del plástico biodegradable

Espesor				
Tratamiento	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	Promedio (mm)
Formulación 1	0,21	0,30	0,19	0,233
Formulación 2	0,34	0,34	0,33	0,337

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.4.2. Análisis de resistencia a la tracción

Tabla 4-19: Resultados del ensayo de tracción para la primera formulación del plástico biodegradable

Ensayo de tracción primera formulación					
Pruebas	Unidad	R1	R2	R3	Promedio
Espesor	mm	0,21	0,30	0,19	0,233
Anchura	mm	9,18	9,21	9,18	9,190
Longitud inicial	mm	25,00	25,00	25,00	25,00
Sección transversal	mm ²	1,93	2,76	1,74	2,143
Módulo de Elasticidad	MPa	2,803E+00	3,003E+00	3,371E+00	3,059E+00
Carga de fluencia	N	2,14	3,59	2,44	2,723
Esfuerzo de fluencia	MPa	1,11	1,30	1,40	1,270
Carga máxima	N	2,24	4,00	2,54	2,927
Esfuerzo máximo	MPa	1,16	1,45	1,46	1,357
Porcentaje de elongación	%	6,00	6,84	7,00	6,613

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-20: Resultados del ensayo de tracción para la segunda formulación del plástico biodegradable

Ensayo de tracción segunda formulación					
Pruebas	Unidad	R1	R2	R3	Promedio
Espesor	mm	0,34	0,34	0,33	0,337
Anchura	mm	9,02	9,09	9,36	9,157
Longitud inicial	mm	25,00	25,00	25,00	25,00
Sección transversal	mm ²	3,07	3,09	3,09	3,083
Módulo de Elasticidad	MPa	1,557E+00	1,774E+00	1,739E+00	1,690E+00
Carga de fluencia	N	2,02	1,95	2,59	2,187

Esfuerzo de fluencia	MPa	0,66	0,63	0,84	0,710
Carga máxima	N	2,11	2,02	2,76	2,297
Esfuerzo máximo	MPa	0,69	0,65	0,89	0,743
Porcentaje de elongación	%	3,92	4,44	6,24	2,867

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.5. Rendimiento de los procesos en laboratorio

4.1.5.1. Rendimiento de las formulaciones para extraer almidón

Tabla 4-21: Rendimiento de cada formulación analizada para la extracción de almidón

PROCESO	RENDIMIENTO GLOBAL	Unidad
Formulación del primer método	13,30	%
Formulación del segundo método	10,58	%
Formulación del tercer método	0,33	%

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.5.2. Rendimiento de las formulaciones para obtener plástico biodegradable

Tabla 4-22: Rendimiento de cada formulación analizada para obtener del plástico biodegradable

PROCESO	RENDIMIENTO GLOBAL	Unidad
Formulación del primer método	14,09	%
Formulación del segundo método	12,5	%

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.6. Validación del producto obtenido

- **Validación por la norma NTE INEN 2643:2012**

La norma NTE INEN 2643:2012, especificación para plástico compostables. La norma nos indica que para un plástico sea etiquetado como compostable debe tener características de desintegración durante el compostaje, biodegradación inherente y no tener impactos sobre la capacidad del compost para mantener el crecimiento vegetal.

La norma específica que si después de doce semanas el plástico tiene un 10% de peso este se considera compostable, por desintegración durante el compostaje. Como se observa en la tabla 4-23 este dato si lo cumple el producto final, ya que después de 10 días el producto en agua y tierra a disminuido su tamaño.

Tabla 4-23: Porcentaje de biodegradabilidad en el décimo día

Biodegradabilidad			
Tratamiento	Tiempo (día)	Promedio	
		Gramos disminuidos (g)	Porcentaje disminuido (%)
Formulación 1			
Agua	10	0,255	50,582
Suelo	10	0,083	26,488
Aire	10	0,00	0,000
Formulación 2			
Agua	10	0,379	49,633
Suelo	10	0,197	24,652
Aire	10	0,00	0,000

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Por lo tanto, el producto obtenido según los análisis de biodegradabilidad en suelo, aire y tierra en medios aeróbicos cumplen con lo especificado en la norma, por lo cual la validación de desintegración durante el compostaje se hace válida, catalogando al plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano un plástico compostable. Se destaca que en medio acuoso se perdió 50,582 y 49,633% ya que el producto es soluble en agua, en cambio en tierra se perdió un 26,488 y 24,652% porque la tierra absorbió toda el agua del material y dejándolo crocante lo que resulta buen material para colocarlo en el compost y, por último, el material en aire 0,00 y 0,00%, esto se dio por motivos de que no se sometió a ningún medio.

- **Validación por la norma NTE INEN 2635:2012**

La norma NTE INEN 2635:2012, método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. La norma indica que todo plástico con espesor inferior de 1,0 mm puede utilizar este método ensayo para sus pruebas. En la tabla 4-24, se muestran los resultados obtenidos mediante la implementación de esta norma.

Tabla 4-24: Resultados de ensayo de tracción

Ensayo de tracción		
Pruebas	Unidad	Promedio
Espesor	mm	0,233
Anchura	mm	9,190
Longitud inicial	mm	25,00
Sección transversal	mm ²	2,143

Módulo de Elasticidad	MPa	3,059E+00
Carga de fluencia	N	2,723
Esfuerzo de fluencia	MPa	1,270
Carga máxima	N	2,927
Esfuerzo máximo	MPa	1,357
Porcentaje de elongación	%	6,613

Realizado por: Armijos, Adela, 2023



- **Validación en prueba de embalaje con el producto**







El plástico biodegradable obtenido a partir de la cáscara de banano conserva al 100% los alimentos; para esto se puso a prueba una muestra del producto de la empresa ROLDEG SA Ecuador. Esta prueba empieza con el empaquetado del producto con el plástico obtenido y otra parte se deja a temperatura ambiente por una semana. Otra prueba realizada fue el recubrimiento de una frutilla y otra a temperatura ambiente, así mismo dejándola al medio ambiente por una semana.

Las pruebas dieron resultados óptimos, ya que el empaquetado del producto de la empresa pasada una semana luce parecido como al producto inicial, en cambio el producto dejado al medio ambiente luce cambios de resequedad y se aprecia ligeramente mohos. Estos resultados se muestran en la tabla 4-25.

La prueba realizada a la frutilla a la semana mostró diferencias significativas. La frutilla recubierta conservo su frescura, su olor, su apariencia, en cambio la frutilla al ambiente tenía una apariencia de descomposición, olor amargo y tenía gran precia de mohos. Estos resultados se muestran en la tabla 4-25.

Tabla 4-25: Resultados de apariencia en el recubrimiento del producto de la empresa ROLDEG

Muestra	Tiempo (día)	Recubierta	Sin recubrir
Producto de la empresa ROLDEG	0		

	7		
Frutilla	0		
	7		

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.7. Resultados para el dimensionamiento de equipos

Tabla 4-26: Dimensionamiento de equipos

Equipo	Descripción	Material	Parámetros	Medidas	Unidad
Mesa para la inspección visual	Mesa rectangular	Acero inoxidable 304	Ancho de la mesa	0,95	m
			Largo de la mesa	2,5	m
			Altura de la caja de la mesa	0,15	m
			Altura de la mesa	0,95	m
			Capacidad de la mesa	288,36	kg
			Volumen de la mesa	0,356	m ³
Recipiente para la etapa de blanqueado	Tanque cilíndrico con una ranura en la parte inferior recubierta por una malla	Acero inoxidable 304	Radio de recipiente	1,16	m
			Diámetro del recipiente	2,32	m
			Longitud del recipiente	2,04	m
			Volumen total	7,812	m ³
			Capacidad por introducir	5900	kg
			Malla de recubrimiento	0,2	cm
			Diámetro de ranura	0,2	m
			Largo de la ranura	0,1	m

Secador	Secador de bandejas	Acero inoxidable 304	Calor necesario para secar la materia prima	2875,14	kcal
			Calor necesario para evaporar el agua	338234,3	kcal
			Calor total para el secado	396,44	kW/h
			Volumen de aire suministrado por el ventilador	1243,76	m ³
			Caudal de aire suministrado por el ventilador	51,82	m ³ /h
			Área de las bandejas	176	m ²
			Número de bandejas	270	----
			Área por bandeja	0,652	m ²
			Longitud de la bandeja	0,932	m
			Ancho de la bandeja	0,699	m
			Altura del secador	1,95	m
			Ancho del secador	2,472	m
Largo del secador	3,575	m			
Molino	Molino de martillos	Acero inoxidable 304	Potencia del motor	15-20	Hp
			Número de martillos	50	---
			Capacidad	1-2	ton/h
			Cámara de molienda	500x750	mm
			Peso estimado	250	kg
Tamizador	Tamizador vibratorio	Acero inoxidable 304	Número de tamices	1-4	----
			Superficie de tamiz	0,445	m ²
			Tamaño de partícula	< 0,125	mm
			Potencia	1,1 – 1,2	kW
			Frecuencia	50-60	Hz
			Potencia del motor	110-480	Hp
Mezclador	Tanque cilíndrico con una hélice	Acero inoxidable 304	Radio de tanque	1,16	m
			Diámetro del recipiente	3,2	m
			Longitud del recipiente	2,13	m
			Volumen total	15,58	m ³
			Capacidad por introducir	13000	kg
			Espacio entre el cilindro y la hélice	0,032	m
			Diámetro de la hélice externa	3,136	m
			Diámetro de la hélice interna	2,22	m
			Número de espiras	1	---
			Longitud del eje	0,89	m
Potencia de accionamiento	9	hp			
Tamizador para el filtrado	Tamizadora circular vibratorio	Acero inoxidable 304	Número de tamices	2	----
			Superficie de tamiz	0,445	m ²
			Tamaño de partícula	< 0,35	mm
			Potencia	1,1 – 1,2	kW
			Frecuencia	50-60	Hz

			Potencia del motor	110-480	Hp
Marmita industrial	Recipiente cilíndrico	Acero inoxidable 304	Radio de recipiente	1,6	m
			Diámetro del recipiente	3,2	m
			Longitud del recipiente	2,03	m
			Volumen total	14,76	m ³
			Capacidad por introducir	13000	kg
Moldes	Recipiente cuadrado	Teflón antiadherente	Volumen del molde	0,018	m ³
			Área del molde	3,69	m ²
			Longitud	1,0	m
			Ancho	3,69	m
			Altura	0,005	m
			Capacidad por molde	9,85	kg
Túnel de secado	Túnel de secado por infrarrojo	Chapa galvanizada y prepintada	Longitud	20000	mm
			Ancho	3780	mm
			Temperatura máxima	120	°C
			Potencia	29	kW

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.8. *Proceso de producción*

4.1.8.1. *Materia prima y reactivos*

Materia prima

- Cáscara de banano

Reactivos

- Ácido acético
- Ácido cítrico
- Agua destilada
- Agua purificada
- Glicerina
- Maicena
- CMC

4.1.8.2. *Diagrama de flujo del proceso*

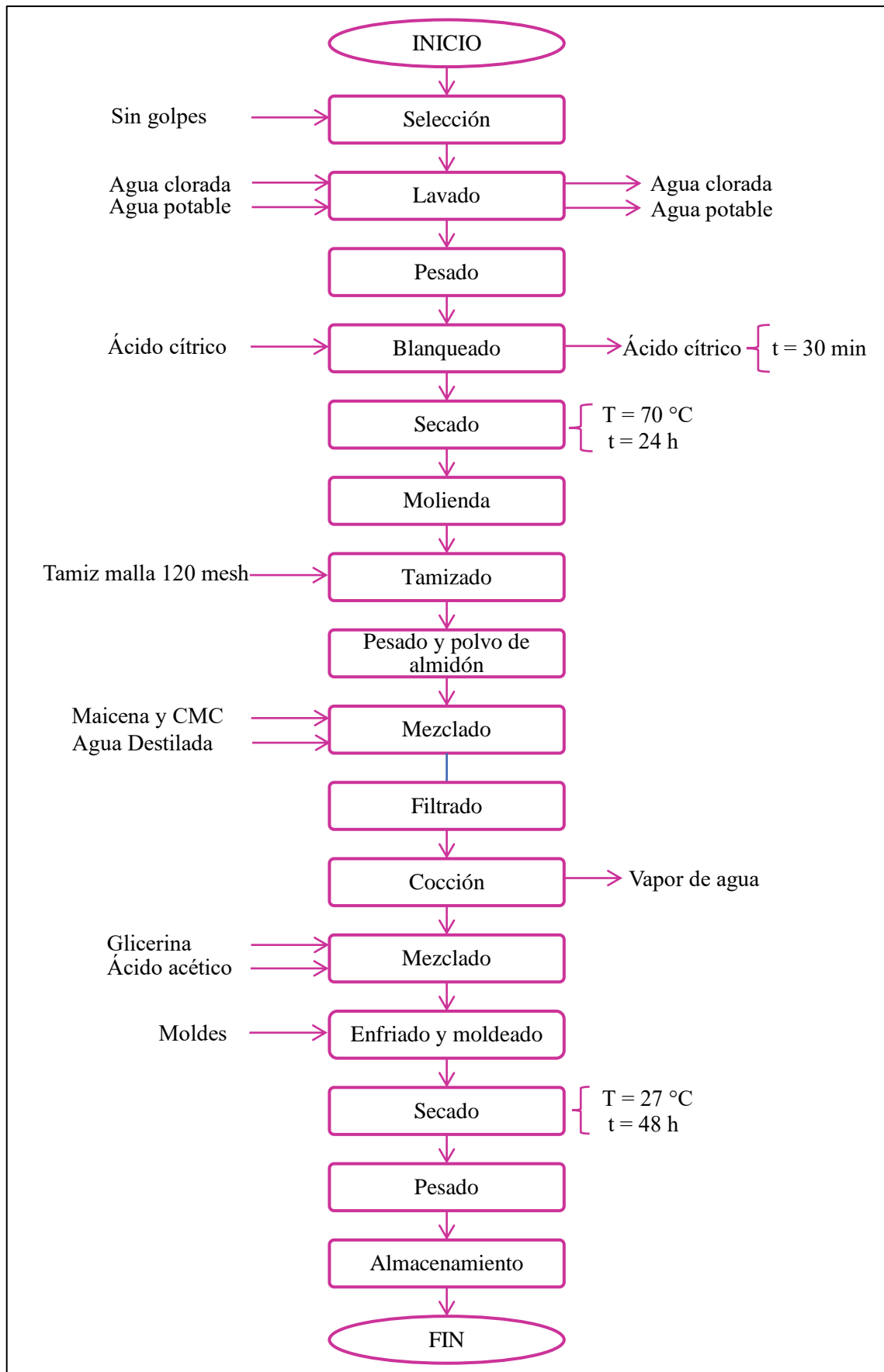


Figura 4-1: Diagrama de flujo para la obtención del plástico biodegradable

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.8.3. Descripción del proceso

- **Recepción y selección de la materia prima:** El proceso comienza con la etapa de recepción y selección de la materia prima, donde se realizó una inspección visual y sensorial para controlar el olor, el color, la textura y la apariencia. Con eso nos aseguramos una buena calidad para el proceso, toda cáscara con golpes y con apariencia poco agraciada fue descartada en esta fase.
- **Lavado:** Pasada la selección se continuó con la etapa de lavado donde se eliminan todo tipo de residuo, tierra o suciedad que haya quedado en la cáscara. En esta etapa se comenzó con un lavado en agua clorada, luego se pasó a un lavado con agua potable para eliminar cualquier residuo de cloro que haya quedado en la materia prima.
- **Pesado:** Una vez lavado se dejó en reposo unos 10 minutos para eliminar el exceso de agua pueda contener la cáscara. Luego se procedió a pesar para tomar constancia del rendimiento a la salida del producto. Para este caso se utilizaron 3 kg de la cáscara de banano.
- **Blanqueado:** Una vez controlado el peso inicial se pasó al proceso de blanqueado donde se comenzó por preparar la solución de ácido cítrico donde se coloca 25,6608 g por cada litro de agua necesaria para sumergir por completo a las cáscaras. Para nuestro procedimiento se utilizó 5 litros de agua purificado por tanto se colocó 128,304 g de ácido cítrico y se disolvió la mezcla. Luego se colocaron las cáscaras de banano hasta cubrirlas completamente y se dejó reposar en la solución por un lapso de 30 minutos, este proceso también sirve como antipardeamiento para evitar la rápida oxidación de las cáscaras
- **Secado:** Una vez terminado el tratamiento de blanqueado, se procedió a drenar la solución de ácido cítrico y se dejó reposar por 5 minutos hasta observar que la solución se haya escurrido completamente. Luego las cáscaras de banano se las colocó en rejillas previamente envueltas en papel encerado, para posteriormente colocarlas en la estufa de secado a una temperatura de 70 °C por un período de 24 horas. Si después del tiempo estimado, las cáscaras todavía contienen humedad se deja en la estufa por cuatro horas más o hasta observar que las cáscaras de banano tengan una consistencia crocante.
- **Molienda:** Las cáscaras secas con consistencia crocante se someten a un proceso de molienda, hasta obtener gránulos pequeños.

