

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Evaluación de la producción de biopolímero a partir de un extracto de polisacárido de arveja (*Pisum sativum*) a escala laboratorio.

Trabajo de graduación presentado por

Dary Michelle Aldana Sarceño

para optar al grado académico de

Licenciada en Ingeniería Química Industrial

Guatemala
2024

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Evaluación de la producción de biopolímero a partir de un extracto de polisacárido de arveja (*Pisum sativum*) a escala laboratorio.

Trabajo de graduación presentado por Dary Michelle Aldana Sarceño para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química Industrial

Guatemala,
2024

Vo. Bo.

(f)  _____

Ing. Luis Ernesto Núñez González, M.Sc.

Terna examinadora

(f)  _____

Ing. Luis Ernesto Núñez González, M.Sc.

(f)  _____

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M.Sc.

(f)  _____

Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda, M.A.

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre de 2024

PREFACIO

Este trabajo es el resultado de dedicación, esfuerzo, compromiso, perseverancia y el conocimiento adquirido durante seis años de estudios. No solo representa la finalización de mi carrera, sino también un hermoso comienzo para desarrollar mi vida profesional.

Primero, agradezco a Dios por darme vida, salud, capacidad, inteligencia y perseverancia para alcanzar esta meta, y por brindarme la oportunidad de estar en esta prestigiosa casa de estudios. A mis padres, Patricia Sarceño y Luis Alfredo Aldana, gracias por darme alas para siempre soñar alto, por brindarme la oportunidad de superarme, por sus esfuerzos realizados, por confiar en mí y en mis capacidades, por guiar mis pasos en la vida, por ser mi pilar y ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional y su infaltable amor.

Agradezco especialmente a mi asesor, el MSc. Ing. Luis Nuñez, por ser una guía en este camino, su acompañamiento, tiempo dedicado, paciencia y conocimientos brindados y al MSc. Ing. Gamaliel Zambrano, por ser un director ejemplar, por su confianza, dedicación, explicaciones, paciencia y cariño. Gracias, ingenieros, por contribuir de manera significativa a mi formación como profesional y como ser humano.

Agradezco a José Luis Chacón, quien ha sido un pilar importante en este trayecto, por su acompañamiento, amor, apoyo y consejos durante el desempeño de toda mi carrera profesional y desarrollo de este trabajo en especial.

Una mención especial a mis mejores amigos y compañeros en este bello pero retador camino hacia el desarrollo profesional: Celeste Urzúa, Salvador Cordón, José Carlo Lemus, Isabella Sequeira, Lucía Flores y Diego Alvarado. Gracias por motivarme a ser siempre mejor, por animarme y apoyarme en cada curso, por regalarme momentos inolvidables y por aportar tanto a mi vida.

Finalmente, agradezco a esta prestigiosa casa de estudios, la Universidad del Valle de Guatemala, por abrirme sus puertas, ofrecerme grandes oportunidades y brindarme las herramientas necesarias para formarme como un excelente profesional.

Gracias a todos los que han formado parte de este viaje; sin ustedes, este logro no habría sido posible.

CONTENIDO

PREFACIO.....	I
LISTA DE CUADROS	II
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE CÁLCULOS.....	VIII
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. JUSTIFICACIÓN.....	7
IV. OBJETIVOS.....	9
V. MARCO TEÓRICO.....	10
A. ARVEJA.....	10
1. <i>Origen</i>	10
2. <i>Clasificación taxonómica</i>	11
3. <i>Características botánicas</i>	11
4. <i>Composición química y nutricional</i>	12
5. <i>Arveja China en Guatemala</i>	13
B. ALMIDÓN	14
1. <i>Composición</i>	14
a. <i>Estructura química</i>	14
b. <i>Amilosa</i>	15
c. <i>Amilopectina</i>	15
C. ALMIDÓN EN LA ARVEJA.....	16
1. <i>Propiedad funcional</i>	16
2. <i>Capacidad de gelificación</i>	17
D. CELULOSA	17
1. <i>COMPOSICIÓN</i>	17
a. <i>Estructura química</i>	18
b. <i>Propiedades físicas y químicas</i>	18
E. CELULOSA EN LA ARVEJA	18
F. HIDRÓLISIS	19
1. <i>Hidrólisis vía húmeda</i>	20
2. <i>Hidrólisis ácida</i>	20
G. BIOPOLÍMERO.....	22
H. DEGRADACIÓN DE POLÍMEROS	24
1. <i>BIODEGRADACIÓN</i>	24
2. <i>Degradación mecánica</i>	26
3. <i>Degradación química</i>	27
I. PLASTIFICANTES Y ADITIVOS	28

1.	<i>Glicerol</i>	28
2.	<i>Ácido acético</i>	29
J.	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA TEÓRICO	30
K.	DIAGRAMAS DE FLUJO TEÓRICO	31
VI.	METODOLOGÍA	32
A.	DETERMINACIÓN PROPIEDADES FISICOQUÍMICA DE LA ARVEJA	32
B.	EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO	34
C.	DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES POLISACÁRIDO EXTRAÍDO	41
D.	FORMULACIÓN DE BIOPOLÍMERO	44
F.	COMPARACIÓN CON POLÍMEROS DISPONIBLES EN EL MERCADO	52
H.	GUARDAR EL DIAGRAMA EN FORMATO VISIO (.VSDX).	55
I.	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MUESTRAS ANALIZADAS	55
VII.	RESULTADOS	57
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
IX.	CONCLUSIONES	90
X.	RECOMENDACIONES	92
XI.	LITERATURA CITADA	94
XII.	ANEXOS	99
A.	DATOS ORIGINALES	99
B.	CÁLCULOS DE MUESTRA	114
C.	DATOS CALCULADOS	125
D.	ANÁLISIS DE ERROR	138
E.	FOTOGRAFÍAS DE EXERIMENTACIÓN	140
F.	GLOSARIO	161
G.	FICHAS TÉCNICAS REACTIVOS	163
F.	FICHAS TÉCNICAS REACTIVOS	163

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA.....	6
CUADRO 2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ARVEJA CHINA	11
CUADRO 3. MÉTODOS EVALUADOS PARA EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>)	35
CUADRO 4. FORMULACIONES EVALUADAS PARA FABRICAR BIOPOLÍMERO CON ADICIÓN DE AGENTES PLASTIFICANTES	45
CUADRO 5. CONDICIONES DE OPERACIÓN EN CADA FORMULACIÓN EVALUADA	45
CUADRO 6. MÉTODOS DESARROLLADOS, VARIANDO OPERACIONES UNITARIAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	57
CUADRO 7. RENDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDOS DE ARVEJA (<i>PISUM SATIVUM</i>) PARA SU APLICACIÓN COMO MATERIA PRIMA DE UN BIOPOLÍMERO DE LOS 4 MÉTODOS EVALUADOS PARA LA EXTRACCIÓN.	59
CUADRO 8. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CON EL MEJOR RENDIMIENTO Y RAZONES DE SELECCIÓN.	59
CUADRO 9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO QUE MAXIMIZA EL RENDIMIENTO.	60
CUADRO 10. BLANQUEO DE MASA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA A PARTIR DE CANTIDADES EMPLEADAS EN EL DESARROLLO A ESCALA LABORATORIO.	62
CUADRO 11. FORMULACIONES DESARROLLADAS, VARIANDO LA CONCENTRACIÓN DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO Y COMPONENTES, PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO DE ARVEJA.	63
CUADRO 12. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE OPERACIÓN DE SECADO EN FORMULACIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	63
CUADRO 13. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MODIFICACIONES QUÍMICAS PARA OBTENCIÓN DE UN BIOMATERIAL A PARTIR DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA EXTRAÍDO.	64
CUADRO 14. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE RENDIMIENTO DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDOS DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>) CON EL MÉTODO DE MODIFICACIÓN QUÍMICA SELECCIONADA.....	65
CUADRO 15. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PROPIEDADES DEL BIOPOLÍMERO DE ARVEJA CHINA OBTENIDO EMPLEANDO MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.	66
CUADRO 16. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPOLÍMERO DE ARVEJA CHINA PRODUCIDO.....	67
CUADRO 17. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE SOLUBILIDAD DEL BIOPOLÍMERO DE ARVEJA CHINA PRODUCIDO EXPUESTO A DIVERSOS SOLVENTES.	67
CUADRO 18. PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL BIOPOLÍMERO DE ARVEJA CHINA PRODUCIDO.....	68
CUADRO 19. POSIBLES APLICACIONES CON VALOR COMERCIAL PARA EL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO.....	69
CUADRO 20. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DEL BIOPOLÍMERO DE ARVEJA CHINA PRODUCIDO Y PLÁSTICOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL MERCADO.....	70

CUADRO 21. PRUEBAS DE PROPUESTAS DE EMBALAJE DE FRUTAS PARA BIOPOLÍMERO PRODUCIDO Y COMPARATIVA CON POLÍMEROS DEL MERCADO, ESPECÍFICAMENTE CON FRESAS.....	71
CUADRO 22. PRUEBAS DE PROPUESTAS DE EMBALAJE DE FRUTAS PARA BIOPOLÍMERO PRODUCIDO Y COMPARATIVA CON POLÍMEROS DEL MERCADO, ESPECÍFICAMENTE CON MANZANA VERDE.....	72
CUADRO 23. LISTADO DE EQUIPAMIENTO CON CONDICIONES DE OPERACIÓN PROPUESTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA.	75
CUADRO 24. LISTADO DE CANALIZACIONES DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA.....	76
CUADRO 25. LONGITUD DE VAINA DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>)	99
CUADRO 26. MASAS DE VAINA DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	100
CUADRO 27. PORCENTAJE DE HUMEDAD B.H.(M/M) PRESENTE EN LAS VAINAS DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	101
CUADRO 28. TEMPERATURAS DE SECADO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>)	101
CUADRO 29. TIEMPOS DE SECADO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	101
CUADRO 30. PH ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	102
CUADRO 31. PRUEBAS DE PRESENCIA DE ALMIDÓN DE LA ARVEJA CHINA EMPLEANDO LUGOL	102
CUADRO 32. CANTIDADES INICIALES DE ARVEJA EMPLEADAS Y CANTIDADES DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN 1.	102
CUADRO 33. CANTIDADES INICIALES DE ARVEJA EMPLEADAS Y CANTIDADES DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN 2.	103
CUADRO 34. CANTIDADES INICIALES DE ARVEJA EMPLEADAS Y CANTIDADES DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN 3.	103
CUADRO 35. CANTIDADES INICIALES DE ARVEJA EMPLEADAS Y CANTIDADES DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN 4.	103
CUADRO 36. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN 1.....	104
CUADRO 37. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN 2.....	105
CUADRO 38. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN 3.....	105
CUADRO 39. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN 4.....	106
CUADRO 40. DATOS PARA DETERMINACIÓN DE % CENIZAS PARA EL MÉTODO 1 DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	106
CUADRO 41. DATOS PARA DETERMINACIÓN DE % CENIZAS PARA EL MÉTODO 2 DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	107
CUADRO 42. DATOS PARA DETERMINACIÓN DE % CENIZAS PARA EL MÉTODO 3 DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	107
CUADRO 43. DATOS PARA DETERMINACIÓN DE % CENIZAS PARA EL MÉTODO 4 DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	107
CUADRO 44. CANTIDADES DE REACTIVOS Y POLISACÁRIDO EXTRAÍDO EMPLEADO EN LAS 3 FORMULACIONES EVALUADAS.	108

CUADRO 45. PORCENTAJES DE HUMEDAD B.H.(M/M) DE BIPOLIMERO PRODUCIDO EMPLEANDO 2 MÉTODOS DE SECADO	108
CUADRO 46. MASAS DE REACTIVOS EN LAS FORMULACIONES EVALUADAS	108
CUADRO 47. MASAS DE BIPOLIMERO PRODUCIDO MEDIANTE FORMULACIÓN SELECCIONADA	109
CUADRO 48. ESPESOR DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	109
CUADRO 49. ÁREA DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	109
CUADRO 50. PORCENTAJE DE HUMEDAD B.H.(M/M) DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	110
CUADRO 51. RESISTENCIA TERMICA DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	110
CUADRO 52. TEMPERATURA DE FUSIÓN DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	111
CUADRO 53. MASAS SECAS Y HÚMEDOS POSTERIORES A UNA SUMERSIÓN EN AGUA DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	111
CUADRO 54. DATOS ORIGINALES DE LAS PRUEBAS DE TENSIÓN APLICADAS A BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	111
CUADRO 55. TIEMPOS DE SOLUBILIDAD DE BIOPOLÍMERO EN DIVERSOS SOLVENTES	112
CUADRO 56. VALORES EN TRIPLICADO DE PROPIEDADES DE BOLSAS CRISTAL (POLIPROPILENO DE BAJA Y DE ALTA DENSIDAD) MARCA SURTIPLAST Y GLOBO	112
CUADRO 57. VALORES EN TRIPLICADO DE PROPIEDADES DE PAPEL FILM MARCA DIAMOND	112
CUADRO 58. CANTIDADES EMPLEADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA A ESCALA LABORATORIO.	113
CUADRO 59. PROMEDIO DE LONGITUD DE VAINA DE ARVEJA	125
CUADRO 60. PROMEDIO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD B.H.(M/M) DE VAINA DE ARVEJA ...	125
CUADRO 61. PROMEDIO DE PESO DE VAINA DE ARVEJA.....	125
CUADRO 62. PROMEDIO DE TIEMPO DE SECADO DE VAINA DE ARVEJA	126
CUADRO 63. PROMEDIO DE PH DE VAINA DE ARVEJA	126
CUADRO 64. PROMEDIO DE TEMPERATURA DE SECADO DE VAINA DE ARVEJA	126
CUADRO 65. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO MEDIANTE MÉTODO 1	126
CUADRO 66. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO MEDIANTE MÉTODO 2	127
CUADRO 67. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO MEDIANTE MÉTODO 3	127
CUADRO 68. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO MEDIANTE MÉTODO 4	128
CUADRO 69. PORCENTAJE DE CENIZAS PARA LOS 4 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>)	128
CUADRO 70. CARACTERÍSTICAS FISIQUÍMICAS DEL POLISACÁRIDO EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN 4 (SELECCIONADO YA QUE MAXIMIZA EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN)	128
CUADRO 71. PORCENTAJE DE HUMEDAD B.H.(M/M) PROMEDIO PARA CADA BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE LAS FORMUALCIONES ANTES PRESENTADAS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS VALORES OBTENIDOS.	129
CUADRO 72. RENDIMIENTO DE POLIMERIZACIÓN DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA.....	129

CUADRO 73. PORCENTAJES DE ABSORCIÓN PROMEDIO EN TRIPLICADO DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO.....	130
CUADRO 74. PORCENTAJES DE MASA PERDIDA DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO EN TRIPLICADO DEBIDO A EXPOSICIÓN A DIVERSOS GRADOS DE TEMPERATURA	130
CUADRO 75. VALORES PROMEDIO DE PROPIEDADES EVALUADAS DEL BIOPOLÍMERO PRODUCIDO.....	131
CUADRO 76. PRUEBAS DE TENSIÓN APLICADAS A BIOPOLÍMERO PRODUCIDO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA	131
CUADRO 77. TIEMPOS PROMEDIOS DE SOLUBILIDAD DE BIOPOLÍMERO EN DIVERSOS SOLVENTES	132
CUADRO 78. VALORES PROMEDIO DE PROPIEDADES DE PLASTICOS CONTAMINANTES EVALUADOS.....	133
CUADRO 79. BALANCE DE MASA CON EL OBJETIVO DE PRODUCIR 2,000G/H DE BIOPOLÍMERO DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA SECO A PARTIR DE BALANCE DE MASA A ESCALA LABORATORIO DESARROLLADO DE FORMA EXPERIMENTAL	134
CUADRO 80. BALANCE DE MASA CON EL OBJETIVO DE PRODUCIR 2,000G/H DE BIOPOLÍMERO DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA SECO A PARTIR DE BALANCE DE MASA A ESCALA LABORATORIO DESARROLLADO DE FORMA EXPERIMENTAL EN KG/H	135

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. EXPORTACIONES DE ARVEJA CHINA COSECHADA EN GUATEMALA PARA EL MUNDO	13
FIGURA 2. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOSA	15
FIGURA 3. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOPECTINA	16
FIGURA 4. CLASIFICACIONES DE LOS BIOPOLÍMEROS SEGÚN SU ORIGEN	23
FIGURA 5. DIAGRAMA DE PROCESO PRODUCCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA A ESCALA LABORATORIO.	61
FIGURA 6. BIOPOLÍMERO RESULTANTE EMPLEANDO EL MÉTODO DE MODIFICACIONES QUÍMICA SELECCIONADO A PARTIR DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA (<i>PISUM SATIVUM</i>).....	65
FIGURA 7. FRESA EXPUESTA A DIVERSAS ENVOLTURAS PARA EVALUAR PROPUESTA DE VALOR COMERCIAL.....	71
FIGURA 8. MANZANA EXPUESTA A DIVERSAS ENVOLTURAS PARA EVALUAR PROPUESTA DE VALOR COMERCIAL.	73
FIGURA 9. PROPUESTA DE DIAGRAMA DE PROCESO PARA PRODUCIR DE 2,000 G/H BIOPOLÍMERO DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA A PARTIR DE PROCESO DESARROLLADO A ESCALA LABORATORIO	74
FIGURA 10. TENSIÓN VS ELONGACIÓN DEL BIOPOLÍMERO SOMETIDO A PRUEBAS DE TENSIÓN	132
FIGURA 11. MEDICIÓN DE LONGITUD DE ARVEJA.....	140
FIGURA 12. DETERMINACIÓN DE TIEMPO Y TEMPERATURA DE SECADO DE VAINA DE ARVEJA	140
FIGURA 13. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD B.H.(M/M) DE VAINA DE ARVEJA	141
FIGURA 14. PESAJE DE VAINAS DE ARVEJAS NECESARIAS PARA EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN	141
FIGURA 15. TRITURACIÓN DE ARVEJAS CON AGUA DESTILADA EN LICUADORA OSTER EN LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS	142
FIGURA 16. FILTRADO DE SOLUCIÓN TRITURADA DE ARVEJA EMPLEANDO PAPEL FILTRO (MÉTODO DE EXTRACCIÓN 1).....	142
FIGURA 17. MEDICIÓN DE PH Y PRUEBA DE PRESENCIA DE ALMIDÓN CON LUGOL A SOLUCIÓN DE ARVEJA TRITURADA	143
FIGURA 18. SEDIMENTADO EN AMPOLLA DE DECANTACIÓN (MÉTODO DE EXTRACCIÓN 1) ..	143
FIGURA 19. SÓLIDOS SEDIMENTADOS EN AMPOLLA DE DECANTACIÓN (MÉTODO DE EXTRACCIÓN 1).....	144
FIGURA 20. ALMACENAMIENTO DE SOLUCIÓN SEDIMENTADA EN FRASCOS DE VIDRIOS PREVIO AL SECADO.	144
FIGURA 21. ALMIDÓN SEDIMENTADO EN EL FONDO DEL FRASCO DE VIDRIO ALMACENADO.	145
FIGURA 22. SECADO PARCIAL DE POLISACÁRIDO EXTRAÍDO EN MÉTODO 1 (PRESENTÓ UNA COLORACIÓN Y OLOR EXTRAÑO- CAMELIZADO)	145
FIGURA 23. ALTERNATIVA DE FILTRADO DE FIBRA (PAPEL FILTRO NO PERMITIO PASO, SE SATURO EN POCO TIEMPO)	146

FIGURA 24. SECADO TOTAL DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO (TEXTURA, OLOR Y COLOR EXTRAÑO: CERAS ADICIONADAS EN FILTRO DE MANTA).....	146
FIGURA 25. PESO DE ARVEJA EMPLEADA PARA SIGUIENTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN	147
FIGURA 26. TRITURACIÓN DE ARVEJAS PARA SIGUIENTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN.....	147
FIGURA 27. SEDIMENTACIÓN DE SOLUCIÓN DE ARVEJA POSTERIOR A FILTRADO.....	148
FIGURA 28. CENTRÍFUGACIÓN DE SOLUCIÓN SEDIMENTADA.....	148
FIGURA 29. SOLUCIÓN CENTRÍFUGADA COLOCADA EN PAPEL ALUMINIO PARA SECADO	149
FIGURA 30. EXTRACTO DE POLISACÁRIDO SECADO EN PAPEL ALUMINIO (EL SECADO EN ESTE MEDIO NO FUE EXITOSO YA QUE SE PERDIO MUESTRA).....	149
FIGURA 31. MOLIENDA DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO CON MORTERO Y PISTILO.....	150
FIGURA 32. BIOPOLÍMERO PRODUCIDO MEDIANTE FORMULACIÓN 1 (MALOS RESULTADOS POR LO QUE SE BUSCO VARIAR LOS METODOS).....	150
FIGURA 33. PESAJE PARA OTRAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN Y FORMULACIÓN DE BIOMATERIAL	151
FIGURA 34. CENTRÍFUGACIÓN POR MAYOR TIEMPO, MAYOR REVOLUCIONES/MINUTO Y LAVADOS CON AGUA DESTILADA	151
FIGURA 35. OTRO MEDIO DE SECADO: FRASCO DE VIDRIO	152
FIGURA 36. POLIMERIZACIÓN (EXTRACTO DE POLISACÁRIDO ADICIÓN DE GLICERINA, ÁCIDO ACÉTICO Y AGUA)	152
FIGURA 37. SECADO DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO EMPLEANDO FORMULACIÓN 2 (EL DE LA DERECHA FUE DESPEGADO DEL MOLDE PARA QUE EL CALOR LLEGUE A TODAS PARTES)	153
FIGURA 38. BIOPOLÍMERO SECO PRODUCIDO MEDIANTE FORMULACIÓN 2 (BIOPOLÍMERO SE ACERCA A PRODUCTO DESEADO)	153
FIGURA 39. MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO FINAL EFECTUANDO VARIANTES A PARTIR DE ERRORES DE METODOS ANTERIORES	154
FIGURA 40. CENTRÍFUGACIÓN POR MAYOR TIMEPO Y MAYOR VELOCIDAD (RPM) EN MÉTODO DE EXTRACCIÓN FINAL (4)	154
FIGURA 41. EXTRACTO DE POLISACÁRIDO OBTENIDO MEDIANTE MÉTODO 4 SECO.....	155
FIGURA 42. INCORPORACIÓN DE PROCESO DE TAMIZAJE PARA MEJORAR TEXTURA DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO	155
FIGURA 43. PROCESO DE FORMULACIÓN 3	156
FIGURA 44. BIOPOLÍMERO HUMEDO PREVIO AL SECADO PRODUCIDO MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO 4 Y LA FORMULACIÓN 3	156
FIGURA 45, BIOPOLÍMERO SECO PRODUCIDO MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDO 4 Y LA FORMULACIÓN 3	157
FIGURA 46. PRUEBAS MECÁNICAS Y DE SOLUBILIDAD DEL BIOMATERIAL PRODUCIDO	158
FIGURA 47. DETERMINACIÓN DE PESO DE BIOPOLÍMERO PRODUCIDO	159
FIGURA 48. PRUEBA DE PROPUESTAS DE APLICACIÓN CON VALOR COMERCIAL (EMBALAJE DE ALIMENTOS).....	159
FIGURA 49. DIAGRAMA DE PROCESO PROPUESTA PARA FUTURO ESCALAMIENTO	160