- **Tamizado:** El material molido se lo tamizó con un tamiz malla 120 mesh o 125 microns y se obtuvieron partículas <0,125 milímetros. Las partículas que se quedaron por encima del tamiz volvieron al proceso molienda para obtener partículas < 0,125 milímetros.
- **Pesado:** Se pesó el material tamizado (almidón) para constatar el rendimiento.
- **Mezclado:** Se colocó en un vaso de precipitación el agua destilada con el almidón de la cáscara de banano, el CMC y la maicena, estos componentes se agitaron hasta obtener una masa homogénea.
- **Filtrado:** Homogenizada la mezcla se procedió a filtrar con un cedazo para eliminar cualquier sustancia densa o grumo que haya quedado.
- **Cocción:** La solución filtrada se colocó en una marmita, para posteriormente situarla en una estufa de cocción a una llama mediamente baja. Esta masa se agitó hasta obtener una mezcla gelatinosa eso ocurre hasta una temperatura de 75 °C.
- **Mezclado:** Obtenida la mezcla gelatinosa se quitó del fuego y se añadió la glicerina y el ácido acético, se agitó la mezcla hasta homogenizar, este proceso se realiza en círculos para evitar el ingreso de aire e impedir la generación de burbujas.
- **Enfriado y moldeado:** Homogenizada la mezcla, se dejó reposar por 30 minutos hasta enfriar la solución. Luego se colocó la mezcla sobre un molde.
- **Secado:** Una vez la mezcla se encontró en el molde, se lo colocó en un lugar apartado para evitar contacto con algún residuo y se dejó reposar por un periodo de 48 horas a temperatura ambiente para conseguir las propiedades cualitativas deseadas, o se coloca la mezcla en una estufa de secado a una temperatura de 30 °C por un período de 24 horas.
- **Pesado:** Pasado el tiempo de secado se desmoldo el plástico biodegradable y se continuó con el pesado.
- **Almacenado:** Finalmente pesado el plástico biodegradable, se almacena para realizar las pruebas preliminares y su posterior uso.

4.1.9. Resultados del balance de masa y energía

En la tabla 4-27 se presentan las entradas y salidas de flujos, a su vez se destacan el rendimiento obtenido en cada procedimiento

Tabla 4-27: Resultados del balance de masa

Proceso	Entrada de flujo (g)	Perdidas (g)	Salida de flujo (g)	Rendimiento (%)
Selección de materia prima	3000,00	90,00	2910,00	97,0
Lavado	2910,00	14,55	2895,45	99,5
Pesado	2895,45	0,00	2895,45	100,0
Blanqueado	2895,45	0,00	2895,45	100,0
Secado	2895,45	2578,85	316,60	10,9
Molienda	316,60	10,20	306,40	96,8
Tamizado	306,40	0,00	306,40	100,0
Pesado	306,40	0,00	306,40	100,0
Mezclado	162,00	13,00	149,00	91,9
Filtrado	149,00	0,10	148,90	99,9
Cocción	148,90	11,90	137,00	92,0
Mezclado	149,00	7,00	142,00	95,3
Enfriado	142,00	0,00	142,00	100,0
Secado	142,00	119,00	23,00	16,2
Pesado	23,00	0,00	23,00	100,0

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-28: Resultados del balance de energía

Proceso	Parámetro	Resultado	Unidades
Secador	Entalpía del aire a la entrada	410,80	J/kg
	Entalpía del aire a la salida	385,01	J/kg
	Entalpía del sólido	39359	kJ
	Calor producido por el secador	418176	kJ
	Eficiencia energética	9,41	%
Cocción	Área total de transferencia de calor	0,021	m ²
	Calor perdido en las paredes del recipiente	0,0058	kW
	Calor ganado por la mezcla	38,3	W
	Calor suministrado por el reverbero	32,5	W
	Coefficiente global de transferencia de calor en el recipiente de cocción	34,392	W/m ² x °C

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10. Análisis de costo-beneficio

4.1.10.1. Presupuesto

- **Inversión fija de maquinaria y equipos**

Con el propósito de calcular los costos estimados para adquirir los equipos y maquinarias requeridos en el proceso de producción del plástico biodegradable. Se ha empleado el sitio web Alibaba.com como fuente de referencia. Dicha plataforma se ha seleccionado por su idoneidad en la adquisición de equipos industriales. A continuación, se detallan los precios específicos de los diversos equipos, no obstante, es relevante destacar que estas cifras son un estimado, ya que el precio puede sufrir modificaciones.

Tabla 4-29: Presupuesto de maquinaria y equipos

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Mesa para inspección visual	4	\$ 150,00	\$ 600,00
Recipiente para la etapa de blanqueado	6	\$ 950,00	\$ 5.700,00
Secador de bandejas	1	\$ 5.500,00	\$ 5.500,00
Molino de martillos	1	\$ 850,00	\$ 850,00
Tamizador vibratorio	1	\$ 1.150,00	\$ 1.150,00
Mezclador	1	\$ 9.600,00	\$ 9.600,00
Tamizadora circular vibratorio	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Marmita industrial	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Moldes	100	\$100,00	\$10.000,00
Túnel de secado por infrarrojo	2	\$ 13.000,00	\$ 13.000,00
Subtotal			\$49.600,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Inversión en planta de producción**

Es importante considerar las adecuaciones principales y necesarias para garantizar el funcionamiento óptimo de la planta de producción.

Tabla 4-30: Inversión en la planta de producción

Inversión	Costo
Servicios básicos y modificaciones a la estructura	\$ 2.000,00
Adecuaciones en el área de producción	\$ 800,00
Subtotal	\$ 2.800,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Inversión para la mano de obra**

Igualmente, es de relevancia contar con recursos financieros reservados para cubrir los gastos relacionados con el personal y para llevar a cabo formaciones directas dirigidas hacia los socios y los miembros del equipo de trabajo.

Tabla 4-31: Mano de obra para la instalación del proceso

Inversión	Costo
Mano de obra para la instalación completa de los equipos	\$ 900,00
Mano de obra para la adecuación de la planta productora	\$ 800,00
Capacitaciones a los socios y trabajadores de la planta	\$ 500,00
Subtotal	\$ 2.200,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Presupuesto total**

Como resumen de la inversión fija de los costos por mano de obra de instalación, planta de producción, las maquinarias y equipos debemos tener un capital total de \$54.600,00; para iniciar el proyecto para la fabricación del plástico biodegradable.

Tabla 4-32: Inversión fija

Inversión	Costo
Costo de equipos para la línea de producción	\$49.600,00
Inversión en la planta de producción	\$ 2.800,00
Mano de obra para la instalación del proceso	\$ 2.200,00
Total	\$54.600,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.2. Determinación de egresos

- **Costos de la materia prima**

Los costos de la materia prima se han determinado tomando como referencia un ingreso de 5900 kg de cáscara de banano, que constituye a un lote de producción estándar. Sin embargo, es esencial destacar que estas cifras podrían experimentar variaciones en función de la capacidad de generación de residuos orgánicos por parte de la empresa ROLDEG SA Ecuador.

Tabla 4-33: Costos de materia prima insumos

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Cáscara de banano	5900	Kg	\$ 0,00	\$ 0,00
Maicena	242	Kg	\$ 1,00	\$ 242,00
Glicerina	0,305	Kg	\$ 8,50	\$2,59
Ácido acético	724	L	\$ 0,78	\$ 564,72
CMC	121	Kg	\$ 8,00	\$ 968,00
Agua purificada	12,052	m ³	\$ 0,35	\$4,22
Subtotal por lote				\$1.781,53
Subtotal mensual				\$5.344,59
Costo anual				\$64.135,11

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Costos de mano de obra**

Para el funcionamiento del área producción se requiere operarios que controlen cada etapa, por esta razón, en la tabla 4-28 se especifican los costos de mano de obra, sin considerar el área administrativa.

Tabla 4-34: Costos de mano de obra

Personal	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operarios	4	\$ 450,00	\$ 1.800,00
Técnico	1	\$500,00	\$500,00
Subtotal			\$2.300,00
Costo anual			\$27.600,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Costos fijos**

En los costos fijos se consideran todos los costos que permanecen relativamente constantes a lo largo de un periodo de tiempo, sin importar los niveles de producción o ventas.

Tabla 4-35: Costos fijos

Rubros	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Luz eléctrica	1	\$ 200,00	\$200,00
Suministro de aseo	1	\$ 60,00	\$60,00
Suministros de oficina	1	\$ 25,00	\$25,00
Agua	20	\$ 0,35	\$7,00
Equipos de protección personal	3	\$ 20,00	\$60,00
Gas industrial	2	\$ 15,00	\$30,00
Combustible	1	\$ 100,00	\$100,00
Subtotal			\$482,00
Costo anual			\$5.784,00

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

- **Egresos totales**

En la tabla 4-33, se resume todos los egresos anuales que se obtendrá en la fabricación del plástico biodegradable.

Tabla 4-36: Egresos anuales

Inversión	Costo
Costo de la materia prima	\$64.135,11
Costos de mano de obra	\$27.600,00
Costos fijos	\$5.784,00
Total	\$97.519,11

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.3. Costos totales de la inversión fija y los egresos

Se asignará un fondo equivalente al 5% del monto total recaudado para abarcar los gastos relacionados con la inversión fija y los posibles egresos inesperados. Este fondo se destinará a enfrentar cualquier inconveniente o complicación que pueda surgir y que tenga un impacto directo en la ejecución exitosa del proyecto.

Tabla 4-37: Costos totales de la inversión fija y egresos

Descripción	Valor
Inversión fija	\$54.600,00
Inversión fija + Improvistos (5%)	\$57.330,00
Egresos anuales	\$97.519,11
Egresos anuales + Improvistos (5%)	\$102.395,07

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.4. Determinación de ingresos anuales

Se estima el costo de venta por cada unidad del producto para el público en general, ya que este cálculo juega un papel fundamental en la generación de ingresos de la empresa ROLDEG SA Ecuador. La fabricación se ejecutará en tres tandas mensuales, y se tiene como objetivo lograr un margen de beneficio del 20%.

- **Costos de producción del plástico biodegradable**

$$CP = \frac{\text{Inversión fija} + \text{egresos anuales}}{\text{número de unidades producidas}}$$
$$CP = \frac{54600 + 97519,11}{84550}$$
$$CP = 1,79$$

- **Costo de venta**

$$PVP = CP \times \left(\frac{100}{100 - U} \right)$$

Donde:

PVP: Precio de venta

CP: Costo de producción

U: Utilidad deseada

$$PVP = 1,79 \times \left(\frac{100}{100 - 20} \right)$$
$$PVP = 2,24$$

Tabla 4-38: Ingresos anuales

Costo de producción anual	Unidades producidas mensualmente	Costo Unitario	Precio de venta	Ingreso anual
\$102.395,07	74524 unidades de fundas de 14x17	\$0,62	\$ 0,78	\$86.996,93
	10026 unidades de fundas de 24x40	\$ 1,16	\$ 1,45	
Total				\$86.996,93

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.5. Presupuesto de costos y gastos

Tabla 4-39: Presupuesto de costos y gastos

DETALLE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
COSTOS Y GASTOS DIRECTOS					
Costos de producción					
Materia prima directa	\$64.135,11	\$67.341,83	\$67.341,83	\$67.341,83	\$67.341,83
Mano de obra directa	\$27.600,00	\$28.980,00	\$28.980,00	\$28.980,00	\$28.980,00
Subtotal	\$91.735,11	\$96.321,83	\$96.321,83	\$96.321,83	\$96.321,83
COSTOS Y GASTOS INDIRECTOS					
Gastos de producción					
Luz eléctrica	\$2.400,00	\$2.520,00	\$2.520,00	\$2.520,00	\$2.520,00
Suministro de aseo	\$720,00	\$756,00	\$756,00	\$756,00	\$756,00
Suministros de oficina	\$300,00	\$315,00	\$315,00	\$315,00	\$315,00
Agua	\$84,00	\$88,20	\$88,20	\$88,20	\$88,20
Equipos de protección personal	\$720,00	\$756,00	\$756,00	\$756,00	\$756,00
Gas industrial	\$360,00	\$378,00	\$378,00	\$378,00	\$378,00
Combustible	\$1.200,00	\$1.260,00	\$1.260,00	\$1.260,00	\$1.260,00
Depreciación	\$116,20	\$116,20	\$116,20	\$116,20	\$116,20
Subtotal	\$5.900,20	\$6.189,40	\$6.189,40	\$6.189,40	\$6.189,40
GASTOS ADMINISTRATIVOS Y DE VENTAS					
Salarios	\$5.400,00	\$5.670,00	\$5.670,00	\$5.670,00	\$5.670,00
Publicidad	\$1.200,00	\$1.260,00	\$1.260,00	\$1.260,00	\$1.260,00
Subtotal	\$6.600,00	\$6.930,00	\$6.930,00	\$6.930,00	\$6.930,00
Total	\$104.235,31	\$109.441,23	\$109.441,23	\$109.441,23	\$109.441,23

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.6. Flujo de caja

Tabla 4-40: Indicadores económicos para la producción de plástico biodegradable

Tasa de interés	5 %
VAN	7154,80
TIR	16%
Año de recuperación	3 años y 4 meses

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

Tabla 4-41: Flujo de caja

Cuentas	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas Netas		\$86.996,93	\$91.346,78	\$95.914,12	\$100.709,82	\$105.745,31
Costos de producción		\$64.135,11	\$67.341,87	\$67.341,87	\$67.341,87	\$67.341,87
Costos administrativos y de ventas		\$6.600,00	\$6.930,00	\$6.930,00	\$6.930,00	\$6.930,00
Utilidades antes de impuestos		\$16.261,82	\$17.074,91	\$21.642,25	\$26.437,96	\$31.473,45
15% Utilidad trabajadores		\$2.439,27	\$2.561,24	\$3.246,34	\$3.965,69	\$4.721,02
Utilidad antes de impuesto a la renta		\$13.822,55	\$14.513,67	\$18.395,91	\$22.472,26	\$26.752,43
25% de impuesto a la renta		\$3.455,64	\$3.628,42	\$4.598,98	\$5.618,07	\$6.688,11
Utilidad neta		\$10.366,91	\$10.885,26	\$13.796,93	\$16.854,20	\$20.064,32
Gasto depreciación		\$116,20	\$116,20	\$116,20	\$116,20	\$116,20
Inversión fija	\$-54.600,00					
Capital socio préstamo	\$10.000,00					
Flujo de caja	\$-44.600,00	\$10.483,11	\$11.001,46	\$13.913,13	\$16.970,40	\$20.180,52
Flujo de caja acumulado	\$-44.600,00	\$-34.116,89	\$-23.115,43	\$-9.202,30	\$7.768,10	\$27.948,62

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.1.10.7. Comparación de los gastos de la empresa utilizando plásticos convencionales y gastos de la empresa implementando este diseño

Tabla 4-42: Comparación de gastos entre el plástico tradicional y el plástico biodegradable

Producto	Cantidad	Gasto por mes	Ahorro
Plástico biodegradable	84550	\$5.344,59	28%
Plástico tradicional	7600	\$ 1.918,20	---

Realizado por: Armijos, Adela, 2023

4.2. Análisis e interpretación de resultados

Caracterización de la materia prima

De acuerdo a los estudios realizados, los resultados obtenidos que se observan en la tabla 4-1 sobre la caracterización de la cáscara de empresa ROLDEG SA Ecuador, a través de pruebas de control sensorial, revelan atributos distintivos que proporcionan información valiosa sobre la calidad y las características del material, ya que, el aroma fresco y tropical característico del banano sugiere su autenticidad y naturaleza fresca; por otra la variación de color entre amarillo verdoso y amarillo claro es consistente con la apariencia visual típica de un banano maduro. El sabor dulce con un matiz ligeramente amargo añade una dimensión sensorial única, mientras que la apariencia libre de impurezas y daños visibles es indicativa de la integridad de la materia prima, y finalmente se reporta un textura suave y esponjosa en el interior, contrastada con la superficie lisa por fuera.

Caracterización físico-química de la cáscara de banano

En la tabla 4-2, se hace referencia a los resultados obtenidos respecto a las pruebas físico-químicas donde se observa un pH que varía de 5,5 a 5,7 valor parecido al reportado por (Mondragón et al., 2018, p. 23) con un pH entre 4,86 y 5,61 y (Martínez y Bermúdez, 2016, p. 46) con un pH de 4,42 y 5,27; respecto al contenido de humedad se obtuvo valores entre 8,75 y 14,35% valor parecido al reportado por (Mondragón et al., 2018, p. 23) con un contenido de humedad entre 8,30 y 8,50%; finalmente en los sólidos solubles totales se reportó valores entre 2,499 y 2,522 °Brix.

Caracterización del almidón

El proceso de caracterización de los tres tipos de almidón extraídos de la cáscara de banano involucra diversas pruebas, comenzando con las evaluaciones sensoriales. Los resultados

obtenidos para cada formulación proporcionan información importante sobre las cualidades organolépticas de los almidones. En la primera formulación señalado en la tabla 4-3, se destaca un aroma frutal amaderado, un color chocolate y un sabor amargo, junto con una textura suave y un tamaño de gránulo inferior a 0,125 mm. Para la segunda formulación reportado en la tabla 4-4, donde señala un olor ahumado, un color caramelo y un sabor dulce, junto con una textura suave y un tamaño de gránulo también menor a 0,125 mm. Finalmente, la tercera formulación se reporta en la tabla 4-5, donde señala que presenta un olor a mar y algas, un color café y un sabor ligeramente amargo, con una textura ligeramente áspera y un tamaño de gránulo inferior a 0,125 mm. Estos resultados proporcionan una comprensión detallada de las características sensoriales únicas de cada almidón.

Respecto a las pruebas físico-químicas realizadas al producto los resultados se detallan en la tabla 4,6 en donde se observó que la mayor humedad se presentó en la F2 con un 8,068% mientras que la menor humedad se reportó en la F3 con un 6,469%. Por su parte, (Cárdenas, 2018, p. 54) en su investigación registró una humedad con un rango de 7 a 7,5%; mientras que (Paca, 2018, p. 10) obtuvo 10,43%, esto remarca que el almidón tiene una humedad con valores estándares.

En cambio, en las pruebas de pH realizadas al almidón dieron resultados los cuales se reportan en la tabla 4-6, donde se registró un valor bajo en F1 con 5,12 mientras que el mayor pH se reportó en el F3 con 6,34; aunque (Paca 2018, p. 10) en su investigación registro un valor de 7,81; demostrando que el almidón presenta distinto pH dependiendo del tipo de cáscara de banano y el grado de madurez.

A su vez lo reporta en la tabla 4-6, son las pruebas de solubilidad donde se destaca con menor porcentaje al F1 con un 0,078% y con mayor porcentaje de solubilidad es el F3 con 0,259%. También, se señalan las pruebas de viscosidad donde se exhibe con menor viscosidad al F1 con 53,7 cp. Por otra parte, la muestra F3 mostro una viscosidad más alta con un valor de 25,5 cp. Por último, en la tabla 4-6, se reportan las pruebas de temperatura de gelatinización del almidón, donde se destacan con un valor mayor al F2 con 74 °C mientras que la que obtuvo un grado menor es la F1 con 69 °C. En cambio (Cárdenas, 2018, p. 53) en su investigación reporta un valor de 78 °C, no obstante (Saavedra y Alvarado, 2020, p. 42) en su investigación señala un valor de 72 °C, demostrando que el temperatura de gelatinización del almidón se encuentra entre 69 °C y 78 °C.

Caracterización del plástico biodegradable obtenido

En el proceso de la caracterización del plástico biodegradable, se llevaron a cabo pruebas físico-químicas que abarcaron mediciones de humedad, solubilidad en agua, permeabilidad al vapor de

agua, y biodegradabilidad tanto en condiciones aeróbica como anaeróbica. Además, se realizaron pruebas mecánicas para evaluar el espesor y la resistencia a la tracción del material.

Para los resultados de humedad presentados en la tabla 4-7; revelaron que la muestra F1 presento un contenido de humedad del 4,454%, mientras que la muestra F2 mostro un valor de 8,685%. De manera similar, en un estudio realizado por (Acosta, 2021, p. 55), donde se observaron valores de humedad en un rango de 14,53 y 17,38%; mientras que un estudio realizado por (Espín 2021, p. 34) se encontró una humedad en un rango de 2,369 y 2,710 y por ultimo un investigación realizada por (Cárdenas 2018, p. 78) se señala un rango de humedad de 8,4 y 37%.

Para los resultados de solubilidad en agua reportados en la tabla 4-8, se exhiben valores de la muestra F1 con un grado de solubilidad de 71,822%; mientras que la muestra F2 muestra un valor de solubilidad del 85,518%. Por lo tanto, en una investigación realizada por (Acosta 2021, p. 56) se reportan valores de solubilidad con un rango de de 73,83 y 76,58%.

Para los resultados de permeabilidad al vapor de agua exhibidos en la tabla 4-10, indican que la muestra F1 tuvo una permeabilidad de 0,0559 g/h.m.MPa; mientras que la muestra F2 registro una permeabilidad de 0,1024 g/h.m.MPa. En cambio en una investigación realizada por (Acosta, 2021, p. 59) demuestran valores de permeabilidad dentro de un rango de 0,00022 y 0,00462 g/h.m.MPa.

Para los resultados de la prueba de biodegradabilidad en suelo en medio aeróbico encontrados en la tabla 4-17, exponen que la muestra F1 experimento un porcentaje de pérdida de 26,488%; mientras que la muestra F2 alcanzo una pérdida de 24,652%. Estos hallazgos coinciden con la investigación de (Acosta, 2021, p. 60) donde se registran una pérdida de material en 10 días en un rango entre 20,24 y 23,39%; mientras que (Espín, 2021, p. 37) señala en su estudio que la perdida de material en 2 semanas (14 días) tiene un rango de 65,04 y 100%. Además en un estudio reportado por (Saavedra y Alvarado, 2020, p. 60) reporta una pérdida en 20 días de 42,18%. En cuanto a las pruebas de biodegradabilidad en suelo en condiciones anaeróbico, la muestra F1 tuvo una pérdida de 86,509%; mientras que la muestra F2 alcanzo una pérdida de 98,896%.

Para los resultados de la prueba de biodegradabilidad en agua en condiciones aeróbicas reportados en la tabla 4-17; indica que la muestra F1 muestra un porcentaje de pérdida de material en 10 días de un 50,582%; mientras que la muestra F2 presento un porcentaje de pérdida de 49,633%. Estos datos coinciden con un investigación realizada por (Acosta, 2021, p. 61) donde se reporta pérdidas de material en 10 días entre 36,26 y 50,92%. En cambio en un estudio realizado por (Espín, 2021, p. 37) nos señalan valores de perdida de material en dos semanas entre 49,45 y 65,53%. En cuanto a la

prueba de biodegradabilidad en agua en medio anaeróbico, nos señalan resultados en la muestra F1 con una pérdida de material en 10 días de 91,925%; mientras que la muestra F2 presento una pérdida de 91,521%.

Para los resultados de la prueba de biodegradabilidad en aire en medio aeróbico reportado en la tabla 4-17; nos demuestra que tanto en la muestra F1 como en la muestra F2 presentan un porcentaje de perdida de material en 10 días es nula. En cambio en un investigación realizada por (Acosta, 2021, p. 62) se observan perdidas de material en 10 días entre 22,66 y 35,16%; mientras que en una estudio realizado por (Espín, 2021, p. 37) se reportan perdidas de material en dos semanas en un rango de 12,00 y 28,65%. En cuanto a la prueba de biodegradabilidad en aire en condiciones anaeróbicas nos presentan muestras tanto F1 como F2 con un valor de perdida de material de un 0% en 10 días.

Para los resultados obtenidos en las pruebas de espesor reportados en la tabla 4-18, indican que la muestra F1 exhibe un espesor de película de 0,233mm; mientras que la muestra F2 presenta un espesor de película de 0,337mm. Por su parte, (Acosta, 2021, p. 66) en su investigación reporta valores de espesor entre 0,1275 y 0,425 mm; mientras que (Espín, 2021, p. 46) en su estudio realizado reporta valores de espesor en un rango de 0,15 y 0,29 mm

Y por último para las pruebas de resistencia de tracción indicadas en las tablas 4-19 y 4-20, se obtuvieron los siguientes valores para las propiedades del material: el módulo de elasticidad para F1 y F2 fue de 3,059e+00 y 1,690E+00 MPa respectivamente, con rangos informados por (Acosta, 2021, p. 63) entre 2,55E+01 y 5,88E+01 MPa, y por (Espín, 2021, p. 46) entre 2,366 E+00 y 8,869 E+01 MPa. En cambio, para la carga de fluencia se reportan datos de F1 con 2,723N y F2 de 2,187 N, valores parecidos a (Acosta, 2021, p. 63) con un rango de 1,04 y 5 N; y (Espín, 2021, p. 46) con valores entre 0,21 y 2,75 N. En términos de carga máxima alcanzo para la muestra F1 un valor de 2,927 N y para F2 un valor de 2,297 N; con valores parecidos a los reportados por (Espín, 2021, p. 46) que se encuentran entre 0,22 y 3,29 N; y por (Acosta, 2021, p. 63) con valores entre 1,09 y 2,30 N. En cuanto al porcentaje de elongación, los valores obtenidos fueron de 6,613% para F1 y 2,867% para F2, con rangos mencionados por (Acosta, 2021, p. 63) de 15,90 y 36,77%; y por (Espín, 2021, p. 46) entre 12,16 y 28,24 %. En relación al esfuerzo de fluencia, se registraron esfuerzos de 1,270 MPa para F1 y 0,710 MPa para F2, con valores parecidos reportados por (Espín, 2021, p. 46) con rango entre 0,09 y 1,44 MPa; y por (Acosta, 2021, p. 63) en un rango entre 1,01 y 3,42 MPa. Finalmente, los esfuerzos máximos se reportaron en la muestra F1 con 1,357 MPa y para la muestra F2 con un valor de 0,743 MPa, con rangos reportados por (Espín, 2021, p. 46) entre 0,09 y 1,72 MPa, y por (Acosta, 2021, p. 63) entre 1,03 y 2,30 MPa.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la empresa ROLDEG SA Ecuador. Este diseño se compone de tres etapas esenciales: la selección de la materia prima, la extracción del almidón y la obtención del producto final. Se anticipa que este proceso generará un rendimiento igual o superior al 15%.
- Se realizó la caracterización físico-química de la cáscara de banano de la empresa ROLDEG SA Ecuador, siguiendo la NTE INEN 2801. Los resultados del control sensorial revelaron atributos característicos del fruto, como un fresco aroma tropical, color que varía entre amarillo verdoso y amarillo claro, sabor dulce con matices ligeros de amargura, apariencia libre de imperfecciones y golpes, con una textura externa lisa y un interior suave y esponjoso. Los parámetros físico-químicos obtenidos mostraron un pH promedio de 5,63; contenido de humedad del 11,78% y sólidos solubles totales de 2,51 °Brix.
- Se produjo un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano, donde se destacaron variables clave como: el peso, el tiempo, la temperatura y el tamaño de gránulo. Estas variables operan en conjunto a lo largo del proceso, desempeñando un papel esencial tanto en la etapa de secado de la cáscara de banano para la obtención del almidón como en el secado de las láminas de plástico resultantes. Cada uno de estos factores contribuye en su respectivo tiempo, como en el caso del proceso de blanqueado que se lleva a cabo durante 30 minutos, en la deshidratación de la cáscara de banano con un tiempo de 24 horas y una temperatura de 70 °C, en el tamizado del almidón con un tamaño máximo de gránulo de 0,125 mm, en la cocción con una temperatura controlada máxima de 75 °C, y finalmente en el secado de las láminas de plástico biodegradable a una temperatura de 27 °C durante 48 horas. Todas estas variables son cruciales para obtener con éxito el almidón y formar láminas de plástico biodegradable de alta calidad.
- Se fabricó un plástico biodegradable, donde se desarrolló un procedimiento que abarca la selección de la materia prima, blanqueado, secado, molienda, tamizado, mezclado, filtrado, cocción, mezclado nuevamente, enfriado, moldeado, secado final y obtención del producto. Este diseño se fundamentó en cálculos ingenieriles con el propósito de asegurar una mayor calidad en el resultado final.
- Se validó el producto con diversas pruebas como las físico-químicas, que proporcionaron resultados tales como un contenido de humedad del 4,454%, solubilidad en agua del 71,822%, permeabilidad al vapor de agua de 0,0559 y biodegradabilidad en distintos medios: 26,488% en

suelo aeróbico, 24,652% en suelo anaeróbico, 50,582% en agua aeróbica, 49,633% en agua anaeróbica, 0,0% en aire aeróbico y 0,0% en aire anaeróbico. Además, se realizaron pruebas mecánicas que revelaron un espesor de película de 0,233 mm y una carga máxima de 2,927 N. Es importante resaltar que la validación del producto se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas en la norma NTE INEN 2643:2012 y NTE INEN 2635:2012, la cual categorizó al producto resultante como un plástico compostable. Por último, se realizó una validación práctica al utilizar el plástico como recubrimiento para un producto de la empresa y una frutilla; después de una semana, se observaron cambios sensoriales en el producto expuesto al ambiente, mientras que el producto envuelto en el plástico no experimentó cambios significativos.

- Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se realizó un análisis de costo-beneficio que involucró el uso de indicadores económicos clave, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación. Los resultados obtenidos fueron un VAN de 7154,80, una TIR del 16% y un período de recuperación de 3 años y 4 meses. Estos indicadores de manera contundente demuestran que la ejecución del proyecto ha generado resultados favorables. Además, la implementación del proyecto conllevará a la empresa un ahorro del 27%.

RECOMENDACIONES

- En el proceso de selección de la materia prima, se recomienda realizar una evaluación "in situ", donde se llevará una inspección rápida y eficiente para identificar las cáscaras que cumplen con las especificaciones requeridas y descartando la que no. Asegurando la integridad y calidad de la materia prima utilizada en la producción.
- Con el propósito de prevenir la humedad en el almidón extraído, se aconseja almacenarlo en fundas herméticas. Este enfoque ayudará a mantener la integridad y evitar la absorción de humedad, lo que podría afectar la calidad y propiedades del mismo. Al optar por fundas herméticas, se crea un entorno de almacenamiento más controlado y protegido, lo que contribuye a preservar la utilidad y funcionalidad del almidón en su posterior uso.
- Con el propósito de prevenir la rotura y pérdida de la lámina de plástico biodegradable, se recomienda realizar un corte enmarcado utilizando un bisturí o estilete, lo cual facilitará el proceso de desmolde. Además, se aconseja la aplicación de un agente desmoldante en el molde, lo que simplificará considerablemente la tarea de extracción del plástico. Estas prácticas combinadas no solo aseguran la integridad de la lámina durante el desmolde, sino que también optimizan la eficiencia en la producción y manipulación del plástico biodegradable.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, S. Obtención y caracterización de una biopelícula a partir de plátano verde dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) para el uso en alimentos (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. pp. 55-66. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16732/1/96T00659.pdf>

AVELLÁN, A; et al. “Estimación de la entalpía de gelatinización en una mezcla de almidón termoplástico”. Prima tecnológica [en línea], 2021, (Ecuador), 12(1), pp. 4, 50. [Consulta: 15 junio 2023]. ISSN 2312-637X, 2076-8133. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2864/3676>

AYALA, M. Extracción de almidón de la cáscara de *Musa spp* y desarrollo de un método para su cuantificación (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería química). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 2016. pp. 9-10. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6030/1/129266.pdf>

BARIDÓN, E., & VILLARREAL, J. Cultivo del banano [en línea]. 2017. pp. 5-6. [Consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/10196/course/section/2634/CULTIVO%20DE%20BANANO%202017.pdf>

CAIRPLAS. Qué son los plásticos. *CAIRPLAS* [blog]. 2023. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://cairplas.org.ar/plasticos/>

CAIZA, A. Obtención de una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*) para el recubrimiento de alimentos (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 15-16. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16796/1/96T00708.pdf>

CALABOKIS, M. Metamorfosis del almidón: Gelatinización y retrogradación. *Exiliopanadero* [blog]. 2021. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.exiliopanadero.com/post/metamorfosis-del-almid%C3%B3n-y-retrogradaci%C3%B3n>

CALERO, M., & LAPO, E. Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (*musa paradisiaca*) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos (Proyecto de Investigación previo). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial. Quevedo-Los Ríos-Ecuador. 2021. pp. 41-65. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c801e22a-a034-4b5e-acb3-b67fff36862a/content>

CÁRDENAS, M. Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería en biotecnología de los recursos naturales). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2018. pp. 23, 52-81. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>

CARRASCO, L., & MOLOCHO. Extracción de almidón. *Calameo* [en línea]. 2018. p. 5-7. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.calameo.com/read/005193087c8fe3b2314cf>

CASTILLO, R; et al. “Bioplástico a base de la cáscara del plátano”. *Revista Iniciación Científica* [en línea], 2015, (Panamá) 1(1), pp. 1-4. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/339>

CONCEPTO. Humedad. *Concepto* [blog]. 2020. Argentina. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/humedad/>

CONTRERAS, R; et al. “Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla)”. *European Scientific Journal* [en línea], 2018, (México) 14(30), pp. 90-91. [Consulta: 26 mayo 2023]. ISSN 1857-7881. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/236410882.pdf>

CORPEI. ROLDEG y CORPEI: Aliados estratégicos en la exportación de banano orgánico deshidratado. *CORPEI* [blog]. 2018. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://corpei.org/2018/11/22/roldeg-y-corpei-aliados-estrategicos-en-la-exportacion-de-banano-orgnico-deshidratado/>

DELMAÍZ. Maicena o fécula de maíz: 8 usos (+beneficios). *delMaíz.info* [blog]. 2023. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://delmaiz.info/maicena-fecula-almidon/>

DÍAZ DEL CASTILLO, F. Conformado de materiales plásticos. *Slideshare* [blog]. Universidad Nacional Autónoma de México. 2012. p. 4. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AlbertoTomsMacasCeba/conformado-de-plasticos-maleabilidad>

ECOPLAS. “¿Qué son los plásticos biodegradables, biobasados, degradables, oxodegradables, compostables?”. *Ecoplas* [en línea], 2020, (Argentina), 54, p. 4. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://ecoplas.org.ar/2016/wp-content/uploads/2020/06/Publicacion-54-Plasticos-Biodegradables.pdf>

EL COMERCIO. Tres tipos de plátano se cosechan. *El comercio* [periódico]. 2011. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tres-tipos-de-platano-se.html>

ESPÍN, M. Valoración de la cáscara de *Musa paradisiaca* (Plátano) residual, para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. pp. 34-37, 46. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14780/1/236T0541.pdf>

ESPINOSA, A. Los plásticos. Apuntes de los plásticos [en línea]. 2014. pp. 1-2. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/jgoysiv/files/2014/03/3o-ESO-apuntes-de-PLaSTICOS.pdf>

FALLA, F., & RAMÓN, M. Obtención y evaluación sensorial de galletas a diferentes concentraciones de harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería en industrias alimentarias). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Lambayeque-Perú. 2018. p. 10. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3970/BC-tes-TMP-2731.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCÍA, A. Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz (Informe final de investigación). Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. El Salvador. 2015. pp. 20-21. [Consulta: 26 mayo 2023]. ISBN: 978-99961-50-21-0. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>