LISTA DE CÁLCULOS

CÁLCULO 1. PROMEDIO	114
CÁLCULO 2. RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE BIOPOLÍMERO	114
CÁLCULO 3. MASA DE CENIZA PRESENTE EN POLISACÁRIDO EXTRAÍDO	114
CÁLCULO 4. PORCENTAJE DE CENIZAS PRESENTE EN POLISACÁRIDO EXTRAÍDO	114
CÁLCULO 5. CÁLCULO DE CANTIDAD DE NAOH PARA NEUTRALIZAR BIOPOLÍMERO RESULTANTE CON PRESENCIA DE ÁCIDO ACÉTICO	115
CÁLCULO 6. RENDIMIENTO DE POLIMERIZACIÓN DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA CHINA.....	116
CÁLCULO 7. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	116
CÁLCULO 8. PORCENTAJE DE MASA PERDIDA EN PRUEBA DE RESISTENCIA TERMICA.....	116
CÁLCULO 9. CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN	116
CÁLCULO 10. DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN POR UNIDAD DE LONGITUD (ELONGACIÓN)	117
CÁLCULO 11. MÓDULO DE YOUNG	117
CÁLCULO 12. FACTOR DE ESCALA	118
CÁLCULO 13. PORCENTAJE DE CONVERSIÓN A ESCALA LABORATORIO DE VAINA DE ARVEJA EN BIOPOLÍMERO DE EXTRACTO DE POLISACÁRIDO DE ARVEJA.....	118
CÁLCULO 14. PORCENTAJE DE CONVERSIÓN A ESCALA LABORATORIO DE BIOPOLÍMERO HUMEDO EN BIOPOLÍMERO SECO POSTERIOR AL SECADO EN HORNO DE BANDEJAS	118
CÁLCULO 15. MASA DE BIOPOLÍMERO HUMEDO PREVIO AL SECADO PARA PRODUCIR 2,000G/H DE BIOPOLÍMERO SECO.....	119
CÁLCULO 16. PRESIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA PROPUESTA PARA BOMBEO DE AGUA DE TANQUE DE AGUA SUAVIZADA A INTERCAMBIADOR DE CALOR PREVIO A REACTOR DE POLIMERIZACIÓN	119
CÁLCULO 17. PRESIÓN DE CENTRÍFUGA PROPUESTA	120
CÁLCULO 18. PRESIÓN DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA BOMBEO DE SOLUCIÓN ACUOSA CON SEDIMENTO PREVIO A ENTRAR A LA CENTRÍFUGA	120
CÁLCULO 19. PRESIÓN PROPUESTA PARA FILTRO DE PRENSA	121
CÁLCULO 20. PRESIÓN DE SEDIMENTADOR PROPUESTA.....	121
CÁLCULO 21. ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR EL AGUA.....	121
CÁLCULO 22. FLUJO DE VAPOR SATURADO NECESARIO PROPUESTO	122
CÁLCULO 23. ENERGÍA TOTAL REQUERIDA DEL COMBUSTIBLE	122
CÁLCULO 24. FLUJO DE COMBUSTIBLE PARA CALDERA PROPUESTO	122
CÁLCULO 25. DESVIACIÓN ESTÁNDAR	138
CÁLCULO 26. INCERTIDUMBRE SUMAS Y RESTAS	138
CÁLCULO 27. MULTIPLICACIÓN Y DIVISIÓN	138

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo evaluar la producción de un biopolímero a partir de la extracción de polisacáridos de Arveja China (*Pisum sativum*), utilizando diversos métodos de extracción previamente reportados para fuentes vegetales, con el propósito de desarrollar una alternativa de producto con valor comercial. Se evaluaron cuatro métodos diferentes de extracción de polisacáridos que incluían combinaciones de operaciones como licuado, filtración, sedimentación, Centrifugación y secado. Los métodos fueron seleccionados en base a su rendimiento de extracción, facilidad de implementación y pureza del polisacárido extraído. El método 4, que combinó varias etapas de Centrifugación y sedimentación, junto con un secado controlado mediante circulación de oxígeno, demostró ser el más efectivo, alcanzando un rendimiento de extracción de polisacáridos del $4.89\% \pm 0.15\%$, con un contenido de cenizas del $0.04\% \pm 0.01\%$, lo que refleja una alta pureza del extracto.

Los polisacáridos extraídos fueron sometidos a modificaciones químicas utilizando glicerina, ácido acético y NaOH, logrando un rendimiento final de biopolímero del $68.01\% \pm 1.074$. Las propiedades del biomaterial, como la viscosidad (868.33 ± 1.45 Cp), la temperatura de gelatinización (69.40 ± 1.35 °C), la resistencia térmica hasta $120^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y el porcentaje de absorción de agua ($16\% \pm 0.025$), sugieren su potencial aplicación para usos comerciales como una alternativa sostenible a materiales plásticos convencionales. Además, se propusieron operaciones unitarias como filtrado en prensa, sedimentación, Centrifugado, secado con tiro inducido, molienda con molino de discos, tamizado y polimerización en reactor, propuestas como base para el futuro escalamiento a nivel de planta piloto.

ABSTRACT

The following work aims to evaluate the production of a biopolymer from the extraction of polysaccharides from Chinese pea (*Pisum sativum*), using various extraction methods previously reported for plant sources, with the purpose of developing a commercially valuable product alternative. To achieve this general objective, several specific objectives were established: (1) to determine the extraction method that maximizes the yield of polysaccharides, (2) to use the extracted polysaccharide in chemical modification methods to obtain a biomaterial and calculate its yield, (3) to determine the physicochemical and mechanical properties of the obtained biomaterial to propose its possible applications, (4) to compare the properties of the biomaterial with commercially available materials, and (5) to propose unit operations of the process for future scale-up to a pilot plant level.

Four different polysaccharide extraction methods were evaluated, including combinations of operations such as blending, filtration, sedimentation, Centrifugation, and drying. The methods were selected based on their extraction yield, ease of implementation, and the purity of the extracted polysaccharide. Method 4, which combined several stages of Centrifugation and sedimentation along with controlled drying through oxygen circulation, proved to be the most effective, achieving a polysaccharide extraction yield of $4.89\% \pm 0.15\%$, with an ash content of $0.04\% \pm 0.01\%$, reflecting a high purity of the extract.

The extracted polysaccharides were subjected to chemical modifications using glycerin, acetic acid, and NaOH, achieving a final biopolymer yield of $68.01\% \pm 1.074$. The properties of the biomaterial, such as viscosity (868.33 ± 1.45 Cp), gelatinization temperature (69.40 ± 1.35 °C), thermal resistance up to $120^\circ\text{C} \pm 1.5^\circ\text{C}$, and water absorption percentage ($16\% \pm 0.025$), suggest its potential application for commercial uses as a sustainable alternative to conventional plastic materials. Furthermore, unit operations such as press filtration, sedimentation, Centrifugation, induced draft drying, milling with a disc mill, sieving, and polymerization in a reactor were proposed as the basis for future scaling to a pilot plant level. These proposed unit operations aim to establish the foundation for efficiently scaling up the process, ensuring its technical feasibility and cost-effectiveness at an industrial scale.

I. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad y el aprovechamiento eficiente de recursos agrícolas son fundamentales en la búsqueda de soluciones que mitiguen el impacto ambiental y promuevan una economía circular. Los biopolímeros se perfilan como una alternativa prometedora a los plásticos convencionales derivados del petróleo, ofreciendo ventajas como la biodegradabilidad, la reducción de la huella de carbono y el menor impacto en la gestión de residuos (Mejía et al., 2002). En este contexto, la Arveja China (*Pisum sativum*), un cultivo significativo en Guatemala destaca como una fuente potencial de polisacáridos para la producción de biopolímeros, aprovechando su disponibilidad y composición rica en macromoléculas de interés (Jiang et al., 2020).

La Arveja China, ampliamente cultivada en Guatemala, particularmente en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Quetzaltenango, tiene un contenido de polisacáridos que varía entre el 40% y el 50% de su masa seca. Estos polisacáridos se componen principalmente de almidón, celulosa y hemicelulosa, junto con pequeñas cantidades de otros carbohidratos estructurales (Wang, 2021). Este alto contenido de carbohidratos convierte a la Arveja China en una materia prima atractiva para procesos de bioconversión orientados a la producción de biopolímeros (Lamberti, 2022).

A pesar de su valor como cultivo exportable, la Arveja China enfrenta desafíos en los mercados internacionales debido a estrictos estándares de calidad y a fluctuaciones en la demanda global. Este escenario lleva a que una porción significativa de la producción sea rechazada y desechada, generando residuos agrícolas que no son aprovechados de manera eficiente. Esta problemática subraya la necesidad de explorar alternativas innovadoras para valorizar estos residuos, ofreciendo no solo soluciones ambientales sino también oportunidades económicas para las comunidades productoras (Mejía et al., 2002).

El aprovechamiento de los polisacáridos de la Arveja China para la producción de biopolímeros sigue una tendencia global hacia la búsqueda de materiales más sostenibles. A nivel mundial, la Arveja China se cultiva extensamente en regiones de Asia y Europa, donde es apreciada tanto en la gastronomía como en la industria agroalimentaria. Sin embargo, la valorización de sus residuos en el contexto de la bioeconomía circular es un campo poco explorado, a pesar de su alto potencial (Lamberti, 2022).

La conversión de los polisacáridos presentes en la Arveja China en biopolímeros implica un proceso de extracción, purificación y posterior polimerización. Estos biopolímeros obtenidos pueden presentar propiedades comparables a las de plásticos convencionales como el polietileno o el polipropileno, pero con el beneficio añadido de ser biodegradables. Esta característica es crucial para abordar el problema global del uso excesivo de plásticos derivados del petróleo, cuya persistencia en el medio ambiente genera graves consecuencias ecológicas (Singh et al., 2019).

En este trabajo, se aborda un estudio sobre cómo valorizar los residuos de Arveja China, previamente considerados desechos y la evaluación de producción de biopolímeros, en las siguientes secciones; La metodología propuesta se centra en la selección de un método eficiente para maximizar el rendimiento del polisacárido extraído y su formulación en biopolímeros con características funcionales adecuadas para posibles aplicaciones. En la sección de resultados, se muestra el biopolímero desarrollado, el método empleado, la comparación de propiedades obtenidas con las de plásticos convencionales derivados del petróleo, evaluando aspectos como la resistencia mecánica, la degradabilidad y el precio relativo del mercado. Además, se propone un esquema de operaciones unitarias para un posible escalamiento del proceso a nivel industrial. Finalmente, este estudio busca demostrar la viabilidad de utilizar los residuos de Arveja China, previamente considerados desechos, para la producción de biopolímeros sostenibles. A través de una metodología enfocada en la optimización del rendimiento de extracción de polisacáridos y la formulación de biopolímeros con propiedades funcionales competitivas, se pretende no solo evaluar su potencial como sustitutos de plásticos convencionales en aplicaciones diversas, sino también abrir camino para futuras investigaciones que involucren el estudio detallado de las

operaciones involucradas, así como la cinética de los diversos procesos. Este trabajo, por tanto, no solo aportará datos relevantes sobre las propiedades mecánicas, fisicoquímicas y degradabilidad sino que también presentará una alternativa innovadora y ambientalmente responsable que podría beneficiar a la industria de polímeros en Guatemala y contribuir al desarrollo de una economía circular global.

II. ANTECEDENTES

La investigación sobre el uso de almidones vegetales para la producción de biopolímeros ha demostrado un significativo potencial para desarrollar alternativas sostenibles a los plásticos derivados del petróleo.

Mendoza y González (2020) realizaron un estudio sobre el almidón de maíz como base para biopolímeros, donde emplearon un proceso de extracción que incluyó la molienda y el tratamiento con agua caliente. La recuperación del almidón fue del 16.5%, mientras que los biopolímeros obtenidos presentaron una resistencia a la tracción de 7.8 MPa y una elongación al romperse de 11%. La adición de glicerina al 25% mejoró la flexibilidad del biopolímero, reduciendo su fragilidad y aumentando su elongación al 14%. Este estudio proporciona un marco para entender cómo variaciones en la formulación pueden afectar las propiedades mecánicas de los biopolímeros, información valiosa para adaptar métodos similares a otros tipos de almidón como el de Arveja China (Mendoza & González, 2020).

Ramírez y Ortega (2019) exploraron el uso del almidón de batata para la fabricación de biopolímeros. Utilizaron un proceso de extracción basado en el método de Centrifugación, logrando recuperar un 14% del almidón en peso seco. Los biopolímeros elaborados exhibieron una resistencia a la tracción de 6.9 MPa y una elongación de 16%. El empleo de plastificantes como la glicerina en concentraciones del 20% permitió obtener un biopolímero con una mayor flexibilidad y menor rigidez. Este trabajo destaca la importancia de la selección de plastificantes y su concentración en la optimización de las propiedades de los biopolímeros, ofreciendo una referencia útil para el desarrollo de biopolímeros a partir de Arveja China (Ramírez & Ortega, 2019).

En el estudio realizado por Sánchez y Reyes (2018), se investigó el potencial del almidón de yuca para producir biopolímeros. La extracción del almidón se efectuó mediante una serie de lavados y Centrifugación, logrando una recuperación del 12.3%. Los biopolímeros obtenidos mostraron una resistencia a la tracción de 8.1 MPa y una elongación del 13%. La adición de un 15% de plastificante (glicerina) resultó en una mejora significativa en la flexibilidad del biopolímero. Además, el estudio incluyó pruebas de resistencia a la humedad,

con una absorción de hasta el 27%, indicando que los biopolímeros de yuca podrían ser adecuados para aplicaciones en ambientes húmedos (Sánchez & Reyes, 2018).