GONZALES, B. Tipos de plásticos biodegradables en el mundo del embalaje. *Raja pack* [blog]. 2019. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.rajapack.es/blog-es/tipos-plasticos-biodegradables>

GUAMÁN, J. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 11-22. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

HIDALGO, L; et al. “Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente”. *Enfoque UTE* [en línea], 2017, (Ecuador) 8(5), pp. 89-102. [Consulta: 10 mayo 2023]. ISSN (print) 1390-9363. Disponible en: http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v8n5/art009.html

HURTADO, J. Estudio del almidón modificado de banano (*M. Sapientum L.*) variedad Cavendish obtenido por acetilación (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería en alimentos). Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Escuela de Ingeniería en Alimentos. Machala-Ecuador. 2019. p. 13. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14181/1/T-2900_HURTADO%20JIMENEZ%20JHANELA%20ELIZABETH.pdf

IMPORFRUT. Cómo reconocer al plátano barraganete o plátano macho. *Imporfrut* [blog]. 2015. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://imporfrut.cl/como-reconocer-al-platano-barraganete/>

INFOAGRO. El cultivo del plátano (banano). *infoAgro* [blog]. 2023. [Consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano_banano_.asp

JASO, M. “El surgimiento de los bioplásticos: Un estudio de nichos tecnológicos”. *Acta Universitaria* [en línea], 2020, (México) 30, pp. 12-13. [Consulta: 10 mayo 2023]. ISSN 0188-6266. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v30/2007-9621-au-30-e2654.pdf>

JUÁREZ, C. Desarrollan plásticos biodegradables con cáscara de frutas. *The food tech* [blog]. 2018. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/desarrollan-plasticos-con-cascara-de-fruta/>

LEÓN, G; et al. “Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética”. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica [en línea], 2020, (Colombia) 39(5), pp. 620-621. [Consulta: 26 mayo 2023]. DOI: 10.5281/zenodo.4263410. Disponible en:

https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/17_modificacion.pdf

MANJÓN, N. Plásticos biodegradables: qué son y tipos. *Ecología verde* [blog]. España, 29 julio, 2019. [Consulta: 17 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/plasticos-biodegradables-que-son-y-tipos-1986.html>

MARTÍNEZ, C., & BERMÚDEZ, T. “Caracterización de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas en el banano (*Musa spp.*)”. Revista Centro agrícola [en línea], 2016, (Cuba) 43(3), p. 46. [Consulta: 01 agosto 2023]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n3/cag06316.pdf>

MÉNDEZ, Á. Glicerol. *La guía* [blog]. 2010. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/glicerol>

MENDOZA, G; et al. “Estructura del almidón”. Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano [en línea], 2017, (Argentina), p. 1. [Consulta: 26 mayo 2023]. ISBN 978-607-28-1031-0. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/150-Estructura_del_Amidon.pdf

MENESES, J; et al. “Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. Revista EIA [en línea], 2007, (Colombia), pp. 58-61. [Consulta: 26 mayo 2023]. ISSN 1794-1237. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>

METTLER TOLEDO. Determinación del contenido de humedad. *Mettler Toledo* [blog]. 2023. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/moisture-content-determination.html

MEXPOLIMEROS. Plastificantes. *Mexpolimeros* [blog]. 2018. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/plastificante.html>

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR. Informe sector bananero ecuatoriano. *COMEX* [informe]. 2017. [Consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>

MONDRAGÓN, J; et al. “Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominico harton”. Revista Ion [en línea], 2018, Colombia, p. 23. [Consulta: 01 agosto 2023]. ISSN web: 2145-8480. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/8753/9124>

MONTAGU, J. Esto es lo que dice la ciencia sobre tomar un plátano en el desayuno. *Alimente* [blog]. 2023. [Consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: https://www.alimente.elconfidencial.com/nutricion/2023-05-10/lo-que-dice-la-ciencia-tomar-platano-desayuno_3452729/

MUNEXIFRUIT. Banano. *Munexi S.A.* [blog]. 2019. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://munexi.com/banano/>

NORMA UNE-EN 13432:2001. *Envases y embalajes*

NTE INEN 2635:2012. *Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas*

NTE INEN 2637:2012. *Ensayo de tracción para determinar el punto final de la degradación de polietileno y polipropileno degradables*

NTE INEN 2643:2012. *Especificación para plásticos compostables*

NTE INEN 2801. *Norma para el banano (plátano) (CODEX STAN 205-1997 MOD)*

ONDARSE, D. Ácido acético. *Concepto* [blog]. 2021a. Argentina. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/acido-acetico/>

ONDARSE, D. Agua destilada. *Concepto* [blog]. 2021b. Argentina. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/agua-destilada/>

PACA, F. Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara Musa Paradisiaca L., como coagulante natural para el tratamiento del río Monjas (Trabajo de masterado) (Tesis en gestión ambiental). Universidad Internacional SEK, Facultad de ciencias naturales y ambientales. Quito-Ecuador. 2018. p. 10. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2880/2/tesis%20finalPDF.pdf>

PÉREZ, J., & GARDEY, A. Espesor. *Definicion.de* [blog]. 2017. [Consulta: 28 mayo 2023]. Disponible en: <https://definicion.de/espesor/>

PINASCO, G. Diversificación para el empaque de alimentos. *Vistazo* [blog]. 2019. [Consulta: 4 julio 2023]. Disponible en: <https://www.vistazo.com/estilo-de-vida/ciencia/diversificacion-para-el-empaque-de-alimentos-NBVI144786>

PIZÁ, H; et al. Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú (Proyecto de grado). Universidad de Piura, Facultad de ingeniería, Área departamental de ingeniería industrial y de sistemas. Piura-Perú. 2017. pp. 17, 37. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf

PLÁSTICO HITA. El crecimiento de la producción y demanda de bioplásticos. *Plásticos Hita S.L.* [blog]. 2020. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.plasticoshita.com/noticias/el-crecimiento-de-la-produccion-y-demanda-de-bioplasticos/>

PLASTIFE QUITO. Fundas polifan con autoadhesivo. *Facebook* [blog]. 2021. [Consulta: 4 julio 2023]. Disponible en: <https://www.facebook.com/109185090793127/photos/a.114559023589067/326570232387944/>

POZO, L. Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería en alimentos). Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales, Escuela de Ingeniería en Alimentos. Tulcán-Ecuador. 2019. p. 26. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/869/1/001%20Extracci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20almid%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano.pdf>

QUIMISOR. Plásticos biodegradables: ¿Qué son, cuáles son sus tipos y qué ventajas tiene su uso?. *Grupo Quimisor* [blog]. 2022. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://quimisor.com.mx/plasticos-biodegradables-que-son-cuales-son-sus-tipos-y-que-ventajas-tiene-su-uso/>

RENDÓN, R; et al. “Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*) acetilado a diferentes grados de sustitución”. *Afinidad Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry* [en línea], 2010, (México) 67(548), p. 298. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269205/356773>

REVISTA PAULA. El poderoso verde ecuatoriano. *La Tercera* [blog]. 2013. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.latercera.com/paula/el-poderoso-verde-ecuatoriano/>

RICO, X. ¿Qué es el almidón? Características y funciones de este nutriente. *Azsalud* [blog]. 2019. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://azsalud.com/nutricion/almidon>

RIVAS, C. Característica generales de los granos de cereales. *Slideshare* [blog]. 2013, pp. 23-25. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/quitocampeon/1-caracteristicas-generales-de-los-granos-de-cereales>

ROLDEG. Empresa procesadora de alimentos en Manta. *ROLDEG* [blog]. 2023. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.roldeg.com/>

SAAVEDRA, O., & ALVARADO, L. Evaluación de la modificación de almidón de cáscara de plátano (*Musa balbisiana*) por el método de oxidación para la obtención de una película bioplástica (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería). Universidad de San Buenaventura, Facultad de ingenierías, Programa de ingeniería química. Cartagena-Colombia. 2020. pp. 42, 60. [Consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/e16d2da0-0fa4-4f4c-87f6-3470b7516e69/content>

SÁNCHEZ, M. Envases de plástico: los sustitutos del bisfenol a también se relacionan con la diabetes. *Cuidateplus* [blog]. 2021. [Consulta: 26 mayo 2023]. Disponible en: <https://cuidateplus.marca.com/bienestar/2021/04/28/envases-plastico-sustitutos-bisfenol-relacionan-diabetes-177943.html>

THOMPSON, I. El empaque. *Marketing-free* [blog]. 2009. [Consulta: 4 julio 2023]. Disponible en: <https://www.marketing-free.com/producto/empaques.html>

TOVAR, T. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays L.*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento (Trabajo de titulación) (Tesis de licenciatura en química de alimentos). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e

Ingeniería. Hidalgo-México. 2008. pp. 31-32. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-veracruzana/bioquimica/5-gelatinizacion-y-retrogradacion-del-almidon-leer-paginas-24-45/8585280>

VILLAREAL, J. Diseño e implementación del área de compras y abastecimiento en la empresa ROLDEG (Proyecto de trabajo). *Grin*. 2018. [Consulta: 11 julio 2023]. Disponible en: <https://www.grin.com/document/1162790#:~:text=1.-.Antecedentes,un%20bienestar%20a%20sus%20colaboradores.>

VILLAVICENCIO, C. Diseño de modelo de negocios para producir y comercializar platos biodegradables de hojas de plátano (Trabajo de titulación) (Tesis de ingeniería en marketing y negociación comercial). Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias administrativas, Escuela de ingeniería en marketing y negociación comercial. Guayaquil-Ecuador. 2018. p. 88. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/392933075/Tesis-Platos-Biodegradables#>

ZAMBRANO, A. Historia de los bioplásticos. *Penka* [blog]. 2021. [Consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.penka.eco/es/blog/historia-de-los-bioplasticos/>

ZANIN, T. Cáscara de plátano: beneficios, propiedades y cómo utilizar. *TuaSaúde* [blog]. 2022. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.tuasaude.com/es/cascara-de-platano/>

ZEAPLAST. Bioplásticos vs los plásticos tradicionales. *ZEApplast* [blog]. 2012a. [Consulta: 27 mayo 2023]. Disponible en: <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/bioplasticos-vs-plasticos-tradicionales+-22> }

ZEAPLAST. Plásticos biodegradables: historia de los bioplásticos. *ZEApplast* [blog]. 2012b. [Consulta: 17 abril 2023]. Disponible en: <https://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/historia-de-los-bioplasticos+-20>



ANEXOS

ANEXO A: NTE INEN 2801: NORMA PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997, MOD)

NORMA DEL CODEX PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997)

1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Esta Norma se aplica a las variedades comerciales de bananos (plátanos) obtenidos de *Musa* spp. (AAA), de la familia *Musaceae*, en estado verde, que habrán de suministrarse frescos al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen los bananos (plátanos) destinados solamente para su cocción ó a la elaboración industrial. Las variedades reguladas por esta Norma se indican en el Anexo.

2. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

2.1 REQUISITOS MÍNIMOS

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, los bananos (plátanos) deberán:

- estar enteros (tomando el dedo como referencia);
- estar sanos, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo;
- estar limpios, y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible;
- estar prácticamente exentos de plagas que afecten al aspecto general del producto;
- estar prácticamente exentos de daños causados por plagas;
- estar exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica y los bananos (plátanos) envasados en atmósfera modificada;
- estar exentos de cualquier olor y/o sabor extraños;
- ser de consistencia firme;
- estar exentos de daños causados por bajas temperaturas;
- estar prácticamente exentos de magulladuras;
- estar exentos de malformaciones o curvaturas anormales de los dedos;
- estar sin pistilos;
- estar con el pedúnculo intacto, sin estar doblados ni dañados por hongos o desecados.

Además, las manos y los racimos deberán incluir lo siguiente:

- una porción suficiente de cuello de color normal, sano y exento de contaminación por hongos;
- un cuello de corte limpio, no achaflanado o rasgado, y sin fragmentos de pedúnculo.

2.1.1 El desarrollo y condición de los bananos (plátanos) deberán ser tales que les permitan:

- alcanzar el grado apropiado de madurez fisiológica, de conformidad con las características peculiares de la variedad;
- soportar el transporte y la manipulación; y
- llegar en estado satisfactorio al lugar de destino, de forma que puedan madurar satisfactoriamente.

2.2 CLASIFICACIÓN

Los bananos (plátanos) se clasifican en tres categorías, según se definen a continuación:

2.2.1 Categoría "Extra"

Los bananos (plátanos) de esta categoría deberán ser de calidad superior y característicos de la variedad y/o tipo comercial. Los dedos de los bananos (plátanos) no deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.

2.2.2 Categoría I

Los bananos (plátanos) de esta categoría deberán ser de buena calidad y característicos de la variedad. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase:

- defectos leves de forma y color;
- defectos leves de la cáscara debidos rozaduras y otros defectos superficiales que no superen 2 cm² de la superficie total.

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

2.2.3 Categoría II

Esta categoría comprende los bananos (plátanos) que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en la Sección 2.1. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando los bananos (plátanos) conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación y presentación:

- defectos de forma y color, siempre y cuando el producto mantenga las características normales del banano (plátano);
- defectos de la cáscara debidos a raspaduras, costras, rozaduras, manchas u otros defectos superficiales que no superen 4 cm² de la superficie total.

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

3. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CLASIFICACIÓN POR CALIBRES

Para calibrar los bananos (plátanos) de los subgrupos Gros Michel y Cavendish, se determina la longitud de los dedos por la curvatura exterior desde el extremo de la flor hasta la base del pedicelo donde la pulpa comestible termina y se define el diámetro como el grosor de la sección transversal entre las caras laterales. El fruto de referencia para la medición de la longitud y el grosor es:

- para las manos, el dedo medio en la hilera exterior de la mano;
- para los racimos, el dedo junto a la sección de corte de la mano, en la hilera exterior del racimo.

La longitud mínima no deberá ser menor de 14,0 cm y el grosor mínimo no menor de 2,7 cm.

4. DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS TOLERANCIAS

Se permitirán tolerancias de calidad y calibre para los productos que no satisfagan los requisitos de la categoría indicada.

4.1 TOLERANCIAS DE CALIDAD

4.1.1 Categoría "Extra"

El 5%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría I o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

4.1.2 Categoría I

El 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría II o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

4.1.3 Categoría II

El 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre, imperfecciones notables, o cualquier otro tipo de deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.

4.2 TOLERANCIAS DE CALIBRE

Para todas las categorías, el 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos relativos al calibre, pero que entren en la categoría inmediatamente superior o inferior a las indicadas en la Sección 3.

5. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA PRESENTACIÓN

5.1 HOMogeneidad

El contenido de cada envase deberá ser homogéneo y estar constituido únicamente por bananos (plátanos) del mismo origen, variedad y calidad. La parte visible del contenido del envase deberá ser representativa de todo el contenido.

5.2 ENVASADO

Los bananos (plátanos) deberán envasarse de tal manera que el producto quede debidamente protegido. Los materiales utilizados en el interior del envase deberán ser nuevos¹, estar limpios y ser de calidad tal que evite cualquier daño externo o interno al producto. Se permite el uso de materiales, en particular papel o sellos, con indicaciones comerciales, siempre y cuando estén impresos o etiquetados con tinta o pegamento no tóxico.

Los bananos (plátanos) deberán disponerse en envases que se ajusten al Código Internacional de Prácticas Recomendado para el Envasado y Transporte de Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 44-1995).

5.2.1 Descripción de los Envases

Los envases deberán satisfacer las características de calidad, higiene, ventilación y resistencia necesarias para asegurar la manipulación, el transporte y la conservación apropiados de los bananos (plátanos). Los envases deberán estar exentos de cualquier materia y olor extraños.

5.3 FORMAS DE PRESENTACIÓN

- Los bananos (plátanos) deberán presentarse en manos y racimos (partes de manos) de por lo menos cuatro dedos. Pueden presentarse también en dedos separados;
- Se permiten racimos que carezcan de dos dedos como máximo, siempre y cuando el pedúnculo no esté roto, sino tenga un corte limpio, sin daño a los dedos contiguos;
- El envase no deberá contener más que un racimo de tres dedos por hilera con las mismas características de la fruta restante.

6. MARCADO O ETIQUETADO

6.1 ENVASES DESTINADOS AL CONSUMIDOR

Además de los requisitos de la Norma General del Codex para el Etiquetado de Alimentos Preenvasados (CODEX STAN 1-1985), se aplicarán las siguientes disposiciones específicas:

¹ Para los fines de esta Norma, esto incluye el material recuperado de calidad alimentaria.

6.1.1 Naturaleza del Producto

Si el producto no es visible desde el exterior, cada envase deberá etiquetarse con el nombre del producto y, facultativamente, con el de la variedad.

6.2 ENVASES NO DESTINADOS A LA VENTA AL POR MENOR

Cada envase deberá llevar las siguientes indicaciones en letras agrupadas en el mismo lado, marcadas de forma legible e indeleble y visibles desde el exterior, o bien en los documentos que acompañan el envío.

6.2.1 Identificación

Nombre y dirección del exportador, envasador y/o expedidor. Código de identificación (facultativo)².

6.2.2 Naturaleza del Producto

Nombre del producto si el contenido no es visible desde el exterior. Nombre de la variedad o tipo comercial (facultativo).

6.2.3 Origen del Producto

País de origen y, facultativamente, nombre del lugar, distrito o región de producción.

6.2.4 Especificaciones Comerciales

- Bananos (plátanos) en dedos (si procede);
- Categoría;
- Peso neto (facultativo).