Sánchez et al. (2021) evaluaron el almidón de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) como materia prima para biopolímeros. El proceso de extracción mediante molienda y Centrifugación permitió obtener un 15.2% de almidón en peso seco. Los biopolímeros fabricados mostraron una resistencia a la tracción de 8.5 MPa y una elongación al romperse de 15%. La incorporación de un 20% de glicerina mejoró las propiedades de flexibilidad del biopolímero. Estos datos subrayan la viabilidad del almidón de malanga como base para la producción de biopolímeros, ofreciendo un paralelo útil para la investigación sobre el almidón de Arveja China (Sánchez et al., 2021).

Aguirre et al. (2019) llevaron a cabo una investigación sobre el almidón de arveja amarilla, utilizando métodos de lavado y Centrifugación para la extracción del almidón, con una recuperación del 18.4%. Los biopolímeros elaborados con un 15% de plastificante (glicerina) mostraron una resistencia a la tracción de 10.2 MPa y una elongación del 12%. La absorción de humedad de estos biopolímeros fue del 25%, indicando que el almidón de arveja amarilla tiene un gran potencial, aunque su rendimiento en condiciones húmedas podría limitar su aplicabilidad (Aguirre et al., 2019).

Martínez y Herrera (2018) examinaron el almidón de arveja amarilla y su comportamiento con diferentes plastificantes. La adición de un 20% de glicerina resultó en biopolímeros con una resistencia a la tracción de 9.8 MPa y una elongación de 13%. La absorción de humedad alcanzó el 30%, lo que sugiere que, aunque los biopolímeros de arveja amarilla tienen propiedades mecánicas adecuadas, la formulación necesita ser ajustada para mejorar su rendimiento en ambientes húmedos (Martínez & Herrera, 2018).

Finalmente, Natareno (2012) presentó un método para la producción de biopolímeros a partir de almidón de papa, utilizando aguas residuales de la industria alimentaria. La extracción del almidón resultó en una recuperación del 5% de almidón, y los biopolímeros obtenidos presentaron una resistencia a la tracción de 7.1 MPa y una elongación de 20%. La

absorción de humedad fue del 22%, con un análisis de costos que mostró una competitividad en el mercado. Este estudio ofrece una metodología valiosa que puede ser adaptada para la producción de biopolímeros a partir de otros almidones, como el de Arveja China (Natareno, 2012).

Cuadro 1. Rendimiento de obtención de almidón de papa.

Lavado	Papa (lb)	Papa (kg)	Agua (L)	Almidón (g)	Rendimiento
1	10	4.54	2.27	127	2.80%
2	10	4.54	2.27	135	2.98%
3	10	4.54	2.27	153	3.37%
4	10	4.54	2.27	109	2.40%
5	10	4.54	2.27	125	2.76%
6	15	6.80	3.40	159	2.34%
7	20	9.07	4.54	258	2.84%
8	25	11.34	5.67	357	3.15%
9	30	13.61	6.80	421	3.09%
10	50	22.68	11.34	617	2.72%

Rendimiento promedio (%)	3%
--------------------------	----

(Fuente: Natareno, 2012)

III. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia la problemática medioambiental derivada del uso masivo de plásticos contaminantes ha evolucionado y crecido exponencialmente, lo que ha despertado una demandante necesidad de buscar alternativas sostenibles y eco amigables. En la actualidad, la concepción de fabricar biopolímeros se posiciona como una destacada alternativa ecológica y factible. Este enfoque suele fundamentarse mayormente en fuentes renovables, las cuales presentan posibilidades de aplicación en diversas áreas de la industria (Mejía et al., 2002).

La creciente preocupación por la contaminación ambiental y la crisis de residuos plásticos han impulsado una búsqueda urgente de alternativas sostenibles para reducir el impacto ecológico de los materiales convencionales. Los plásticos derivados del petróleo han dominado el mercado durante décadas debido a sus propiedades versátiles y bajo costo. Sin embargo, su impacto ambiental es significativo, dado que son no biodegradables y contribuyen a la acumulación masiva de residuos plásticos en vertederos y en el medio ambiente. Esta problemática global ha llevado a un interés creciente en la investigación y desarrollo de biopolímeros, que se presentan como una solución prometedora para mitigar el impacto ambiental asociado con los plásticos tradicionales (Mejía et al., 2002).

Guatemala es uno de los más grandes productores de Arveja China para mercados extranjeros como Estados Unidos y Europa. Debido a que se exporta el alimento de la más alta calidad, existe un excedente no exportable y muy poco consumido en el país, excedente que ofrece oportunidades de utilizarlo en otros sistemas de producción. Entre el 40 y 60% de la arveja destinada para exportación es rechazada, la cantidad y razón puede variar a lo largo del tiempo debido a diversos factores como las condiciones climáticas, prácticas agrícolas, estándares internacionales de calidad, entre otros, afectando la economía al no poder comercializar ese producto.

La problemática derivada del rechazo de Arveja China no solo afecta la economía local debido a la pérdida de potencial comercial, sino que también plantea un desafío ambiental al incrementar la cantidad de residuos agrícolas. La Arveja China, un cultivo significativo en el país, ofrece un potencial considerable para la producción de biopolímeros. Este cultivo es una fuente rica de polisacáridos, como almidón y celulosa, que pueden ser transformados en biopolímeros. En este contexto, la producción de biopolímeros a partir de recursos renovables y subutilizados se está posicionando como una alternativa viable y sostenible (Jimenez, 2011).

En el contexto en el cual se desarrolla este proyecto, no se encontraron estudios precedentes realizados en Guatemala, que planteen propuestas para la extracción de polisacáridos de arveja para la elaboración de biomateriales. Por estas razones en el presente trabajo se plantea un estudio que evalúa tanto la extracción de polisacárido de la vaina de Arveja China como la producción del biomaterial empleando métodos de hidrolización ácida, alcalina, gelatinización, secado y otros. Asimismo, se comparan las propiedades obtenidas del biopolímero con plásticos contaminantes convencionales presentes en el mercado. Esto es indispensable para generar propuestas que a futuro permitan el planteamiento, estudios cinéticos y escalamiento de procesos para la sustitución de los polímeros convencionales y reducir el impacto ambiental generado (Jimenez, 2011).

Este trabajo tiene el propósito de contribuir al desarrollo de tecnologías sostenibles mediante la valorización de residuos agrícolas, proporcionando una base para el diseño de procesos más eficientes y escalables que promuevan la economía circular y reduzcan el impacto ambiental asociado con los plásticos convencionales.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de un biopolímero a partir de la extracción de un polisacárido de arveja (*Pisum sativum*) empleando métodos previamente reportados para extracción a partir de fuentes vegetales, como alternativa de producto con valor comercial.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general se alcanzará con el resultado de los siguientes objetivos específicos.

1. Determinar el método que maximiza el rendimiento de extracción de polisacáridos de arveja (*Pisum sativum*) para su aplicación como materia prima de un biopolímero.
2. Emplear el polisacárido extraído sometiéndolo a métodos de modificaciones químicas para obtención de un biomaterial y calcular su rendimiento.
3. Determinar las propiedades del biomaterial obtenido empleando métodos de análisis fisicoquímicos y mecánicos para proponer sus posibles aplicaciones.
4. Comparar las propiedades del biomaterial producido con materiales disponibles en el mercado para proponer aplicaciones con valor comercial.
5. Propuesta de operaciones unitarias del proceso para escalar a nivel planta piloto.

V. MARCO TEÓRICO

A. ARVEJA

1. Origen

La Arveja China, también conocida como guisante chino, comparte su origen general con la especie *Pisum sativum*, que se remonta al suroeste de Asia y la región que abarca desde el suroeste asiático hasta el noroeste de la India. Estas plantas leguminosas han sido cultivadas y consumidas desde tiempos antiguos en diversas culturas, desempeñando un papel importante en la dieta humana (Jimenez, 2011).

A medida que la arveja y otras variedades de guisantes se extendieron por diferentes regiones, se adaptaron a diversos climas y suelos, lo que llevó a la formación de diferentes variedades y cultivares, incluida la Arveja China. Es probable que la Arveja China haya sido desarrollada y adaptada a las condiciones específicas de cultivo en la región china a lo largo de los años. En términos de historia, las arvejas han sido una parte fundamental de la agricultura y la alimentación humana, y su cultivo se ha expandido a nivel global. La versatilidad culinaria y el valor nutricional de las arvejas han contribuido a su popularidad y a su presencia en diversas cocinas, incluyendo la china (Jimenez, 2011).

La historia de la arveja tiene raíces arqueológicas profundas, con restos fosilizados hallados en yacimientos del Próximo Oriente que datan de casi 10,000 años. Estos descubrimientos indican que las arvejas fueron cultivadas desde las primeras etapas de la civilización, surgiendo poco después del trigo y la cebada alrededor del 7800 a.C. A medida que la agricultura se desarrollaba, el cultivo de arvejas se expandió hacia Europa y la India para el 2000 a.C. (Jimenez, 2011).

Hasta el siglo XVI, las arvejas se empleaban principalmente en forma seca o como forraje. A partir de esta época, se produjo un cambio significativo, y el grano limpio de arvejas comenzó a ser apreciado en la alimentación humana. Un hito destacado en la historia de la arveja es su participación en los experimentos de Gregor Mendel en el siglo XIX. Mendel, reconocido como el padre de la genética, utilizó la arveja en sus estudios pioneros sobre la herencia genética. Estos experimentos, que involucraban arvejas con diversas

características, establecieron las bases esenciales para la comprensión de los principios genéticos. Este legado sigue siendo significativo en la ciencia biológica actual, resaltando el impacto no solo culinario, sino también científico de la arveja (Jimenez, 2011).

2. Clasificación taxonómica

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la Arveja China

Taxonomía	
Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Fabeae
Género	Pisum
Especie	<i>Pisum sativum</i>

(Fuente: Robalino, 2022)

3. Características botánicas

La arveja, botánicamente conocida como *Pisum sativum*, exhibe propiedades específicas que la distinguen en el reino vegetal. Su estructura botánica detallada y sus características únicas se explorarán en profundidad en el contexto de este estudio. Perteneció a la familia de las leguminosas, y se identifica internacionalmente bajo la subpartida arancelaria 070810. Es una planta cuyo origen se sitúa en el Medio Oriente y en el mediterráneo, y que desde hace muchos años está ampliamente distribuida por todo el mundo. Es una variedad específica de guisante que se cultiva y consume en diversas regiones, especialmente en la cocina china. Desde el punto de vista taxonómico, pertenece al género

Pisum y a la especie sativum, compartiendo esta clasificación con otras variedades de guisantes comunes (Robalino, 2022).

La Arveja China, también conocida como guisante chino, comparte su origen general con la especie *Pisum sativum*, que se remonta al suroeste de Asia y la región que abarca desde el suroeste asiático hasta el noroeste de la India. Estas plantas leguminosas han sido cultivadas y consumidas desde tiempos antiguos en diversas culturas, desempeñando un papel importante en la dieta humana (Bernardi, 2018).

A medida que la arveja y otras variedades de guisantes se extendieron por diferentes regiones, se adaptaron a diversos climas y suelos, lo que llevó a la formación de diferentes variedades y cultivares, incluida la Arveja China. Es probable que la Arveja China haya sido desarrollada y adaptada a las condiciones específicas de cultivo en la región china a lo largo de los años.

En términos de historia, las arvejas han sido una parte fundamental de la agricultura y la alimentación humana, y su cultivo se ha expandido a nivel global. La versatilidad culinaria y el valor nutricional de las arvejas han contribuido a su popularidad y a su presencia en diversas cocinas, incluyendo la china (Bernardi, 2018).