6.2.5 Marca de Inspección Oficial (facultativa)**7. CONTAMINANTES**

7.1 El producto al que se aplica las disposiciones de la presente Norma deberán cumplir con los niveles máximos de la Norma General del Codex para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los Alimentos y Piensos (CODEX STAN 193-1995).

7.2 El producto al que se aplica las disposiciones de la presente Norma deberán cumplir con los límites máximos de residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius.

8. HIGIENE

8.1 Se recomienda que el producto regulado por las disposiciones de la presente Norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones apropiadas del Código Internacional Recomendado de Prácticas - Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969), Código de Prácticas de Higiene para Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 53-2003) y otros textos pertinentes del Codex, tales como códigos de prácticas y códigos de prácticas de higiene.

8.2 El producto deberá ajustarse a los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos a los Alimentos (CAC/GL 21-1997).

² La legislación nacional de algunos países requiere una declaración expresa del nombre y la dirección. Sin embargo, en caso de que se utilice una marca en clave, habrá de consignarse muy cerca de ella la referencia al "envasador y/o expedidor" (o a las siglas correspondientes).

**ANEXO B: NORMA INEN 2643:2012 ESPECIFICACIÓN PARA PLÁSTICOS
COMPOSTABLES**



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2643:2012

ESPECIFICACIÓN PARA PLÁSTICOS COMPOSTABLES

Primera edición

SPECIFICATION FOR COMPOSTABLE PLASTICS

First edition

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, plásticos, biodegradable, plástico compostable, plásticos degradables, compostaje, etiquetado, Requisitos
PL 01.03-304
CDU: 278.5:543.87
CIIU: 3560
ICS: 83.080.01

**Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria**

ESPECIFICACIÓN PARA PLÁSTICOS COMPOSTABLES

**NTE INEN
2643:2012
2012-09**

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos para el etiquetado de los materiales y productos, incluidos los empaques fabricados de plástico, como compostable en las instalaciones municipales e industriales de compostaje.

1.2 Las propiedades en esta especificación son aquellas necesarias para determinar si los plásticos y los productos elaborados con plásticos se compostan de manera satisfactoria, incluyendo la biodegradación a una tasa comparable a la de materiales compostables conocidos. Además, las propiedades en esta norma técnica son necesarias para asegurar que la degradación de estos materiales no va a disminuir el valor o la utilidad del compost resultante del proceso de compostaje.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a los plásticos y los productos elaborados de plásticos que están diseñados para ser compostados en instalaciones municipales e industriales de compostaje aeróbico.

3. DISPOSICIONES GENERALES

3.1 La siguiente advertencia de riesgos para la seguridad se refiere a los métodos de ensayo incluidos en esta norma: *Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente sobre seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias previo a su uso.*

3.2 Correspondencia. Esta norma INEN es la versión oficial, en español, para el Ecuador, de la Norma ASTM D 6400-04 (ver nota 1).

4. TERMINOLOGÍA

4.1 Para los efectos de esta norma, se aplican las siguientes definiciones:

4.1.1 Plástico biodegradable. Un plástico degradable en el cual la degradación es efecto de la acción de microorganismos de origen natural, tales como bacterias, hongos y algas.

4.1.2 Plástico compostable. Un plástico que se somete a degradación por procesos biológicos durante compostaje para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a una velocidad consistente con otros materiales compostables conocidos y que no deja residuos visibles, distinguibles o tóxicos.

4.1.3 Compostaje. Un proceso dirigido que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables en una sustancia semejante al humus, llamada compost: la degradación aeróbica mesofílica y termofílica de la materia orgánica para hacer compost; la transformación de material que se puede descomponer biológicamente a través de un proceso controlado de biooxidación que pasa por fases mesofílica y termofílica y da como resultado la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (compost o humus).

4.1.3.1 Discusión. El compostaje utiliza un proceso natural para estabilizar mezclas de material orgánico que se pueden descomponer, que han sido recuperadas de los residuos sólidos urbanos, restos de poda, biosólidos (lodos digeridos de aguas residuales), ciertos residuos industriales y residuos comerciales.

NOTA 1. No existe ninguna especificación ISO equivalente a esta norma.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, plásticos, biodegradable, plástico compostable, plásticos degradables, compostaje, etiquetado, Requisitos.

4.1.4 Plástico degradable. Un plástico diseñado para experimentar un cambio significativo en su estructura química bajo determinadas condiciones ambientales resultando en una pérdida de algunas propiedades que pueden medirse mediante métodos de ensayo estándar apropiados para el plástico y la aplicación en un periodo de tiempo que determina su clasificación.

4.1.5 Plástico. Un material que contiene como ingrediente esencial una o más sustancias orgánicas poliméricas de gran peso molecular, es sólido en su estado terminado, y, en algún momento de su fabricación o transformación en artículos terminados, puede modelarse por flujo.

4.1.6 Polímero. Sustancia constituida por moléculas caracterizadas por la repetición (excluyendo los extremos, uniones de ramificación y otras irregularidades menores) de uno o más tipos de monómeros.

5. REQUISITOS

5.1 Clasificación. Los productos que satisfacen los requisitos descritos a continuación son apropiados para el etiquetado como "compostable" de conformidad con las directrices emitidas por la Comisión Federal de Comercio (*Guidelines for the Use of Environmental Marketing Claims*, Federal Trade Commission, Washington, DC, 1992).

5.2 Requisitos generales

5.2.1 Con el fin de obtener un compostaje satisfactorio, un producto o material debe demostrar cada una de las características que se encuentran en 5.2.1.1 - 5.2.1.3, y que se cuantifican en el numeral 5.3 (ver nota 2).

5.2.1.1 Desintegración durante el compostaje. Un producto o material plástico se debe desintegrar durante el compostaje de modo que cualquier resto plástico no sea fácilmente distinguible de los otros materiales orgánicos en el producto terminado. Además, el material o el producto no debe encontrarse en cantidades significativas durante el tamizado previo a la distribución final del compost.

5.2.1.2 Biodegradación inherente. Un nivel de biodegradación inherente se determina mediante ensayos en condiciones controladas, que son comparables a aquellos de materiales compostables conocidos.

5.2.1.3 No hay impactos adversos sobre la capacidad del compost para mantener el crecimiento vegetal. Los materiales ensayados no deben repercutir negativamente en la capacidad del compost para mantener el crecimiento de plantas, en comparación con el compost utilizando celulosa como un control, una vez que el compost terminado se coloca en el suelo. Además, los productos o materiales poliméricos no deben introducir niveles inaceptables de metales pesados u otras sustancias tóxicas en el ambiente, sobre la descomposición de la muestra.

5.3 Requisitos específicos

5.3.1 A fin de ser identificados como compostables, los productos deben cumplir con los requisitos de 5.3.2, 5.3.3, y 5.3.4, utilizando las pruebas de laboratorio apropiadas, representativas de las condiciones que se encuentran en las instalaciones de compostaje aeróbico. Ensayar los artículos terminados y productos de la misma forma en que están orientados a utilizarse. Para los productos que se fabrican en varios espesores o densidades, tales como películas, contenedores y espumas, solo requieren ensayarse los productos más gruesos o más densos, siempre que la composición química y la estructura siga siendo por lo demás la misma. Se asume que calibres más delgados y densidades menores también van a producir compost de manera satisfactoria. Del mismo modo, si están presentes aditivos en las muestras que son aprobadas tras el ensayo, niveles más bajos de los mismos aditivos son igualmente aprobados.

5.3.2 Desintegración durante el compostaje. Un producto plástico se considera que ha demostrado desintegración satisfactoria si después de doce semanas en un ensayo de compostaje controlado, no más del 10% de su peso seco original se mantiene después del tamizado en un tamiz de 2,0 mm. Generar condiciones de laboratorio termofílicas de compostaje mediante la realización del Método de Ensayo de la NTE INEN 2640 sin componente de captura de CO₂, o por aplicación de la ISO 16929.

NOTA 2. Para una mejor comprensión de por qué estos criterios son importantes, consultar la Guía de operaciones en instalaciones para compost (*Compost Facility Operating Guide*, Composting Council, Alexandria, VA, 1995) y la UNE-EN 13432.

(Continúa)

5.3.3 Biodegradación inherente. Un producto plástico debe demostrar una tasa satisfactoria de biodegradación por la consecución de uno de los siguientes porcentajes de conversión a dióxido de carbono hallados en 5.3.3.1 o 5.3.3.2 dentro de los periodos de tiempo especificados en 5.3.3.3 o 5.3.3.4, utilizando el Método de Ensayo de la NTE INEN 2640 (ver nota 3 y 4).

5.3.3.1 Para los productos constituidos por un polímero único (homopolímeros o copolímeros aleatorios), el 60% del carbono orgánico debe ser convertido a dióxido de carbono al final del período de ensayo cuando se compara con el control positivo.

a) Para los productos constituidos por más de un polímero, cada polímero individual componente, presente en una concentración superior al 1%, debe alcanzar la especificación del 60% para los homopolímeros, según lo descrito en 5.3.3.1.

5.3.3.2 Para los productos constituidos por más de un polímero (copolímeros de bloque, copolímeros segmentados, mezclas o inclusión de aditivos de bajo peso molecular), el 90% del carbono orgánico debe ser convertido a dióxido de carbono al final del período de ensayo cuando se compara con el control positivo.

5.3.3.3 Para los materiales que no son radiomarcados, el período de ensayo no debe ser mayor de 180 días.

5.3.3.4 Si se utilizan materiales radiomarcados, entonces el período de ensayo no debe ser mayor de 365 días.

5.3.4 Un producto plástico puede demostrar seguridad terrestre y acuática satisfactoria, si cumple con los requisitos establecidos en 5.3.4.1 y 5.3.4.2.

5.3.4.1 El plástico o el producto deben presentar concentraciones de metales pesados regulados inferiores al 50% de las prescritas para los lodos o compost en el país donde se vende el producto. Específicamente en los Estados Unidos, las concentraciones de metales pesados regulados se encuentran en la Tabla 3 de 40 CFR Parte 503.13. En Canadá, las concentraciones de metales regulados se encuentran en la Tabla II del Memorando de comercio (Trade Memorandum) T-4-93.

5.3.4.2 La tasa de germinación y la biomasa de plantas de los compost de muestra no deben ser inferiores al 90% respecto a las correspondientes del blanco de compost para dos especies de plantas diferentes siguiendo las Directrices de la OECD 208 con las modificaciones que se encuentran en el Anexo E de la norma UNE-EN 13432.

6. MUESTREO

6.1 El muestreo debe realizarse como se indica en el método de ensayo especificado.

7. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

7.1 La preparación de muestras debe realizarse de conformidad con el método de ensayo especificado.

8. MARCADO Y ETIQUETADO

8.1 El marcado y etiquetado debe realizarse conforme a las normativas nacionales y locales.

NOTA 3. Si bien los puntos finales de la biodegradación incluyen la incorporación a la biomasa o sustancias húmicas, así como el dióxido de carbono, no existen métodos de ensayo estándar y especificaciones reconocidas para cuantificar estos resultados. Cuando estos ensayos y especificaciones estén disponibles, esta norma será revisada.

NOTA 4. Las muestras de ensayo de productos plásticos no deben ser sometidas a condiciones destinadas a acelerar la biodegradación, previo a ensayarse de acuerdo al numeral 5.3.3.

(Continúa)

**ANEXO C: NORMA INEN 2635:2012 MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES
DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS**



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2635:2012

**MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE
TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.**

Primera Edición

TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF THIN PLASTIC SHEETING.

First Edition

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.
PL 03.01-310
CDU: 678.5:620.172
CIU: 3560
ICS: 83.140.10

Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria

**MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE
TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS**

**NTE INEN
2635:2012
2012-07**

1. OBJETO

1.1 Esta norma describe el método de ensayo para determinar las propiedades de tracción de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas (menos de 1,0 mm de espesor).

2. ALCANCE

2.1 Esta norma aplica a los plásticos en forma de láminas delgadas y películas de menos de 1,0 mm de espesor (ver notas 1 y 2).

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en el anexo del Método de ensayo D638 de ASTM y además las siguientes:

3.1.1 *Anisotrópico (a)*. Que tiene diferentes valores para una propiedad, en diferentes direcciones.

3.1.2 *Falla por desgarramiento*. Una falla en la tracción caracterizada por la fractura iniciada en un borde de la probeta y que avanza a través de la probeta a una velocidad lo suficientemente lenta para producir una curva anómala de carga-deformación.

3.1.3 *Mordaza lineal*. Mordaza que tiene sus caras diseñadas para concentrar toda la fuerza de agarre a lo largo de una sola línea perpendicular a la dirección de la prueba de tensión. Esto es realizado generalmente mediante la combinación de una cara plana estándar y una cara opuesta de la que sobresale una media caña (*redondeada*).

3.1.4 *Mordaza plana*. Mordaza con caras planas y forradas con caucho delgado, lija fina o gruesa, o cinta sensible a la presión.

3.1.5 *Retraso inercial*. Retraso en la respuesta de un flujo frente a las fuerzas que actúan sobre él.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Este método de ensayo puede ser utilizado para comprobar todos los plásticos dentro del rango de espesores descritos y de la capacidad de la máquina empleada.

4.2 La extensión de la probeta se puede medir por la separación de las mordazas, indicadores de extensión o desplazamiento de marcas de calibre.

4.3 Se incluye el procedimiento para la determinación del módulo de elasticidad en tracción a una velocidad de deformación (ver nota 3).

NOTA 1. Película se define en la terminología de la NTE INEN 2636 como un término opcional para láminas con un espesor nominal no superior a 0,25 mm.

NOTA 2. Las propiedades de tracción de los plásticos de 1,0 mm o más de espesor se deben determinar de acuerdo al método de ensayo descrito en la norma ASTM D638.

NOTA 3. La determinación del módulo se basa generalmente en el uso de la separación de las mordazas como una medida de la extensión, sin embargo, la conveniencia del uso de extensómetros, como se describe en el numeral 5.2, es reconocida y la provisión para el uso de tales instrumentos se incorpora en el procedimiento.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.

4.4 Los datos de ensayo obtenidos por este método de ensayo son relevantes y apropiados para utilizarse en diseño de ingeniería.

4.5 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

4.6 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente sobre seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias previo a su uso.

4.7 Significancia y uso

4.7.1 Las propiedades de tracción determinadas por este método de ensayo son importantes para la identificación y caracterización de materiales para fines de control y especificación. Las propiedades de tracción pueden variar con el espesor de la muestra, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas utilizadas, y la forma de medir la extensión. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser cuidadosamente controlados. Este método de ensayo se debe utilizar para fines de arbitraje, a menos que se indique lo contrario en las especificaciones del material en particular. Para muchos materiales, puede haber una especificación que requiere el uso de este método de ensayo, pero con algunas modificaciones de procedimiento que tienen prioridad cuando se agregan a la especificación. Por lo tanto, es aconsejable hacer referencia a la especificación del material antes de usar este método de ensayo. La tabla 1 en la clasificación de la ASTM D4000 enlista las normas ASTM de los materiales que existen actualmente.

4.7.2 Las propiedades de tracción pueden ser utilizadas para proporcionar datos para investigación y desarrollo, y diseño de ingeniería, así como control de calidad y especificación. Sin embargo, los datos de estos ensayos no pueden ser considerados significativos para aplicaciones que difieren ampliamente en la escala carga-tiempo de la prueba empleada.

4.7.3 El módulo de elasticidad en tracción es un índice de la rigidez de las láminas de plástico delgadas. La reproducibilidad de los resultados del ensayo es buena cuando se mantiene un control preciso sobre todas las condiciones de prueba. Cuando se comparan la rigidez en materiales diferentes, deben emplearse probetas de dimensiones idénticas.

4.7.4 La energía de tracción en la rotura (ETR) es la energía total absorbida por unidad de volumen de la probeta hasta el punto de ruptura. En algunos textos esta propiedad ha sido referida como resistencia. Se utiliza para evaluar materiales que son objeto de uso intenso o que pueden atascar los equipos de transporte de red en caso de mal funcionamiento de una máquina en aplicaciones de uso final.

Sin embargo, la velocidad de deformación, los parámetros de la probeta y especialmente los defectos pueden ocasionar grandes variaciones en los resultados. En ese sentido, se recomienda precaución en la utilización de los resultados de la prueba ETR para aplicaciones de diseño de uso final.

4.7.5 Los materiales que fallan por desgarramiento generan datos anómalos que no puede ser comparados con aquellos de falla normal.

4.8 Correspondencia. Esta norma INEN es la versión oficial, en español, para el Ecuador, de la Norma ASTM D 882-10.

5. EQUIPO

5.1 Máquina de ensayo. Una máquina de prueba del tipo *velocidad constante de movimiento de cruceta* y que comprende básicamente lo siguiente:

5.1.1 Elemento fijo. Un elemento fijo o esencialmente estacionario que lleva una mordaza.

5.1.2 Elemento móvil. Un elemento móvil que lleva una segunda mordaza.

5.1.3 Mordazas. Un conjunto de mordazas para sostener la probeta de ensayo entre el elemento fijo y el elemento móvil de la máquina de ensayo; las mordazas pueden ser indistintamente del tipo fijo o de auto-alineación. En cualquier caso, el sistema de sujeción debe minimizar tanto el deslizamiento como la distribución desigual de la tensión.

5.1.3.1 Las mordazas fijas se instalan firmemente a los elementos fijos y móviles de la máquina de ensayo. Cuando se utiliza este tipo de mordaza, se debe tener cuidado para asegurar que la probeta de ensayo se inserta y se sujeta de modo que el eje longitudinal de la probeta de ensayo coincida con la dirección del esfuerzo a lo largo de la línea central del conjunto de mordazas.

5.1.3.2 Las mordazas de autoalineación se unen a los elementos fijos y móviles de la máquina de ensayo de tal manera que se muevan libremente hacia la alineación tan pronto como se aplique una carga, de modo que el eje longitudinal de la probeta de ensayo coincida con la dirección de la fuerza de tensión aplicada a lo largo de la línea central del conjunto de mordazas. Las probetas deben estar alineadas tan perfectamente como sea posible con la dirección de tracción para que ningún movimiento rotatorio produzca el deslizamiento de las mordazas; hay un límite en el valor de desalineación al que las mordazas autoalineables harán frente.

5.1.3.3 La probeta de ensayo se debe sostener de tal manera que el deslizamiento en relación a las mordazas se evite en la medida de lo posible. Se han utilizado con éxito para muchos materiales, mordazas forradas con caucho delgado, lija fina o gruesa o cinta sensible a la presión, así como las mordazas con acabado superficial serrado o tipo lima. La elección de la superficie de agarre dependerá del material ensayado, grosor, etc.

Las mordazas lineales forradas en la cara redondeada con 0,75 a 1,00 mm de papel secante o papel filtro han mostrado mejores resultados. Las mordazas accionadas por aire son convenientes, sobre todo en el caso de materiales que tienden a adelgazarse en las mordazas, debido a que la presión se mantiene en todo momento (ver notas 4-6).

En los casos en que las muestras fallan con frecuencia en el borde de las mordazas, puede ser conveniente aumentar ligeramente el radio de curvatura de los bordes, donde las mordazas entran en contacto con la zona de ensayo de la probeta.

5.1.4 Mecanismo de accionamiento. Un mecanismo de arrastre para impartir a los elementos móviles una velocidad uniforme, controlada con respecto al elemento estacionario. La velocidad debe regularse como se especifica en la Sección 9.

5.1.5 Indicador de carga. Un adecuado mecanismo de indicación de carga capaz de mostrar la carga total de tracción soportada por la probeta de ensayo sostenida por las mordazas. Este mecanismo debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad de ensayo especificada (ver nota 7). A menos que un extensómetro adecuado sea utilizado (ver numeral 5.2), el movimiento del sistema de pesaje no debe sobrepasar en 2% de la extensión de la probeta dentro del rango que se está midiendo. El indicador de carga debe determinar la carga de tracción aplicada a la probeta con una precisión de $\pm 1\%$ del valor indicado, o superior. La precisión de la máquina de prueba se debe verificar de conformidad con las prácticas ASTM E4.

NOTA 4. Debe tenerse precaución al elegir el tipo de mordazas y el tipo de superficies de agarre a utilizar para ensayar películas de muestra compuestas de polietileno lineal de baja densidad (PELBD/LLDPE) de alta resistencia y resinas de polietileno de muy baja densidad (PEMBD/VLDPE). Los resultados de las pruebas tienden a variar más cuando se compara este tipo de películas de muestra analizadas con las mordazas lineales recubiertas con materiales diferentes.

NOTA 5. El calibre de la cinta sensible a la presión, caucho delgado, lija fina o gruesa debe ser lo suficientemente adecuada para evitar deslizamientos y fallas prematuras de las probetas de ensayo (por ejemplo, la cinta sensible a la presión se aplica sobre la superficie de las mordazas; la probeta de ensayo puede comenzar a desgarrarse en el borde de las mordazas durante la prueba si la cinta es demasiado delgada).

NOTA 6. Se sugiere que el tamaño de grano de la lija fina o gruesa sea al menos 800. El uso de estos materiales ayuda a prevenir que las probetas de ensayo se deslicen en las mordazas. Hay que tener cuidado al utilizar estos materiales para que no se produzcan fallas prematuras de las probetas.

5.1.6 Indicador de extensión de cruceta. Un mecanismo indicador de extensión adecuado, capaz de mostrar la cantidad de cambio en la separación de las mordazas, esto es, el movimiento de una cruceta. Este mecanismo debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad especificada de la prueba (ver nota 7) y debe indicar el movimiento de cruceta con una precisión de $\pm 1\%$ del valor indicado, o superior.

5.2 Extensómetro (opcional). Un instrumento adecuado para determinar la distancia entre dos puntos designados en la probeta de ensayo según la probeta se estira. El uso de este tipo de instrumento es opcional y no es necesario en este método de ensayo. Si se utiliza este equipo, debe estar diseñado de modo que se reduzca al mínimo la tensión en la probeta en los puntos de contacto de la probeta y el instrumento (ver numeral 8.3). Es deseable que este instrumento registre automáticamente la distancia, o cualquier cambio en ella, en función de la carga en la probeta de ensayo o del tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, o ambas cosas. Si solamente se obtiene este último, los datos de carga-tiempo también deben tomarse. Este instrumento debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad especificada de ensayo (ver nota 7).

5.2.1 Módulo de elasticidad y mediciones de baja extensión. Los extensómetros utilizados para el módulo de elasticidad y mediciones de baja extensión (menor al 20% de alargamiento) debe como mínimo, tener una precisión de $\pm 1\%$ y cumplir con los requisitos establecidos en la práctica ASTM E83 para un instrumento de clase C.

5.2.2 Mediciones de alta extensión. La instrumentación y técnicas de medición utilizadas para mediciones de alta extensión (20% de alargamiento o más) deben tener una precisión de $\pm 1\%$ del valor indicado, o superior.

5.3 Medidor de espesor. Un micrómetro de disco de peso muerto o un micrómetro digital como se describe en los métodos de ensayo D5947 y D6988 según sea apropiado para el material o la geometría de la probeta que se ensaya.

5.4 Dispositivos de medición de ancho. Escalas de ensayo adecuadas u otros dispositivos de medición de ancho capaces de medir 0,25 mm o menos.

5.5 Cortador de probeta. Referirse a la práctica ASTM D6287 para el equipo y las técnicas de corte de las películas y láminas utilizadas en este método de ensayo.

5.5.1 Los dispositivos que utilizan cuchillas de afeitar han demostrado ser especialmente adecuadas para los materiales que tienen un alargamiento en la fractura por encima del 10 al 20%.

5.5.2 El uso de una prensa troqueladora o un dado de impacto no es recomendable debido a su tendencia a producir bordes de probeta frágiles e inconsistentes.

5.5.3 El uso de una plantilla de corte y una sola cuchilla de afeitar no se recomienda ya que afectará el paralelismo de la probeta de ensayo.

6. PROBETAS DE ENSAYO

6.1 Las probetas de ensayo consisten en tiras de ancho y espesor uniforme por lo menos 50 mm más largas que la separación de las mordazas utilizada.

6.2 El ancho nominal de las probetas no debe ser inferior a 5,0 mm o superior a 25,4 mm.

6.3 Debe utilizarse una relación ancho-espesor de al menos un valor de ocho. Las probetas angostas magnifican los efectos de las deformaciones o imperfecciones de borde, o ambos.

6.4 Se debe tener cuidado extremo en el corte de las probetas para evitar hendiduras y grietas que causan fallas prematuras (ver nota 8). Los bordes deben ser paralelos dentro del 5% del ancho a lo largo del tramo de la probeta entre las mordazas.

NOTA 7. Una velocidad de respuesta lo suficientemente alta en el sistema de indicación y registro para la carga y la extensión de datos es esencial. La velocidad de respuesta requerida del sistema dependerá en parte del material ensayado (alargamiento alto o bajo) y la tasa de tensión.

NOTA 8. Puede aplicarse un examen microscópico de las probetas para detectar imperfecciones, debidas a la muestra o preparación de la probeta.

6.5 Las probetas de ensayo deben seleccionarse de manera que el espesor sea uniforme dentro del 10% del espesor a lo largo de la probeta entre las mordazas en el caso de probetas de 0,25 mm o menos en espesor y dentro del 5% en el caso de probetas mayores a 0,25 mm de espesor, pero menores a 1,00 mm de espesor (ver nota 9).

6.6 Si el material es sospechoso de ser anisotrópico, deben prepararse dos conjuntos de probetas con sus ejes longitudinales respectivamente paralelos con la dirección sospechosa de anisotropía y perpendicular a la misma.

6.7 Para las determinaciones del módulo de elasticidad en tracción, una longitud calibrada de muestra de 250 mm, se debe considerar como estándar. Esta longitud se utiliza con el fin de minimizar los efectos del deslizamiento de mordazas en los resultados del ensayo. Cuando esta longitud no es factible, se pueden utilizar secciones de prueba de 100 mm si se ha demostrado que los resultados no son afectados apreciablemente. Sin embargo, para fines de arbitraje debe utilizarse la longitud calibrada de 250 mm. La velocidad de ensayo de las probetas más cortas debe ser ajustada para que la velocidad de deformación sea equivalente a la de la probeta estándar (ver nota 10 y 11).

7. ACONDICIONAMIENTO

7.1 Acondicionamiento. Acondicionar las muestras de ensayo a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 10\%$ de humedad relativa por no menos de 40 h antes del ensayo de conformidad con el procedimiento A de la práctica ASTM D618, a menos que se especifique lo contrario por acuerdo o por la correspondiente especificación ASTM del material. En caso de desacuerdo, las tolerancias son $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$ de humedad relativa.

7.2 Condiciones de ensayo. Realizar el ensayo a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 10\%$ de humedad relativa, a menos que se especifique lo contrario por acuerdo o por la correspondiente especificación ASTM del material. En caso de desacuerdo, las tolerancias son $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$ de humedad relativa.

8. NÚMERO DE MUESTRAS DE ENSAYO

8.1 En el caso de materiales isotrópicos, por lo menos cinco probetas deben someterse a ensayo por cada muestra.

TABLA 1. Velocidades de cruceta y separación inicial de mordaza

Porcentaje de alargamiento en la rotura	Tasa de deformación inicial, mm/mm x min (pulgadas/pulgadas x min)	Separación inicial de mordazas		Velocidad de separación de mordazas	
		mm	pulgadas	mm/min	pulgadas/min
Determinación del módulo de elasticidad					
	0,1	250	10	25	1,0
Otras determinaciones distintas al módulo de elasticidad					
Menor que 20	0,1	125	5	12,5	0,5
20 a 100	0,5	100	4	50	2,0
Mayor que 100	10,0	50	2	500	20,0

NOTA 9. En los casos en que las variaciones de espesor son superiores a las recomendadas en el numeral 6.5, los resultados no suelen ser característicos del material sometido a ensayo.

NOTA 10. Dos ensayos round robin¹ han demostrado que, para los materiales de menos de 0,25 mm de espesor, las mordazas lineales forradas en su cara redondeada con 1,0 mm de papel secante dan los mismos resultados con una sección de ensayo de 100 mm, como los que se produce con una sección de ensayo de 250 mm con mordazas de cara plana.

NOTA 11. Un excesivo deslizamiento de mandíbula se vuelve cada vez más difícil de superar en los casos en que los materiales de alto módulo son ensayados en espesores superiores a 0,25 mm.

¹ Datos de soporte han sido archivados en oficinas de ASTM International y se pueden obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1058.

8.2 En el caso de materiales anisótropos, al menos diez probetas, cinco perpendiculares y cinco paralelas al eje principal de anisotropía, se deben someter a ensayo por cada muestra.

8.3 (Opcional) Un número reducido de probetas de ensayo puede ser probado y se debe hacer constar en el informe:

- (1) No menos de tres probetas de ensayo se deben someter a prueba.
- (2) No menos de seis probetas de ensayo en el caso de materiales anisótropos, tres perpendiculares y tres paralelas con el eje principal de anisotropía, se deben someter a prueba.
- (3) Se admite para muestreo de control de calidad en línea.
- (4) Se admite para muestras insuficientes en tamaño para proporcionar un mínimo de cinco probetas de ensayo (10 probetas de ensayo para materiales anisótropos).
- (5) La desviación estándar no necesita ser calculada o reportada debido al reducido número de puntos de datos.

Las probetas que fallan en algún defecto evidente o que fallan fuera de la longitud calibrada deben ser desechadas y debe realizarse un nuevo ensayo, a menos que tales defectos o condiciones constituyan una variable cuyo efecto se está estudiando. Sin embargo, roturas de la mandíbula (fallas en el punto de contacto con la mordaza) son aceptables si se ha demostrado que los resultados de tales ensayos están de acuerdo con los valores obtenidos de la rotura que tiene lugar dentro de la longitud calibrada (ver nota 12).

9. VELOCIDAD DE PRUEBA

9.1 La velocidad de ensayo es la velocidad de separación de los dos elementos (o mordazas) de la máquina de ensayo cuando funciona libre (sin carga). Esta velocidad de separación se debe mantener dentro del 5% del valor sin carga cuando se ejecuta a toda su capacidad de carga.

9.2 La velocidad de ensayo se calcula a partir de la velocidad de deformación inicial requerida según se especifica en la tabla 1. La velocidad de separación de mordazas se determina, para el propósito de estos métodos de ensayo, a partir de la velocidad de deformación inicial de la siguiente manera:

$$A = BC \quad (1)$$

Donde:

A = velocidad de separación de mordazas, mm / min,
 B = distancia inicial entre mordazas, mm, y
 C = velocidad de deformación inicial, mm / mm x min.

9.3 La velocidad de deformación inicial debe ser como en la tabla 1, a menos que se indique de otra manera según la especificación para el material que se está probando (ver nota 13).

9.4 En casos en los que una clasificación conflictiva del material, según lo determinado por los valores porcentuales de alargamiento en la rotura, resulta en una selección de velocidades de deformación, la velocidad más baja debe utilizarse.

9.5 Si se están determinando los valores de módulo, deben usarse probetas distintas siempre que las velocidades de deformación y las dimensiones de la probeta no sean las mismas que aquellas empleadas en el ensayo de otras propiedades de tracción.

NOTA 12. En los casos de algunos materiales, el examen de las probetas, antes y después del ensayo, bajo polarizadores ópticos cruzados (películas polarizantes), proporciona un medio útil para la detección de fallas, que pueden ser o son responsables de una falla prematura.

NOTA 13. Los resultados obtenidos a diferentes velocidades de deformación inicial no son comparables y, en consecuencia, cuando se requieran comparaciones directas entre materiales en varias clases de alargamiento, se debe utilizar una velocidad de deformación inicial única. Para algunos materiales, es aconsejable seleccionar las velocidades de deformación sobre la base del porcentaje de alargamiento en la fluencia.

10. PROCEDIMIENTO

10.1 Seleccionar un intervalo de carga de tal forma que la falla en la probeta ocurra dentro de sus tercios superiores. Unas pocas corridas de prueba pueden ser necesarias para seleccionar una combinación adecuada de intervalo de carga y ancho de probeta.

10.2 Medir el área transversal de la probeta en varios puntos a lo largo de su longitud. Medir el ancho con una precisión de 0,25 mm o más. Medir el espesor con una precisión de 0,0025 mm o más para probetas de menos de 0,25 mm de espesor y con una precisión del 1% o más para probetas de más de 0,25 mm, pero menos de 1,0 mm de espesor.

10.3 Establecer la separación de mordazas inicial, de conformidad con la tabla 1.

10.4 Establecer la velocidad de separación de mordazas para alcanzar la velocidad de deformación deseada, en base a la distancia inicial entre las mordazas, de conformidad con la tabla 1. Poner en cero el sistema de peso de carga calibrado, el indicador o indicadores de extensión y el sistema de registro (ver nota 14).

10.5 En los casos en que se desea medir una sección de ensayo distinta a la longitud total entre las mordazas, marcar los extremos de la sección de ensayo deseada con un crayón suave, fino de cera o con tinta. No refregar estas marcas sobre la superficie porque pueden actuar como elevadores de tensión y causar fallas prematuras en la probeta. Se puede utilizar extensómetros si son disponibles; en este caso, la sección de ensayo será definida por los puntos de contacto del extensómetro (ver nota 15)

10.6 Colocar la probeta de ensayo en las mordazas de la máquina de ensayo, teniendo cuidado de alinear el eje longitudinal de la probeta con una línea imaginaria que une los puntos de fijación de las mordazas a la máquina. Apretar las mordazas uniforme y firmemente en la medida necesaria para reducir al mínimo el deslizamiento de la probeta durante el ensayo.

10.7 Poner en marcha la máquina y registrar la carga versus la extensión.

10.7.1 Cuando la longitud total entre las mordazas se utiliza como zona de ensayo, registrar la carga versus la separación de mordazas.

10.7.2 Cuando un área de ensayo específica se ha marcado en la probeta, seguir el desplazamiento de las líneas límite de borde con respecto a cada una con separadores o algún otro dispositivo adecuado. Si se desea una curva de carga-extensión, trazar varias extensiones frente a las correspondientes cargas sostenidas, según fue medido por el indicador de carga.

10.7.3 Cuando se utiliza un extensómetro, registrar la carga versus la extensión de la zona de ensayo medida por el extensómetro.

10.8 Si se determinan los valores de módulo, seleccionar un intervalo de carga y trazar la velocidad para producir una curva de carga-extensión de entre 30 y 60 grados respecto al eje X. Para una mayor precisión, utilizar la escala de carga más sensible para la cual esta condición se pueda alcanzar. El ensayo puede interrumpirse cuando la curva de carga-extensión se desvía de la linealidad.

10.9 En el caso de los materiales que están siendo evaluados para el módulo secante, el ensayo puede interrumpirse cuando la extensión especificada es alcanzada.