4. Composición química y nutricional

Las arvejas, o guisantes, son leguminosas pertenecientes a la familia Fabaceae y presentan una composición química y nutricional que las destaca como una fuente saludable de nutrientes esenciales. Por cada 100 gramos de arvejas crudas, aproximadamente el 79% consiste en agua, mientras que aportan alrededor de 5 gramos de proteínas y 14 gramos de carbohidratos, de los cuales 5 gramos son azúcares y 5 gramos son fibra. La baja cantidad de grasas, menos de 1 gramo, hace de las arvejas una opción saludable. Además, contienen una variedad de vitaminas, como A, C, K, B1, B2, B3, B6 y ácido fólico, así como minerales como hierro, magnesio, fósforo, potasio y zinc. Esta riqueza en nutrientes, junto con su contenido antioxidante, posiciona a las arvejas como un componente valioso en la dieta,

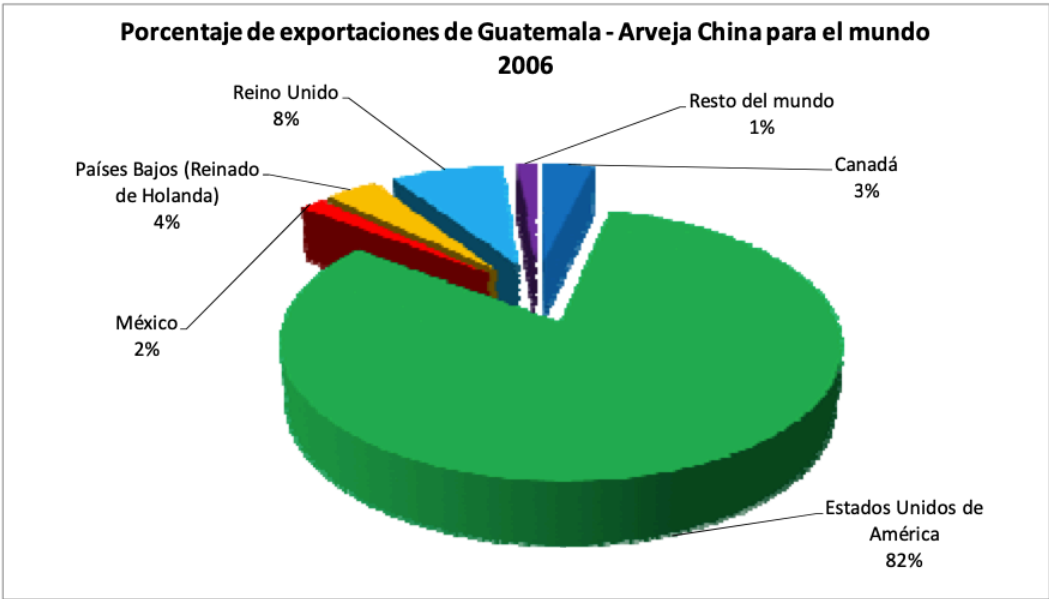
ofreciendo beneficios nutricionales que podrían ser relevantes para tu investigación sobre la producción de biopolímeros a partir de la extracción de almidón de arveja (FoodTech, 2019).

5. Arveja China en Guatemala

Según el Censo Agropecuario realizado por el INE en el 2006, existen más de 9,084 fincas dedicadas al cultivo de Arveja China. Estas fincas obtenido en cada cosecha 130,316 quintales de producción. Los principales departamentos donde se cultiva Arveja China en Guatemala son: Sacatepéquez, Chimaltenango, Sololá, Quiché y Huehuetenango (MAGA, 2019).

Según datos de la Organización de Agricultura y Alimentos (FAO), en el año 2019, las exportaciones globales de arveja alcanzaron las 187,970 Toneladas Métricas (TM) anuales, representando un valor de US\$189,445,880. Guatemala destacó como uno de los principales exportadores a nivel mundial, contribuyendo con un significativo 13.4% del total de exportaciones, seguido por Francia con un 11.60%, Rusia con un 9.40%, China con un 8.11% y Holanda con un 5.28% (AGEXPORT, 2017).

Figura 1. Exportaciones de Arveja China cosechada en Guatemala para el mundo



(Fuente: AGEXPORT, 2017)

B. ALMIDÓN

1. Composición

El almidón es un tipo de polisacárido, que es una cadena larga de moléculas de glucosa. El almidón tiene dos tipos de cadenas de glucosa. La primera es una cadena básica conocida como amilosa, mientras que la segunda es una forma ramificada complicada conocida como amilopectina. El almidón es la reserva de carbohidratos más abundante en tubérculos de plantas y en el endospermo de las semillas, donde se encuentra en forma de gránulos. En términos de abundancia, el almidón es el segundo después de la celulosa como uno de los carbohidratos primarios sintetizados en las plantas. Además, es la principal fuente de energía (60-80%) para muchos seres vivos, incluyendo los humanos (Dziedzic et al., 1995).

Su presencia en diferentes concentraciones está vinculada al estado de madurez de la planta, siendo detectable en semillas de cereales, tubérculos, semillas de leguminosas, verduras, ciertas frutas, troncos y hojas. En términos de composición, el almidón se compone principalmente de amilosa, que representa aproximadamente el 20-25% en peso, y amilopectina, que constituye el 75-80%. Es importante señalar que estos porcentajes pueden variar según el tipo de planta en consideración. La amilosa se caracteriza por su estructura lineal de glucosa unida por enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$. A diferencia de la amilosa, la amilopectina exhibe una estructura ramificada gracias a los enlaces $\alpha(1\rightarrow6)$. Estas diferencias estructurales tienen implicaciones significativas en las propiedades y funciones del almidón (Dziedzic et al., 1995).

a. Estructura química

La estructura física del almidón se manifiesta en forma de gránulos en las células vegetales. Estos gránulos varían en forma y tamaño según la fuente del almidón, y pueden presentar una envoltura cristalina de amilosa alrededor de una región amorfa de amilopectina. Esta configuración influye en las propiedades de gelificación y retrogradación del almidón,

que son cruciales en procesos industriales y en la preparación de alimentos (Dziedzic et al., 1995).

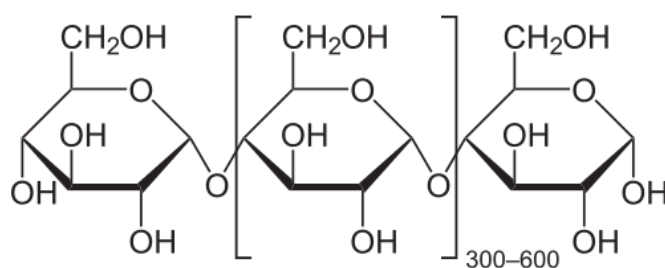
Fórmula semidesarrollada: $(C_6H_{10}O_5)_n + (H_2O)$

Clasificación: Glúcido, Polisacárido

b. Amilosa

La amilosa, una entidad esencial en la configuración del almidón, se reconoce como la cadena lineal predominante. Esta cadena está constituida por la unión de monómeros, denominados glucosa, a través de enlaces glucosídicos α 1-4. La amilosa, a diferencia de su contraparte ramificada, la amilopectina, se distingue por su estructura lineal y simplificada. Está compuesta por una secuencia de 200 a 2000 unidades de glucosa, las cuales se conectan mediante estos enlaces específicos. Este componente singular del almidón desempeña un papel fundamental en sus propiedades físicas y en su capacidad para formar complejos de inclusión con compuestos lipofílicos, destacando su importancia tanto en la industria alimentaria como en otros campos industriales (Brust et al., 2020).

Figura 2. Estructura química de la amilosa



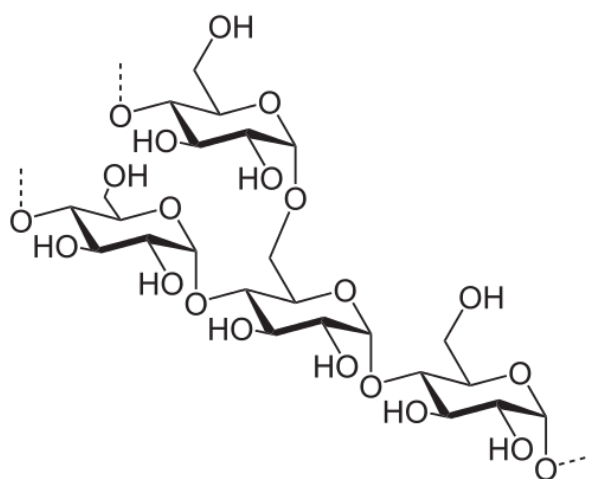
(Fuente: Brust 2020).

c. Amilopectina

Componente crítico del almidón, se caracteriza por la presencia de dos tipos fundamentales de enlaces. El primero, el enlace α 1-4, facilita la conexión entre las moléculas de glucosa, conformando una estructura principal. El segundo, el enlace α 1-6, introduce ramificaciones en las cadenas de α -D-glucopiranosas, distribuyendo estas ramificaciones aproximadamente cada 20 a 30 unidades de glucosa a lo largo de la estructura. Esta

característica distintiva de la amilopectina, con sus múltiples puntos de ramificación, confiere al almidón una estructura más compleja en comparación con la amilosa. Además, esta complejidad estructural contribuye a propiedades como la solubilidad mejorada en agua y la capacidad para formar geles fuertes y estables, ampliando así su utilidad en diversos campos industriales y aplicaciones alimentarias (Brust et al., 2020).

Figura 3. Estructura química de la amilopectina



(Fuente: Brust et al., 2020)

C. ALMIDÓN EN LA ARVEJA

1. Propiedad funcional

El almidón contenido en la Arveja China exhibe propiedades notables de espesamiento y gelificación. A través de la modificación de sus propiedades funcionales, es factible mejorar las características físicas, químicas y reológicas del almidón nativo, otorgándole una mayor idoneidad para aplicaciones industriales. Esta adaptación no solo amplía su utilidad en diversos sectores, sino que también facilita la obtención de bioplásticos, destacando así la versatilidad y potencial del almidón de Arveja China en aplicaciones industriales más sostenibles (Brust et al., 2020).

El almidón encontrado en las arvejas, identificado como almidón resistente, constituye aproximadamente un 43%, de los cuales el 20% no se digiere por completo y actúa

de manera similar a la fibra en el organismo, ya que su proceso de digestión es notoriamente lento. Esta propiedad se considera beneficiosa en este tipo de macronutrientes debido a su funcionalidad comparada con la fibra (Dziedzic, 1995).

Su rasgo distintivo radica en que el proceso de retrogradación es más gradual en comparación con almidones como los del trigo, papa, maíz e incluso aquellos que han sido modificados. Cuando se eleva la temperatura, el almidón experimenta gelificación, pero al alcanzar ciertos niveles de temperatura y tiempo, muchos almidones pierden su viscosidad. La calidad del almidón se evalúa por la velocidad de esta pérdida, siendo preferible un proceso más lento.

En el caso del almidón de arveja, no se observa una disminución en la viscosidad, lo que resulta en un aumento de la viscosidad, indicando una calidad superior en comparación con otros almidones que presentan este fenómeno de pérdida de viscosidad (Dziedzic, 1995).

2. Capacidad de gelificación

Su capacidad de gelificación es esencial en la formación de matrices poliméricas, proporcionando cohesión y estructura a los bioplásticos resultantes. Además, su función espesante se aprovecha en la obtención de biopolímeros con características específicas, contribuyendo a la viscosidad y consistencia deseada (Dziedzic et al., 1995).

D. CELULOSA

1. Composición

La celulosa es un polisacárido lineal que forma la estructura fundamental de las paredes celulares en las plantas. Está compuesta por largas cadenas de β -D-glucosa unidas por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ glucosídicos, formando una estructura lineal que se agrupa en microfibrillas. Estas microfibrillas están unidas por enlaces de hidrógeno, creando una red tridimensional altamente resistente y estructuralmente estable. La celulosa es uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza y es el componente principal de la fibra

vegetal, constituyendo aproximadamente el 30-50% de la materia seca en plantas (Klemm et al., 2005).

La celulosa se clasifica en diferentes tipos basados en su grado de cristalización. La celulosa I, encontrada en la mayoría de las plantas, se presenta en forma de cristales que son estables y forman una estructura rígida. La celulosa II, obtenida a través de la regeneración química, presenta una estructura más flexible y menos ordenada que la celulosa I (Sjöström, 1993).

a. Estructura química

La estructura de la celulosa se compone de unidades repetitivas de β -D-glucosa, unidas por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ glucosídicos. Estas cadenas lineales se organizan en microfibrillas, que se estabilizan mediante enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares. Esta organización crea una red sólida y fibrosa, que proporciona soporte estructural a las plantas y es crucial para su integridad mecánica. La Fórmula general de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde n representa el número de unidades de glucosa en la cadena (Klemm et al., 2005).

b. Propiedades físicas y químicas

La celulosa posee propiedades mecánicas notables, como alta resistencia a la tracción y rigidez, debido a su estructura altamente ordenada. Su capacidad para formar enlaces de hidrógeno le confiere una resistencia significativa al desgaste y a la degradación, siendo útil en aplicaciones que requieren robustez y durabilidad. En términos de solubilidad, la celulosa es insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos y en agua, lo que hace necesario el uso de tratamientos químicos para su procesamiento (Sjöström, 1993).