NOTA 14. Se puede utilizar extensómetros para las determinaciones del módulo de elasticidad con la expectativa de obtener valores más precisos que los que se pueden obtener utilizando la separación de mordazas como longitud calibrada eficaz. Se deben tomar precauciones para asegurar que no ocurra un deslizamiento del extensómetro y una indebida tensión de la probeta. Remitirse también al numeral 6.7.

NOTA 15. La medición de una sección de ensayo específica es necesaria para algunos materiales que tienen alto alargamiento. A medida que la probeta se alarga, la consecuente reducción del área produce un aflojamiento en el borde interior de las mordazas. Esta reducción y aflojamiento retrocede hacia las mordazas, proporcionalmente al alargamiento y reducción de área que tenga lugar. En efecto, esto causa problemas similares al deslizamiento de mordazas, es decir, exagera la extensión medida.

10.10 Si se determina la energía de tracción en la rotura, debe realizarse alguna provisión para la integración de la curva tensión-deformación. Esto puede ser una integración electrónica durante el ensayo o una determinación subsiguiente a partir del área de la curva tensión-deformación concluida (ver Anexo A.2).

11. CÁLCULO

11.1 La compensación del arranque debe efectuarse de conformidad con el Anexo A.1, a menos que pueda demostrarse que la región del arranque de la curva no se debe a la recuperación del alojamiento, al asentamiento de la probeta o a otra alteración, sino más bien es una respuesta auténtica del material.

11.2 El factor de rotura (nominal) se debe calcular dividiendo la carga máxima por el ancho mínimo original de la probeta. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de ancho, por lo general newtons por metro de ancho, y reportarse a tres cifras significativas. El espesor de la película debe siempre declararse hacia los más próximos 0,0025 mm.

Ejemplo:

Factor de rotura = 1,75 kN/m de ancho para 0,1300 mm de espesor (ver nota 16).

11.3La resistencia a la tracción (nominal) se calcula dividiendo la carga máxima por la sección transversal mínima original de la probeta. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascuales (MPa). Este valor debe reportarse a tres cifras significativas. La carga máxima puede ocurrir en el límite de elasticidad, en el límite de rotura, o en la región entre el límite de elasticidad y el límite de rotura (ver nota 17).

11.4La resistencia a la tracción en la rotura (nominal) se calcula de la misma manera que la resistencia a la tracción, salvo que se utiliza la carga de rotura en lugar de la carga máxima (ver notas 17 y 18).

11.5 El porcentaje de alargamiento en la rotura se calcula dividiendo la extensión al momento de la rotura de la probeta por la longitud inicial calibrada de la probeta y multiplicando por 100. Cuando se utilizan marcas de calibradores o extensómetros para definir una sección específica de prueba, solamente esta longitud se utiliza en el cálculo; caso contrario se utiliza la distancia entre las mordazas. El resultado debe expresarse en porcentaje y reportarse a dos cifras significativas (ver nota 17).

11.6La resistencia a la deformación permanente por tracción, cuando aplique, se debe calcular dividiendo la carga en el límite de elasticidad por el área mínima de sección transversal original de la probeta. El resultado se debe expresar en fuerza por unidad de área, por lo general megapascuales (MPa). Este valor debe reportarse a tres cifras significativas. Por otra parte, para los materiales que exhiben un comportamiento que obedece a la ley de Hooke en la parte inicial de la curva, debe obtenerse una compensación de la resistencia a la deformación permanente según lo descrito en el apéndice del método del ensayo ASTM D638. En este caso el valor debe presentarse como "resistencia a la deformación permanente en porcentaje de compensación".

11.7El porcentaje de alargamiento en la fluencia, cuando aplique, debe calcularse dividiendo la extensión en el límite de elasticidad por la longitud calibrada inicial de la probeta y multiplicando por 100. Cuando se utilizan marcas de calibrador o extensómetros para definir una sección específica de prueba, en el cálculo se utiliza solamente esta longitud. Previo al cálculo, corregir la extensión para la "compensación del arranque" como se describe en el Anexo A.1. Los resultados deben expresarse en porcentaje y reportarse a dos cifras significativas. Cuando se aplica la compensación de la resistencia a la deformación permanente, debe calcularse el alargamiento en la compensación de la resistencia a la deformación permanente.

NOTA 16. Este método de reporte es útil para películas muy finas (0,13 mm y menores) para las que la carga de rotura no es proporcional al área transversal y cuyo espesor es difícil de determinar con precisión. Por otra parte, las películas que están en efecto laminar debido a la orientación, efectos de piel, cristalinidad no uniforme, etc., tienen propiedades de tracción desproporcionada en relación a la sección transversal.

NOTA 17. Cuando ocurre una falla por desgarramiento, calcular e indicar los resultados en base a la carga y alargamiento en los cuales el desgarre se inicia, según se refleja en la curva de carga-deformación.

NOTA 18. En muchos casos, la resistencia a la tracción y resistencia a la rotura son idénticos, pero no siempre.

11.8 El módulo elástico debe calcularse trazando una tangente a la porción lineal inicial de la curva de carga-extensión, seleccionando cualquier punto en esta tangente y dividiendo el esfuerzo de tracción por la deformación correspondiente. Previo al cálculo, corregir la extensión para la "compensación del arranque" como se describe en el Anexo A.1. Para efectos de esta determinación, el esfuerzo de tracción se debe calcular dividiendo la carga por la sección transversal original promedio de la sección de ensayo. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa), y reportarse a tres cifras significativas.

11.9 El módulo secante, a una deformación designada, se calcula dividiendo la tensión (nominal) correspondiente por la deformación designada. Los valores de módulo elástico son preferibles y deben calcularse siempre que sea posible. Incluso, para los materiales en los que ninguna proporcionalidad es evidente, se calculan los valores de módulo secante. Dibujar la tangente como se indica en A.1.3 y la fig. A.1.2 del Anexo A.1, y delimitar la deformación designada del límite de elasticidad donde la recta tangente atraviesa la tensión cero. Determinar la tensión que se utiliza en el cálculo, dividiendo la carga a la deformación designada en la curva de carga-extensión por la sección transversal original promedio de la probeta.

11.10 La energía de tracción en la rotura, cuando aplique, se calcula mediante la integración de la energía por unidad de volumen bajo la curva tensión-deformación o mediante la integración de la energía total absorbida y dividiéndolo por el volumen de la región calibrada original de la probeta. Como se indica en el Anexo A.2, esto debe realizarse directamente durante el ensayo mediante un integrador electrónico, o posteriormente, por el cómputo del área de la curva trazada. El resultado debe expresarse en energía por unidad de volumen, por lo general en megajulios por metro cúbico (MJ/m^3). Este valor debe reportarse a dos cifras significativas.

11.11 Para cada serie de ensayos, la media aritmética de todos los valores obtenidos debe calcularse al número apropiado de cifras significativas.

11.12 La desviación estándar (estimada) se calcula de la siguiente manera y se reporta a dos cifras significativas:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)}$$

Donde:

s = desviación estándar estimada,
 X = valor de una sola observación,
 n = número de observaciones, y
 \bar{X} = media aritmética del conjunto de observaciones.

12. INFORME

12.1 Reportar la siguiente información:

12.1.1 Identificación completa del material ensayado, incluyendo el tipo, origen, número de código del fabricante, forma, dimensiones principales, antecedentes, y orientación de las muestras con respecto a la anisotropía (si existe).

12.1.2 Método de preparación de las probetas de ensayo.

12.1.3 Espesor, ancho y longitud de probetas ensayadas.

12.1.4 Número de probetas ensayadas.

12.1.5 Velocidad de deformación empleada.

12.1.6 Separación de las mordazas (inicial).

12.1.7 Velocidad de la cruceta (velocidad de separación de mordazas).

12.1.8 Longitud calibrada (si es diferente de la separación de las mordazas).

12.1.9 Tipo de mordazas utilizadas, incluyendo el revestimiento (si existe).

12.1.10 Procedimiento de acondicionamiento (condiciones de ensayo, temperatura y humedad relativa, si no son los valores estándar).

12.1.11 Comportamiento anómalo, como serían fallas por desgarramiento y fallas en la mordaza.

12.1.12 Factor promedio de rotura y desviación estándar.

12.1.13 Resistencia promedio a la tracción (nominal) y desviación estándar.

12.1.14 Resistencia promedio a la tracción en la rotura y desviación estándar.

12.1.15 Porcentaje promedio de alargamiento en la rotura y desviación estándar.

12.1.16 Cuando aplique, la energía promedio de tracción en la rotura y la desviación estándar.

12.1.17 En el caso de materiales que presentan el fenómeno de "fluencia": la resistencia promedio a la deformación permanente y la desviación estándar; y el porcentaje promedio de alargamiento en la fluencia y la desviación estándar.

12.1.18 Para materiales que no presenten un límite de elasticidad: el porcentaje promedio de compensación de la resistencia a la deformación permanente y la desviación estándar; y el porcentaje promedio de alargamiento de compensación de la resistencia a la deformación permanente y la desviación estándar.

12.1.19 Módulo promedio de elasticidad y desviación estándar (si se utiliza el módulo secante, entonces indicarlo y reportar la deformación a la cual se ha calculado).

12.1.20 Cuando se emplea un extensómetro, entonces indicarlo.

13. PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Se han llevado a cabo dos ensayos interlaboratorios para estas propiedades de tracción. El primero se ejecutó para módulos solamente en 1977, en el cual cuatro muestras de materiales delgados (~0,025 mm) extraídas aleatoriamente se ensayaron con cinco probetas en cada laboratorio. Las mediciones del módulo elástico (tangente) se realizaron por seis laboratorios, y las mediciones del módulo secante (1%) fueron realizadas por cinco laboratorios. La precisión relativa obtenida en este estudio interlaboratorios se encuentra en la tabla 2.

TABLA 2. Datos de precisión para módulos

Módulo tangente												
Material	Espesor,		Promedio,		S_n		S_m		L_n		L_m	
	μm	milés	kPa	psi	10^3 kPa	10^3 psi	10^2 kPa	10^2 psi	10^1 kPa	10^1 psi	10^2 kPa	10^2 psi
LDPE	35,6	1,4	371,6	53,9	12,5	1,81	60,7	8,81	35,3	5,12	171,7	24,9
HDPE	40,6	1,6	1316,9	191	37,7	5,47	111,7	16,2	106,9	15,5	316,5	45,9
PP	27,9	1,1	2930,2	425	71,0	10,3	217,2	31,5	199,9	29,0	614,3	89,1
PET	22,9	0,9	4633,2	672	95,2	13,8	382,7	55,5	269,6	39,1	1082,5	157,0
Módulo secante												
LDPE	35,6	1,4	310,3	45,0	14,5	2,11	23,7	3,43	41,2	5,98	66,9	9,7
HDPE	40,6	1,6	1034,2	150	22,7	3,29	66,1	9,58	64,1	9,30	186,8	27,1
PP	27,9	1,1	2564,8	372	32,1	4,66	182,7	26,5	91,0	13,2	516,4	74,9
PET	22,9	0,9	4412,6	640	69,0	10,0	189,6	27,5	195,8	28,4	536,4	77,8

13.1.1 Para obtener las estimaciones en la tabla 2, los valores extremos estadísticos no fueron eliminados, de acuerdo con la práctica ASTM E691.²

13.1.2 La desviación estándar dentro de un laboratorio para un valor medio, S_x , en cada caso se determinó a partir de la desviación estándar, S_x , de las cinco probetas individuales de la siguiente manera: $S_x = S_x / (5)^{1/2}$. Los valores S_x se agruparon entre laboratorios para un material dado para obtener la desviación estándar dentro de un laboratorio, S_x , de un resultado de ensayo (promedio de cinco probetas). Ver 13.3-13.3.2 para las definiciones de términos en las tablas.

13.2 Un ensayo interlaboratorios fue dirigido para todas las demás propiedades de tracción, excepto los módulos en el año 1981, en el cual seis muestras de materiales (una de ellas en tres espesores) que varían en espesor desde 0,019 hasta 0,178 mm (0,00075 a 0,007 pulgadas) fueron extraídas aleatoriamente y se ensayaron en siete laboratorios. Un resultado de ensayo fue definido como la media de las determinaciones de cinco probetas. Sin embargo, cada laboratorio ensayó ocho probetas, y el S_x se determinó a partir de $S_x = S_x / (5)^{1/2}$ como en el caso anterior. Esto se efectuó para mejorar la calidad de las estadísticas, manteniendo su aplicabilidad al resultado de un ensayo de cinco probetas. Los materiales y sus espesores están identificados en las tablas 3-7, cada uno de los cuales contiene los datos de una de las siguientes propiedades: resistencia a la deformación permanente por tracción, alargamiento en la fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento en la rotura por tracción y energía de tracción en la rotura (ver nota 19).³

13.3 A efectos de compilar estadísticas de resumen, un resultado de ensayo ha sido definido como el promedio de cinco mediciones replicadas de una propiedad para un material en un laboratorio, tal como se especifica en este método de ensayo. Las estadísticas de resumen se presentan en la tabla 3. En cada tabla, para el material indicado, $S(r)$ es la desviación estándar agrupada dentro de un laboratorio de un resultado de ensayo, $S(R)$ es la desviación estándar entre laboratorios de un resultado de ensayo, donde r es igual a $2,83 \times S(r)$ (ver 13.3.1) y R es igual a $2,83 \times S(R)$ (ver 13.3.2). (Advertencia: Las explicaciones siguientes sobre l , e y l_0 (13.3-13.3.3) pretenden solamente presentar de una manera significativa la precisión aproximada de este método de ensayo. Los datos de la tabla 2 no deben aplicarse rigurosamente para la aceptación o rechazo del material, pues aquellos datos son específicos del ensayo *round robin* y no pueden ser representativos de otros lotes, condiciones, materiales, o laboratorios. Los usuarios de este método de ensayo deben aplicar los principios esbozados en la práctica ASTM E691 para generar datos específicos para su laboratorio y materiales, o entre laboratorios específicos. Los principios de 13.3-13.3.3 serían entonces válidos para tales datos.)

13.3.1 Repetitividad, l , (Comparando dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por el mismo operador utilizando el mismo equipo en el mismo día). Los dos resultados de ensayo deben juzgarse no equivalentes, si difieren en más que el valor de l , para ese material.

13.3.2 Reproducibilidad, e . En la comparación de dos valores medios para el mismo material, obtenidos por operarios distintos, utilizando equipos diferentes en días diferentes, ya sea en el mismo laboratorio o en laboratorios diferentes, los valores medios deben juzgarse no equivalentes, si difieren en más que el valor R para ese material.

13.3.3 Cualquier juicio realizado de conformidad con 13.3.1 y 13.3.2, tiene un aproximado del 95% (0,95) de probabilidad de ser correcto.

13.3.4 Para mayor información, ver Práctica ASTM E691.

13.4 Sesgo. El error sistemático que contribuye a la diferencia entre un resultado y un valor verdadero (o de referencia). No existen estándares reconocidos en los cuales basar una estimación del sesgo para estos métodos de ensayo.

NOTA 19. Posterior a la presentación del informe de investigación, el examen del polietileno de baja densidad utilizado en este estudio entre polarizadores cruzados reveló líneas longitudinales que representan una variación sustancial a lo ancho en la orientación molecular que probablemente no fue exitosamente asignada al azar del componente de la varianza entre-laboratorios.

² Información de apoyo ha sido archivada en las oficinas de ASTM Internacional y se puede obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1084.

³ Información de apoyo ha sido archivada en las oficinas de ASTM Internacional y se puede obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1101.

TABLA 3. Datos de precisión para el límite elástico

Material	Espesor,		Promedio, 10 ³		(S _r) ^A 10 ³		(S _r) ^B 10 ³		k(η) ^C 10 ³		k(R) ^D 10 ³	
	μm	mils	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
LDPE	25,4	1,0	10,27	1,49	0,35	0,051	0,90	0,13	0,97	0,14	2,55	0,37
HDPE	25,4	1,0	29,85	4,33	0,58	0,084	1,10	0,16	1,65	0,24	3,03	0,44
PP	19,1	0,75	44,13	6,4	0,90	0,13	3,59	0,52	2,55	0,37	10,07	1,46
PC	101,6	4,0	59,23	8,59	0,50	0,072	2,00	0,29	1,38	0,2	5,65	0,82
CTA	134,6	5,3	78,60	11,4	0,83	0,12	3,45	0,5	2,34	0,34	9,86	1,43
PET	101,6	4,0	98,59	14,3	0,83	0,12	1,59	0,23	2,34	0,34	4,55	0,66
PET	63,5	2,5	99,28	14,4	0,97	0,14	3,72	0,54	2,76	0,4	10,48	1,52
PET	177,8	7,0	99,28	14,4	0,90	0,13	2,48	0,36	2,55	0,37	7,10	1,03

^A S_r es la desviación estándar del promedio dentro del laboratorio.

^B S_r es la desviación estándar del promedio entre laboratorios.

^C k = 2,83 S_r.

^D k = 2,83 S_r.

TABLA 4. Datos de precisión para el alargamiento elástico

Material	Espesor,		Promedio, %	(S _r) ^A , %	(S _r) ^B , %	k(η) ^C , %	k(R) ^D , %
	μm	mils					
PP	19,1	0,75	3,5	0,15	0,41	0,42	1,2
PET	63,5	2,5	5,2	0,26	0,92	0,74	2,6
PET	101,6	4,0	5,3	0,25	0,60	0,71	1,7
PET	177,8	7,0	5,4	0,14	1,05	0,40	3,0
CTA	134,6	5,3	5,4	0,19	0,99	0,54	2,8
PC	101,6	4,0	6,9	0,24	0,98	0,68	2,8
HDPE	25,4	1,0	8,8	0,32	1,82	0,91	5,2
LDPE	25,4	1,0	10,0	0,55	3,41	1,56	9,6

NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie.