E. CELULOSA EN LA ARVEJA

La Arveja China (*Pisum sativum*) contiene una cantidad significativa de celulosa, que forma parte de su pared celular y contribuye a la estructura de la leguminosa. En comparación

con otras leguminosas, la celulosa en la Arveja China se presenta en concentraciones relativamente altas, lo que puede variar entre 20-30% de la materia seca. Esta celulosa está organizada en una red fibrosa que proporciona rigidez y soporte a la planta (Chen et al., 2016).

La celulosa en la Arveja China tiene propiedades que la hacen adecuada para aplicaciones industriales. Su capacidad para formar una red estructural sólida contribuye a la resistencia mecánica de los biopolímeros derivados de esta fuente. Además, su bajo contenido de lignina y hemicelulosa en comparación con otras plantas facilita su procesamiento y conversión en biopolímeros (Bairwa et al., 2017).

La extracción de celulosa de la Arveja China se realiza típicamente mediante un proceso de descomposición química que elimina componentes no celulósicos como la hemicelulosa y la lignina. Este proceso incluye tratamientos con soluciones alcalinas y ácidas, seguidos de un lavado exhaustivo.

F. HIDRÓLISIS

La hidrólisis es un proceso químico fundamental en el cual una sustancia reacciona con agua, dando como resultado la ruptura de enlaces químicos en esa sustancia. Este proceso tiene aplicaciones diversificadas en varias industrias, destacando su importancia en la síntesis química, la producción de alimentos, la industria farmacéutica y, particularmente, en proyectos como el tuyo, enfocado en la obtención de biopolímeros a partir de fuentes naturales, como la hidrólisis del almidón (Chorfa et al., 2022).

La ejecución de la hidrólisis puede variar según la sustancia y el resultado deseado. En términos generales, se puede llevar a cabo en condiciones ácidas o alcalinas, y la temperatura, la presión y la presencia de catalizadores son factores cruciales que influyen en la eficiencia del proceso (Chorfa et al., 2022).

Aunque la hidrólisis es una herramienta valiosa, no está exenta de riesgos. Dependiendo de los materiales y las condiciones específicas, puede generar productos

tóxicos o corrosivos. Por ende, es esencial aplicar prácticas de seguridad adecuadas y utilizar equipo de protección.

Las ventajas de la hidrólisis radican en su versatilidad y capacidad para descomponer sustancias complejas en productos más simples. Esto es esencial en la producción de una amplia gama de productos químicos, biopolímeros y en la síntesis de compuestos farmacéuticos, entre otros (Chorfa et al., 2022).

En cuanto a las aplicaciones específicas, la hidrólisis se utiliza en la producción de biocombustibles mediante procesos enzimáticos, en la industria farmacéutica para la síntesis de medicamentos, en la producción de alimentos para la obtención de azúcares a partir de almidones, y en la síntesis química en general. Cada una de estas aplicaciones destaca la versatilidad y utilidad de la hidrólisis en diversos contextos industriales (Dziedzic et al., 1995).

1. Hidrólisis vía húmeda

La hidrólisis en vía húmeda es un proceso químico en el que una sustancia reacciona con agua para descomponerse en productos más simples. Esta técnica es ampliamente utilizada en diversas aplicaciones industriales y químicas. El agua actúa como un agente reactivo, facilitando la ruptura de enlaces químicos en la sustancia de interés. Este implica la descomposición de una sustancia con la ayuda directa del agua o mediante una solución acuosa. Este proceso puede ser catalizado por ácidos o bases, dependiendo de la naturaleza de la sustancia a hidrolizar. En la vía húmeda, el agua desempeña un papel fundamental en la ruptura de enlaces químicos, resultando en la formación de productos de hidrólisis (Dziedzic et al., 1995).

2. Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida del almidón mediante ácido clorhídrico (HCl) es un proceso en el cual los enlaces glicosídicos presentes en las cadenas de polisacáridos, como la amilosa y la amilopectina, se rompen para formar oligómeros y monómeros de glucosa. Este

procedimiento es fundamental en la transformación del almidón en productos de menor peso molecular y mayor reactividad, lo que permite la obtención de biopolímeros a partir de residuos vegetales. El proceso involucra la suspensión del almidón en una solución acuosa, seguida de su tratamiento con HCl a concentraciones controladas.

El tratamiento ácido rompe los enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$ de la amilosa y los enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$ y $\alpha(1\rightarrow6)$ de la amilopectina, liberando glucosa y dextrinas, que son fragmentos de almidón de menor tamaño. Para lograr una hidrólisis eficiente, se suelen utilizar temperaturas entre 70°C y 90°C, ya que tanto la temperatura como el tiempo de reacción influyen en el grado de conversión del almidón. Una mayor temperatura o un tiempo prolongado resultan en una mayor degradación, lo que aumenta la cantidad de glucosa obtenida. La reacción general puede representarse como la conversión de polisacáridos en monómeros de glucosa (Singh et al., 2020).

Una vez obtenidos los productos de la hidrólisis, se procede a su polimerización mediante la adición de agentes plastificantes como la glicerina y reticulantes como el ácido cítrico o ácido acético. Estos aditivos facilitan la formación de biopolímeros con propiedades físicas mejoradas, como mayor flexibilidad, resistencia mecánica y capacidad de biodegradación. Este proceso es fundamental para la producción de biopolímeros a partir de fuentes renovables, con aplicaciones potenciales en la fabricación de envases sostenibles y otros materiales alternativos a los plásticos convencionales (Singh et al., 2020).

El control de parámetros críticos como la concentración de HCl, la temperatura y el tiempo es esencial para garantizar la calidad del biopolímero obtenido. Las concentraciones de HCl utilizadas suelen estar en el rango de 0.1-1M, suficientes para romper los enlaces sin causar una degradación excesiva. Además, la mezcla resultante debe ser neutralizada, generalmente con hidróxido de sodio (NaOH), antes de proceder a la filtración y posterior formación del biopolímero en forma de gel o película (Singh et al., 2020).

G. BIOPOLÍMERO

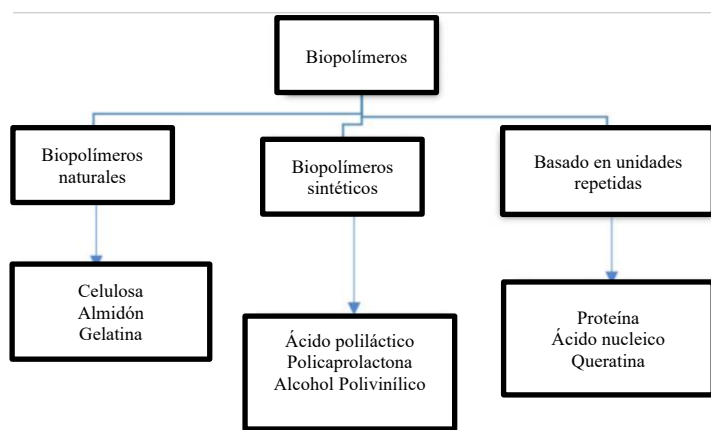
Los biopolímeros son una destacada clase de material funcional adecuada para aplicaciones de alto valor y suscitan un gran interés entre investigadores y profesionales de diversas disciplinas. La investigación interdisciplinaria es crucial para comprender los aspectos básicos y aplicados de los biopolímeros, abordando diversos problemas complejos relacionados con la salud y el bienestar. Con el fin de reducir el impacto ambiental y la dependencia de los combustibles fósiles, se ha dedicado mucho esfuerzo a reemplazar los polímeros sintéticos con materiales biodegradables, especialmente aquellos derivados de recursos naturales. En este sentido, se han desarrollado muchos tipos de biopolímeros naturales para satisfacer las crecientes necesidades de diversas aplicaciones. Actualmente, estos biopolímeros se utilizan en aplicaciones alimentarias y están ampliando su uso en las industrias farmacéutica y médica debido a sus propiedades únicas. Esta revisión se centra en los diversos usos de los biopolímeros en la industria alimentaria y médica, proporcionando una perspectiva futura para la industria de biopolímeros (Baranwal et al., 2022).

Los biopolímeros constituyen sustancias orgánicas que se encuentran en fuentes naturales, y el término se deriva de las palabras griegas "bio" y "polímero", reflejando su conexión con la naturaleza y los organismos vivos. Se refiere a macromoléculas extensas formadas por múltiples unidades repetitivas y según la definición de la IUPAC, una macromolécula se define como una sola molécula. Debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad, los biopolímeros resultan útiles en diversas aplicaciones, como películas comestibles, emulsiones y materiales de embalaje en la industria alimentaria, así como en el transporte de medicamentos, implantes médicos, cicatrización de heridas, andamios de tejido y materiales de vendaje en la industria farmacéutica (Baranwal et al., 2022).

Los biopolímeros, que comprenden ácidos nucleicos, proteínas, carbohidratos, lípidos y moléculas no poliméricas gigantes como lípidos y macrociclos, son las macromoléculas más predominantes. Ejemplos de macromoléculas sintéticas incluyen plásticos, fibras sintéticas y materiales experimentales como nanotubos de carbono. Además de las unidades repetitivas de ácidos nucleicos, sacáridos o aminoácidos, las espinas dorsales moleculares pueden tener diversas cadenas laterales químicas que contribuyen a las funciones de las

moléculas. Biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxicanoatos (PHAs), presentes en microorganismos u organismos modificados genéticamente mediante métodos químicos convencionales, incluyen polisacáridos de celulosa y proteínas de colágeno o leche (Baranwal et al., 2022).

Figura 4. Clasificaciones de los biopolímeros según su origen



(Fuente: Baranwal, 2022)

*Traducido con la aplicación móvil Traducir de Apple

Las plantas, los animales, los microorganismos y los desechos agrícolas son ejemplos de fuentes biológicas naturales de biopolímeros. Las fuentes vegetales, como el arroz, el maíz, el trigo, el soya, la yuca, las papas, el plátano, la tapioca, el maíz, el algodón, la cebada y la arveja, pueden producir biopolímeros químicamente a partir de componentes monoméricos como aceites, azúcares y aminoácidos. El ganado es la fuente animal más común, mientras que los corales, esponjas, peces, langostas y camarones son las fuentes marinas más comunes. Las algas, los hongos y las levaduras son las fuentes microbiológicas más comunes.

Los restos agrícolas, los desechos de papel, los cultivos, los residuos verdes y los desechos de madera son fuentes basadas en biomasa ricas en carbohidratos. Los triglicéridos se encuentran en aceites vegetales como girasol, soja, jojoba, ricino y más (Baranwal et al., 2022).

Los aceites vegetales obtenidos de productores de alimentos, en particular, son excelentes alternativas para la síntesis de polímeros naturales. Los polihidroxialcanoatos (PHAs) son un tipo de biopolímero, metabolitos secundarios generados por microorganismos y plantas. Los PHAs se almacenan como cuerpos de inclusión en bacterias y se generan y agregan intracelularmente como gránulos transparentes. Estos biopolímeros se producen de forma natural y se degradan mediante metabolismo microbiano, aunque pueden fundirse y dar forma de la misma manera que los termoplásticos químicos y sintéticos (Baranwal et al., 2022).

Las películas biobasadas se elaboran a partir de una matriz delgada de biopolímeros con cadenas largas, como polisacáridos y proteínas, en una solución o dispersión. Para generar una película de matriz de red polimérica, se elimina el solvente de la solución mediante un enfoque adecuado para reducir la distancia entre los polímeros. Las películas bio-basadas hechas de polisacáridos tienen una amplia gama de usos en la industria alimentaria, el sector farmacéutico, cosméticos (antienvjecimiento) y componentes alimentarios (Baranwal et al., 2022).

Los β -glucanos también tienen características reológicas, biocompatibilidad y biodegradabilidad, lo que los convierte en moléculas valiosas en diversas aplicaciones. Además de estas características únicas, el β -glucano puede formar películas, convirtiéndolo en un biopolímero fascinante para la investigación en ciencia de materiales y aplicaciones de contacto con alimentos (Baranwal et al., 2022).

H. DEGRADACIÓN DE POLIMEROS

1. Biodegradación

La biodegradación es un proceso natural en el que los materiales orgánicos se descomponen mediante la acción enzimática de microorganismos, como bacterias, hongos u otros agentes biológicos. Este proceso se da cuando los microorganismos utilizan estos materiales como fuente de carbono y energía, descomponiéndolos hasta convertirlos en compuestos inorgánicos simples, como dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y metano

(CH₄) (Bustamante, 2014). La biodegradación depende tanto de la estructura química del material como del entorno en el que se encuentra, lo que significa que la tasa y el resultado de la descomposición pueden variar considerablemente según estos factores. Por ejemplo, un mismo tipo de polímero puede biodegradarse a diferentes velocidades dependiendo de si se encuentra en un ambiente aeróbico o anaeróbico, o en condiciones de humedad, temperatura y pH específicas. Este fenómeno resalta la importancia de identificar el entorno ideal para la biodegradación efectiva de cada material, optimizando así el proceso en función de las propiedades químicas y físicas de los residuos (Bustamante, 2014).

La biodegradabilidad es la capacidad de un material para descomponerse de forma natural a través de la acción de microorganismos como bacterias, hongos o algas, generando subproductos como dióxido de carbono, agua y biomasa. Es esencial para reducir el impacto ambiental de los desechos plásticos, especialmente en un contexto global donde la producción de polímeros ha alcanzado cifras alarmantes y los métodos de disposición tradicionales han mostrado ser insuficientes (Nuñez et al., 2019).

Los plásticos biodegradables pueden clasificarse en diferentes categorías basadas en su origen (biológico o fósil) y su capacidad de descomposición bajo condiciones ambientales específicas. Ejemplos incluyen biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) y plásticos oxodegradables, que requieren aditivos para facilitar su degradación. No todos los plásticos etiquetados como biodegradables se descomponen completamente; su descomposición depende de factores como el entorno (aeróbico o anaeróbico), temperatura, humedad, y presencia de microorganismos (Nuñez et al., 2019).

Es importante considerar normas internacionales como DIN, EN, ASTM, JIS e ISO que establecen parámetros técnicos para evaluar la biodegradabilidad de los plásticos. Estas normas son fundamentales para garantizar que un material, clasificado como biodegradable, cumpla con los criterios mínimos de descomposición en condiciones controladas, como compostaje industrial o compostaje doméstico. La falta de un estándar unificado ha llevado a confusión y a un uso indebido de términos como "biodegradable" o "compostable" (Nuñez et al., 2019).

Los sistemas como el compostaje y la digestión anaeróbica son especialmente efectivos para acelerar la biodegradación de residuos orgánicos y biopolímeros. En el compostaje, la materia orgánica es degradada en condiciones aeróbicas, mientras que en la digestión anaeróbica, la descomposición ocurre en ausencia de oxígeno, produciendo principalmente metano y dióxido de carbono como subproductos. En ambos casos, el control de factores como la temperatura, la humedad y la composición microbiana permite mejorar significativamente la eficiencia del proceso. En el caso de los biopolímeros, que suelen tener estructuras más complejas que los residuos orgánicos convencionales, estos sistemas controlados pueden reducir los tiempos de degradación y asegurar una conversión más completa de los polímeros en compuestos inorgánicos simples (Bustamante, 2014).

2. Degradación mecánica

La degradación mecánica implica la alteración de la estructura de los materiales debido a influencias físicas externas, como vibraciones, choques, abrasión, fracturas y rupturas. Estos factores provocan cambios tanto físicos como químicos en el material, afectando su estructura interna y, en algunos casos, induciendo reacciones químicas debido a los esfuerzos mecánicos aplicados (Bustamante, 2014). Durante los procesos de fabricación y modificación de polímeros, se suelen aplicar tensiones mecánicas que generan deformaciones o incluso rupturas controladas en la estructura del material, lo cual puede ser necesario para adaptar sus propiedades a determinadas aplicaciones industriales. Sin embargo, la efectividad de la degradación mecánica depende en gran medida del estado físico del material, ya que los polímeros pueden presentar diferentes niveles de resistencia según estén en estado sólido, de hule o fundido.

En términos de resistencia a la tracción y compresión, las moléculas de los polímeros tienen una resistencia relativamente baja a estos tipos de esfuerzos, lo que facilita su fragmentación mediante métodos mecánicos. La descomposición mecánica no desintegra completamente los enlaces químicos de las cadenas poliméricas, pero sí facilita la reducción del tamaño de las partículas, lo cual puede ser un paso previo útil en procesos de degradación

biológica o química posteriores. Además, la degradación mecánica tiene aplicaciones prácticas en el reciclaje de polímeros, donde la fragmentación previa permite una mayor eficiencia en los procesos de reciclado y reprocesamiento de los materiales (Bustamante, 2014).

3. Degradación química

La degradación química se refiere a los procesos en los que los polímeros experimentan modificaciones estructurales inducidas por la acción de reactivos químicos específicos. Estos reactivos interactúan directamente con las cadenas de polímeros, provocando reacciones que resultan en la ruptura de enlaces químicos dentro de la estructura del material. En particular, las cadenas de carbono en los polímeros son susceptibles a la pérdida de átomos, lo que puede desencadenar una reducción significativa en el peso molecular y la integridad estructural del material (Bustamante, 2014). Para que esta degradación sea efectiva, es esencial que los polímeros presenten estructuras químicas que faciliten la ruptura de los enlaces de carbono, permitiendo que los agentes químicos externos actúen con mayor eficacia.

Los efectos de la degradación química no solo se limitan a cambios en la estructura molecular, sino que también afectan las propiedades físicas y estéticas del polímero. Algunos de los cambios físicos observables incluyen decoloración, pérdida de brillo superficial, formación de grietas y erosión superficial. En cuanto a los cambios químicos, la degradación puede provocar la rotura de las cadenas poliméricas principales, la modificación de grupos laterales y la formación de reacciones de entrecruzamiento, que alteran significativamente las propiedades mecánicas y químicas del material (Bustamante, 2014). Este tipo de degradación es particularmente relevante en el diseño de materiales biodegradables, ya que permite controlar la tasa de descomposición de los polímeros a través de la ingeniería de sus propiedades químicas.

I. PLASTIFICANTES Y ADITIVOS

1. Glicerol

El glicerol, también conocido como 1,2,3-trihidroxipropano o 1,2,3-propanotriol, es un polialcohol que presenta tres grupos hidroxilos (-OH) y se comercializa comúnmente como glicerina. Este compuesto exhibe características como ser líquido a temperatura ambiente, tener una consistencia viscosa (1,5 Pa), ser incoloro, inodoro y ligeramente dulce. Debido a la presencia de los tres grupos hidroxilo, el glicerol muestra propiedades higroscópicas, siendo fácilmente soluble en agua y alcoholes, ligeramente soluble en disolventes orgánicos como éteres y dioxanos, e insoluble en hidrocarburos, absorbe humedad del aire y es muy aplicada en la industria ya que es soluble con el agua y con el etanol (Knothe et al., 2005).

En su forma anhidra y pura, el glicerol presenta una densidad de 1,261 g.cm⁻³, un punto de fusión de 18.2°C y un punto de ebullición de 290 °C. A temperaturas elevadas, como 290 °C, experimenta descomposición, generando acroleína, un compuesto altamente tóxico. La molécula de glicerol muestra una notable flexibilidad, permitiéndole formar enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares. Diferentes conformaciones han sido evaluadas mediante métodos *ab initio* y comparadas con datos experimentales, tanto en fase gaseosa como acuosa. Este enfoque busca determinar los efectos de los enlaces de hidrógeno intramoleculares y ampliar el estudio computacional a moléculas polihidroxiladas de mayor tamaño, como los oligosacáridos (Aguilar, 2016).

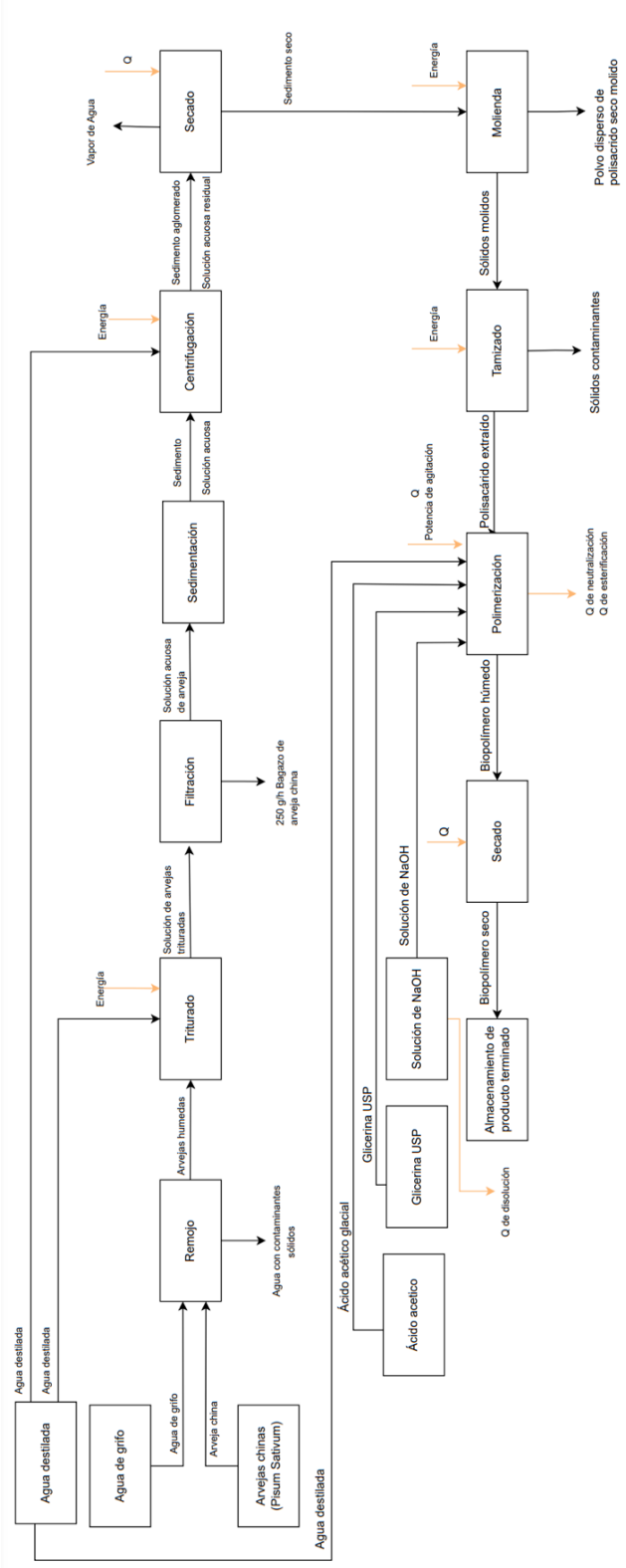
Se utilizan con el propósito de mejorar la flexibilidad de un polímero al actuar como agentes suavizantes. Este proceso contribuye a reducir la cristalinidad del polímero, lo cual tiene como consecuencia directa un aumento en su flexibilidad y una disminución de su fragilidad. El empleo de estos agentes suavizantes resulta esencial para optimizar las propiedades mecánicas del polímero, proporcionándole una mayor adaptabilidad y resistencia ante situaciones que puedan requerir una mayor flexibilidad y durabilidad. Este enfoque busca mejorar significativamente el rendimiento del material polimérico en diversas aplicaciones mediante la introducción controlada de suavizantes para modificar su estructura

y comportamiento mecánico. Si se emplea una mezcla al agua con la glicerina, le confiere propiedades de suavidad y uniformidad lo que genera un retardo en la degradación, incorporándose como lubricante y en consecuencia proporciona el movimiento de cadenas poliméricas (Cornago, 2023).