TABLA 5. Datos de precisión para la resistencia a la tracción

Material	Espesor,		Promedio, 10 ³		(S _r) ^A 10 ³		(S _r) ^B 10 ³		k(η) ^C 10 ³		k(R) ^D 10 ³	
	μm	mils	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
LDPE	25,4	1,0	23,58	3,42	0,97	0,14	3,65	0,53	2,76	0,40	10,34	1,5
HDPE	25,4	1,0	47,37	6,87	1,86	0,27	5,58	0,81	5,24	0,76	15,86	2,3
PC	101,6	4,0	82,74	12,0	2,34	0,34	6,41	0,93	6,62	0,96	17,93	2,6
CTA	134,6	5,3	100,66	14,6	1,38	0,20	9,45	1,37	3,93	0,57	26,89	3,9
PP	19,1	0,75	195,81	28,4	10,82	1,57	31,44	4,56	30,34	4,40	88,94	12,9
PET	101,6	4,0	199,26	28,9	4,48	0,65	8,76	1,27	12,41	1,80	24,82	3,6
PET	177,8	7,0	208,91	30,3	5,72	0,83	9,10	1,32	15,86	2,30	25,51	3,7
PET	63,5	2,5	210,98	30,6	8,41	1,22	18,20	2,64	23,44	3,40	51,71	7,5

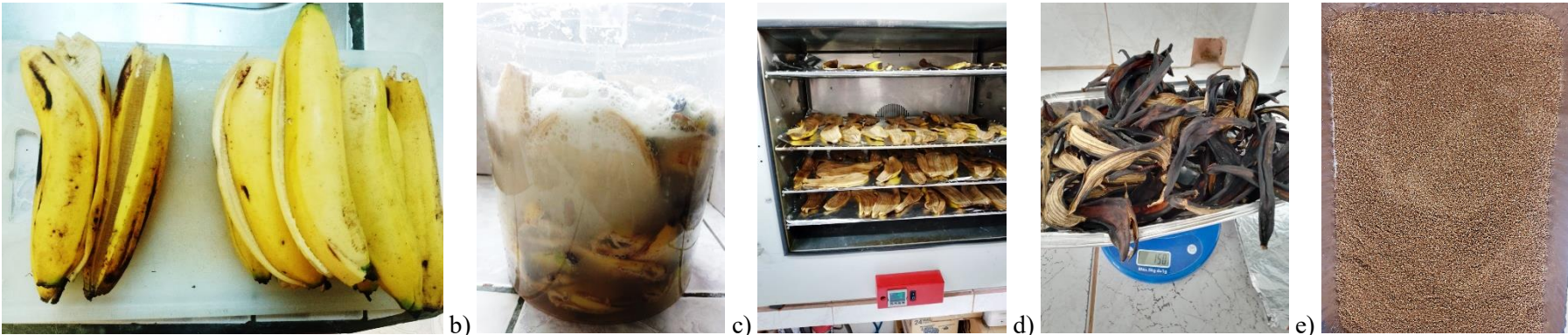
NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie.

ANEXO D: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO SECO POR BLANQUEAMIENTO DE ÁCIDO CÍTRICO



- a) Selección de la materia prima
- b) Blanqueamiento en ácido cítrico
- c) Secado
- d) Tamizado
- e) Producto obtenido

ANEXO E: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO SECO POR BLANQUEAMIENTO DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO



a) Selección de la materia prima

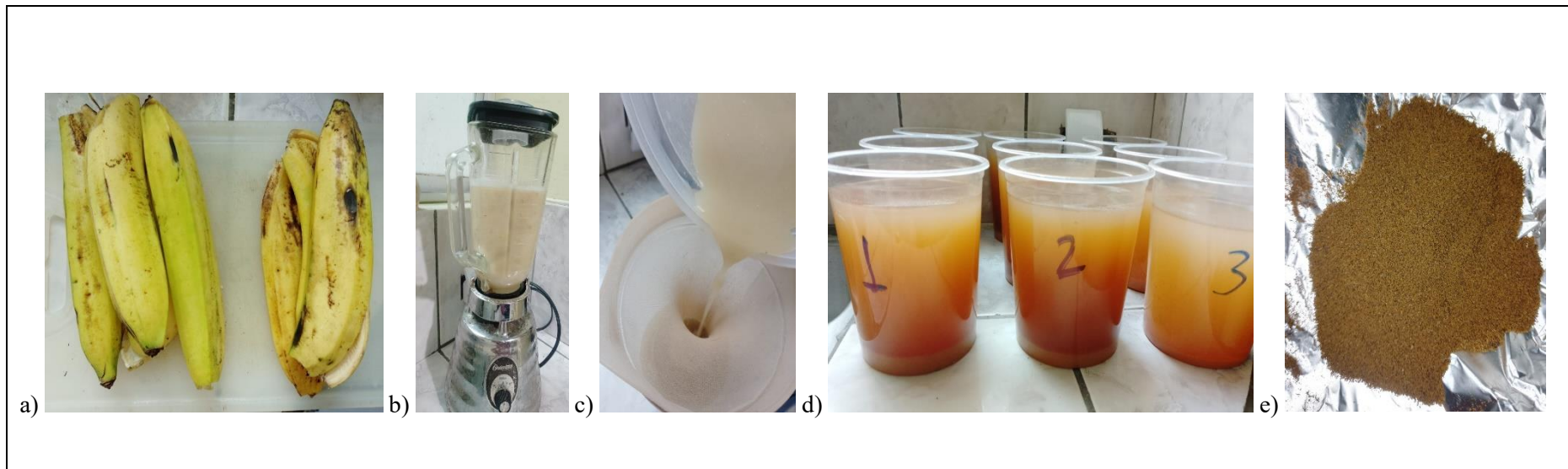
b) Blanqueamiento en peróxido de hidrogeno V. 30

c) Secado

d) Pesado

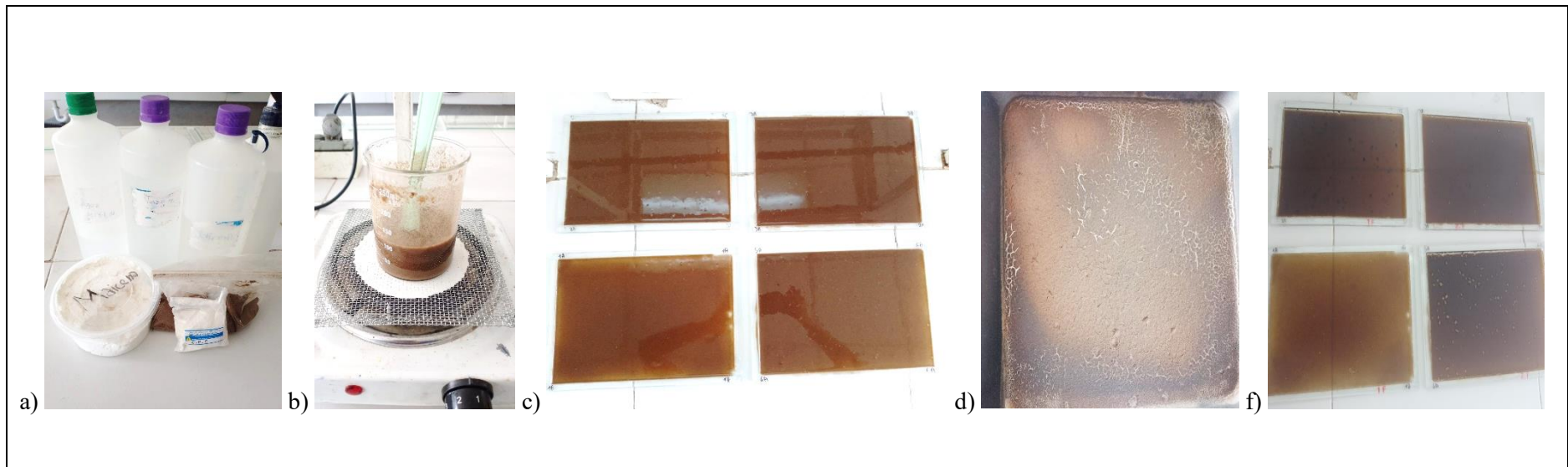
e) Producto obtenido

ANEXO F: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO POR MÉTODO HÚMEDO



- a) Selección de materia prima
- b) Licuado
- c) Filtrado
- d) Sedimentación
- e) Producto obtenido

ANEXO G: ELABORACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE



- a) Reactivos para realizar el plástico biodegradable
- b) Elaboración del plástico biodegradable
- c) Plástico biodegradable húmedo
- d) Pruebas fallidas
- e) Plástico biodegradable sin desmoldar

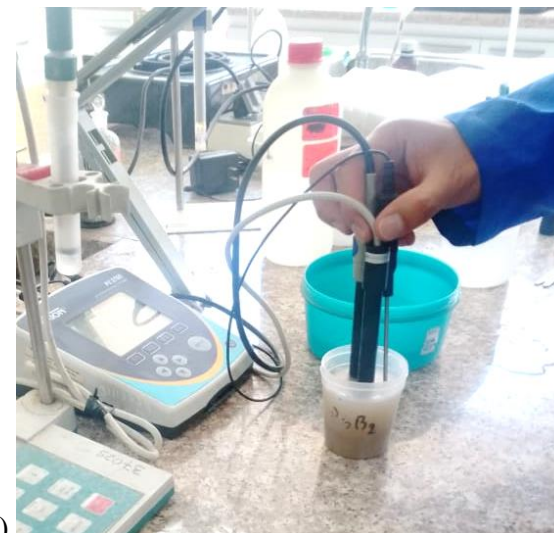
ANEXO H: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA



a)



b)



c)

- a) Prueba de humedad
- b) Prueba de solidos solubles totales
- c) Prueba de pH

ANEXO I: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN



a)



b)



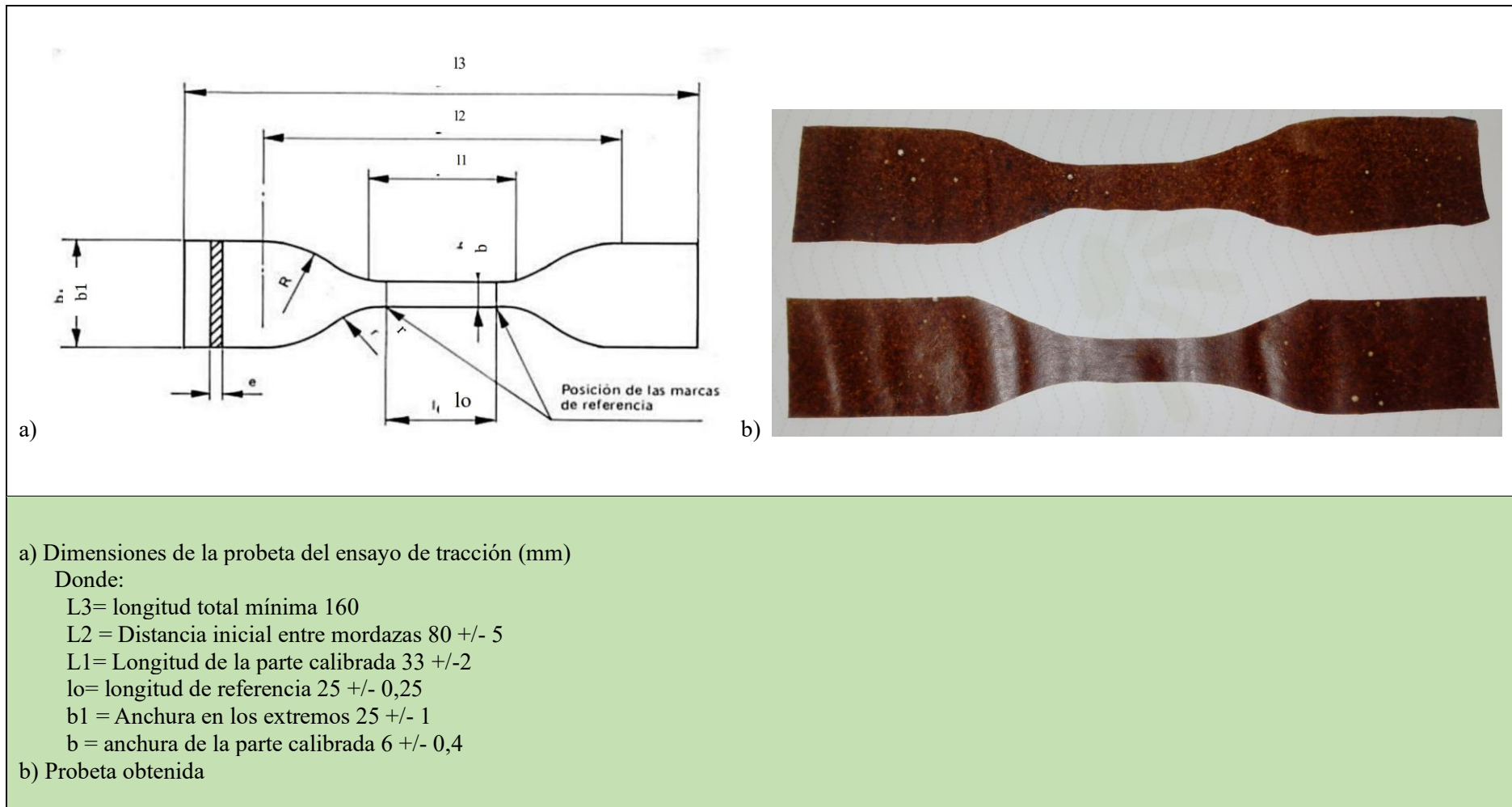
c)

a) Prueba de viscosidad

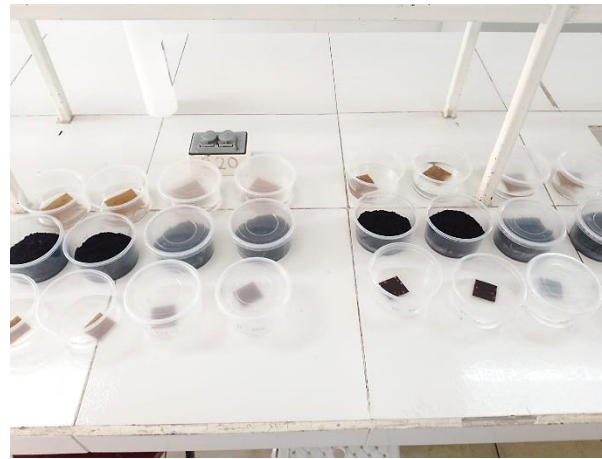
b) Prueba de pH

c) Prueba de temperatura de gelatinización

ANEXO J: PROBETA DE ENSAYO DE TRACCIÓN



ANEXO K: CARACTERIZACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE



- a) Pruebas de solubilidad en agua
- b) Prueba de permeabilidad al vapor de agua
- c) Prueba de biodegradabilidad
- d) Prueba de resistencia a la tracción

ANEXO L: PRUEBAS DE RECUBRIMIENTO AL PRODUCTO DE LA EMPRESA ROLDEG S.A. ECUADOR



a)



b)



c)

- a) Producto de la empresa ROLDEG SA Ecuador
- b) Producto envuelto con el plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano
- c) Comparación de ambos productos

ANEXO M: INFORME DE PRUEBA DE TRACCIÓN PARA LA FORMULACIÓN 1



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 01	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (Musa paradisiaca) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T1-R1
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPEJOR [mm]	0.21
ANCHURA [mm]	9.18
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.93
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2.803.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.14
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.11
CARGA MAXIMA [N]	2.24
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.16
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	6.00
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (Musa paradisiaca) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006- CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T1-R2
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPESOR [mm]	0.3
ANCHURA [mm]	9.21
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	2.76
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3.003.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	3.59
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.30
CARGA MAXIMA [N]	4.00
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.45
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	6.84
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (<i>Musa paradisiaca</i>) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T1-R3
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPESOR [mm]	0.19
ANCHURA [mm]	9.18
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.74
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3.371.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.44
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1.40
CARGA MAXIMA [N]	2.54
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1.46
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	7.00
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



LenMav
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES
Riobamba, Ecuador

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

ANEXO N: INFORME DE PRUEBA DE TRACCIÓN PARA LA FORMULACIÓN 2



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 04	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (Musa paradisiaca) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2-R1
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPEJOR [mm]	0.34
ANCHURA [mm]	9.02
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	3.07
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.557.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.02
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.66
CARGA MAXIMA [N]	2.11
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.69
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3.92
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 05	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (Musa paradisiaca) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006-CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2-R2
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPEJOR [mm]	0.34
ANCHURA [mm]	9.09
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	3.09
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.774.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	1.95
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.63
CARGA MAXIMA [N]	2.02
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.65
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	4.44
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 06	
SOLICITADO POR:	Adela Armijos Hurtado
PROYECTO:	"DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE BANANO (<i>Musa paradisiaca</i>) PARA LA EMPRESA ROLDEG SA ECUADOR"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. CIENCIAS - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2023 - 07
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	2-ago-23
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006- CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2-R3
CARACTERÍSTICA	COLOR CAFÉ
ESPESOR [mm]	0.33
ANCHURA [mm]	9.36
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	3.09
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1.739.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.59
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.84
CARGA MAXIMA [N]	2.76
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.89
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	6.24
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:



LenMav
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES
Riobamba - Ecuador

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 15 / 12 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Adela Anthonela Armijos Hurtado
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



2082-DBRA-UPT-2023