2. Ácido acético

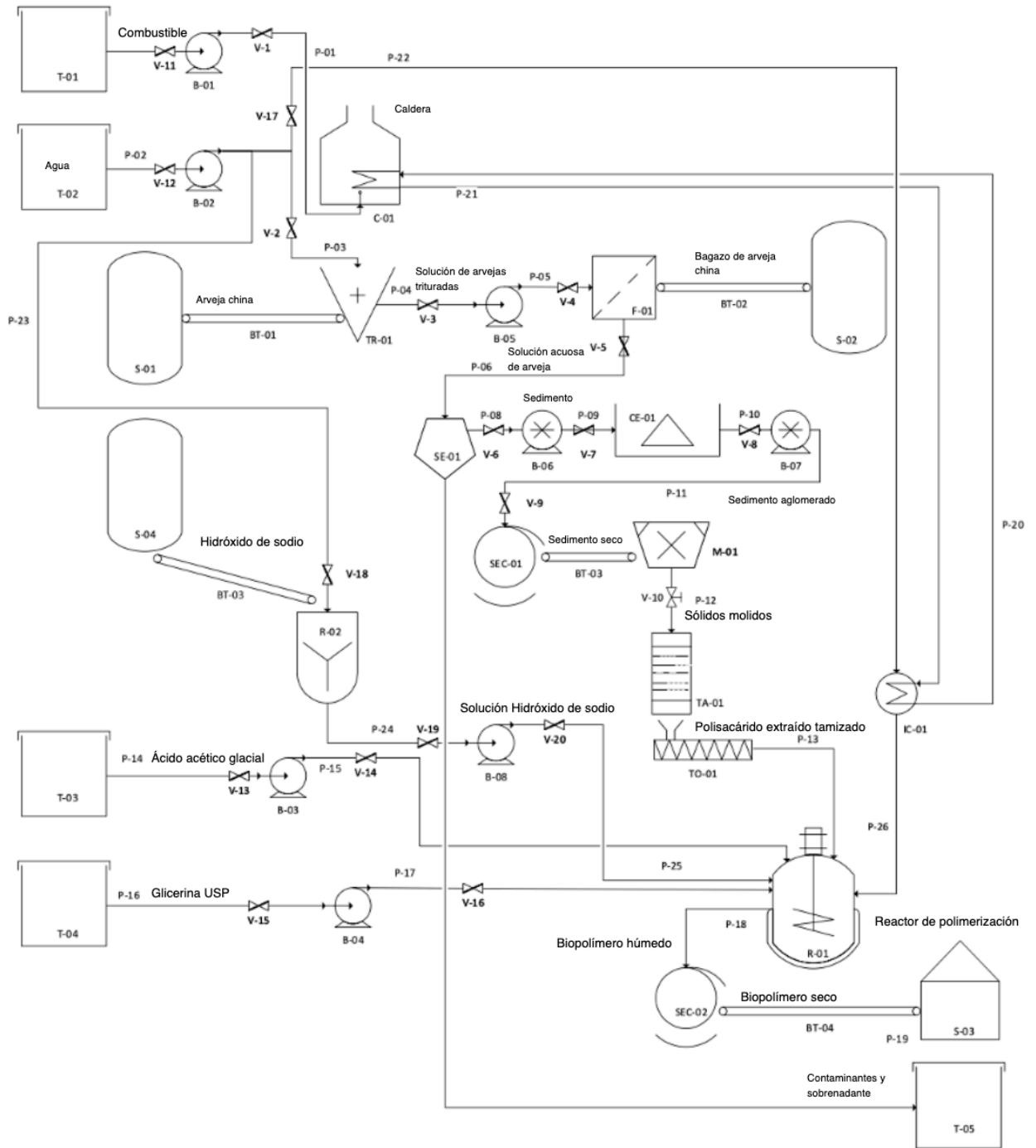
El ácido acético, un compuesto cristalino que se clasifica dentro del grupo de los ácidos carboxílicos, se representa químicamente como CH_3COOH . Este líquido cristalino exhibe un olor característico y posee propiedades corrosivas e irritantes. Además, es una sustancia higroscópica, lo que significa que tiene la capacidad de absorber agua de diversas fuentes. En condiciones de bajas temperaturas, se observa la formación de cristales semejantes al hielo en su superficie, otorgándole la denominación de ácido acético glaciar. Dado su carácter de ácido carboxílico, el ácido acético se disocia en solución y presenta una buena conductividad eléctrica. Esta característica lo hace valioso en diversos contextos, incluyendo aplicaciones industriales y químicas donde se requiere la conducción de electricidad. La formación de cristales a bajas temperaturas y su capacidad para disociarse en solución son aspectos que contribuyen a la diversidad de propiedades y usos del ácido acético en distintos campos. Por ende este ácido hidroliza la mezcla de biopolímero, estabilizando y neutralizando las moléculas de gránulos irregulares del almidón (Vega Britez et al., 2021).

J. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA TEÓRICO



(Fuente: Elaboración propia)

K. DIAGRAMAS DE FLUJO TEÓRICO



(Fuente: Elanoración propia en software Microsoft VISIO)

VI. METODOLOGÍA

A. Determinación propiedades fisicoquímica de la arveja

Materiales y equipo

- Vainas de Arveja China (*Pisum sativum*)
- Vernier Digital TRUPER
- Agua destilada
- Balanza analítica de alta precisión Pioneer OHAUS
- Balanza de humedad B.H.(m/m) MB120 OHAUS
- Potenciómetro digital PCSTestr 35
- Regla metálica de 30cm
- Probeta de 10mL
- 2 Beacker de 250mL
- Tiras de pH Cromtek
- Tiras medidoras de pH Hydrion
- Pistilo
- Mortero cerámico
- 3 tubos de ensayo con tapadera
- 5mL de Lugol
- 1 gotero de 30mL

Procedimiento

1. Recepción de materia prima: Arveja (*pisum sativum*)
2. Realizar limpieza superficial de arveja separando elementos extraños; arvejas podridas o aplastadas y suciedad.
3. Categorizar según color (indican grado de maduración)
 - a. Observar tonalidad de vaina: Verde, amarilla, café o manchas negras (indica Antracnosis en el cultivo)

4. Determinar longitud de las arvejas preseleccionadas
 - a. Medir 50 vainas de arveja empleando Vernier

5. Determinar % humedad B.H.(m/m) en la arveja mediante balanza de humedad B.H.(m/m)
 - a. Ingresar vaina de arveja a balanza de humedad B.H.(m/m)
 - b. ConFigurar balanza (Indicar que material ingresado corresponde a vaina de arveja)
 - c. Tomar datos de peso inicial
 - d. Darle clic al botón iniciar en pantalla del equipo
 - e. Esperar que suceda el secado al 100%
 - f. Tomar datos de peso final
 - g. Tomar datos de tiempo de secado
 - h. Tomar dato de porcentaje de humedad B.H.(m/m) presente en la vaina

6. Determinar niveles de acidez mediante prueba de pH
 - a. Pesar 40 gramos de arveja empleando balanza de alta precisión
 - b. Medir 40mL de agua empleando probeta de 100mL
 - c. Licuar 40 gramos de arveja preseleccionada con 40mL de agua
 - d. Filtrar bagazo con filtro de tela
 - e. Medir pH con potenciómetro digital PCSTester 35

7. Determinar presencia de almidón mediante prueba con Lugol
 - a. Triturar 10 vainas de arvejas empleando un pistilo con mortero hasta obtener fragmentos finos
 - b. Agregar agua destilada y seguir moliendo con el mortero hasta conseguir una pasta.
 - c. Numerar tubos de ensayo agregar 3mL de agua destilada
 - d. Dejar 1 tubo como control y en otro agregar una pizca de la pasta de arveja.

- e. Agregar 3 gotas de Lugol
- f. Observar el cambio de coloración ante contenido de almidón

B. Extracción de polisacárido

Materiales y equipo

- Vainas de Arveja China (*Pisum sativum*) preseleccionadas
- Agua destilada
- Colador metálico
- 2 cubetas de 20litros
- Balanza OHAUS 3000 Xtreme
- 5 yardas de Papel Kraft
- Termómetro de mercurio
- Termómetro infrarrojo
- Licuadora Oster
- Pizeta agua destilada
- Cronometro
- Filtro de tela Nylon
- Papel aluminio
- 3 Beakers de 1L
- Pizeta agua destilada
- Espátula metálica
- Tijera
- Regla de 30 cm
- Marcador negro
- 3 probetas de 2L
- 2 probetas de 1L
- Varilla de agitación de vidrio
- Centrífuga RT7 SORVALL
- 4 contenedores de Centrífuga
- Balanza OHAUS Potable advanced

- Espátula metálica
- Tape
- Marcador negro
- Frascos de vidrio de 120mL de compota reciclado
- Frascos Mason Jar 500mL
- Secador DV-1020 ACEQ
- Molino de cuchillas (molidor de pimienta)
- 1 Beaker de 150mL
- Mortero con Pistilo de vidrio esmerilado
- Bolsas herméticas (Ziploc)
- Tamizadora electromagnética WS TYLER ROTAP RX-29-16

Procedimiento:

Métodos evaluados

Cuadro 3. Métodos evaluados para extracción de polisacárido de Arveja China (*pisum sativum*)

Método	Operaciones empleadas	Condiciones de operación	Criterio de selección
1	Licuar, Filtrar, Sedimentar, Secar, Moler	Licuar por 30 segundos a velocidad máxima con 700W de potencia; Filtrar con papel filtro de 2mm de gramaje; Sedimentar con ampolla de decantación; Secar en papel aluminio a 60°C por 12 horas; Moler con mortero y pistilo	Referencia teorica. Método empleado en extracción de almidón en arveja amarilla y tuberculos como papa, malanga y yuca (Pesantes & Alberca, 2021) (Robalino, 2022) ambas de Ecuador.
2	Licuar, Filtrar, Sedimentar, Secar, Moler	Licuar por 30 segundos a máxima potencia; Filtrar con manta encerada; Sedimentar con ampolla de decantación por 2 horas; Secar con papel encerado/mantequilla a 60°C por 8 horas; Moler con mortero y pistilo	Modificación del método 1 debido a: problemas de adhesión al papel aluminio durante el secado, causando quemaduras parciales del material y dificultad para recuperar el producto. Método alternativo de filtración y secado.

Método	Operaciones empleadas	Condiciones de operación	Criterio de selección
3	Licuar, Filtrar, Sedimentar, Centrífugar, Secar, Moler	Licuar por 30 segundos a velocidad máxima con 700W de potencia; Filtrar con manta encerada; Sedimentar con ampolla de decantación; Centrífugar a 2000 rev/min por 20 min; Secar con papel encerado/mantequilla; Moler con mortero y pistilo	Modificación del método 2 debido a: Presentó problemas de retención excesiva de humedad B.H.(m/m) debido al uso de papel encerado, lo que impidió un secado eficiente, resultando en un producto final húmedo y difícil de manipular. Método que introduce Centrífugación para mejorar la separación.
4	Licuar, Filtrar, Sedimentar, Centrífugar, Sedimentar solución residual, Centrífugar solución residual, Secar, Moler, Tamizar, Secar	Licuar por 3 minutos a máxima velocidad con 700W de potencia; Filtrar con manta lavada; Sedimentar en probetas de 2L por 1h 30 min; Centrífugar a 3500 rev/min por 30 min; Sedimentar solución acuosa residual en probetas de 2L por 3 horas; Centrífugar solución acuosa residual a 3500 rev/min por 30 min; Secar en frascos de vidrio de 250mL a 100°C en secador de bandejas con circulación de oxígeno; Moler con mortero y molino de discos; Tamizar en tamizadora por 5 min a máxima potencia; Secar en bandejas metálicas a 100°C por 1 hora.	Modificación del método 3 debido a: La Centrífugación a 2000 rev/min por 20 min permitió una mejor aglomeración de sólidos sin embargo aun se presentaban sólidos en el sobrenadante, pero el secado con papel encerado no fue efectivo, manteniendo el material húmedo y dificultando la molienda posterior.

(Fuente: Elaboración propia)

Procedimiento detallado del método 4 (método seleccionado ya que maximiza el rendimiento de extracción de polisacárido)

1. Lavado de arvejas seleccionadas para eliminar impurezas adheridas.
 - a. Seleccionar las arvejas en grupos de aproximadamente 20 vainas
 - b. Tomar un colador previamente lavado

- c. Introducir arvejas al colador
 - d. Realizar 3 enjuagues con agua del grifo
 - e. Realizar un último enjuague con agua destilada
 - f. Sacudir colador para eliminar exceso de agua
2. Colocar en remojo durante aproximadamente 24 horas, colocando contenedores separados de 500g cada uno.
- a. Tomar un recipiente hondo y colocar 1 litros de agua destilada
 - b. Sumergir 500g de arveja previamente lavada
 - c. Cubrir empleando papel Kraft para evitar que agentes extraños se introduzcan al agua
 - d. Dejar aislado por 24 horas, en ubicación a temperatura ambiente no superior a 25°C.
3. Triturado de arvejas empleando licuadora seguido de remojo, considerando velocidades y tiempos de ciclo.
- a. Escurrir las arvejas
 - b. Pesar aproximadamente 125 g de arveja húmeda
 - c. Ingresarlas a una licuadora Oster
 - d. Agregar 500mL de agua destilada
 - e. Licuar arvejas y agua por 2 minutos en nivel 5 (nivel máximo disponible)
 - f. Tomar tiempo con cronometro
 - g. Asegurar tapadera de la licuadora
 - h. Licuar
 - i. Parar al pasar los 2 minutos
 - j. Ingresar la solución licuada en una probeta de 2L
 - k. Repetir proceso hasta licuar toda la cantidad de arveja antes colocada en remojo

4. Filtrado de mezcla triturada con el fin de separar el agua y el almidón del resto del material.
 - a. Colocar filtro de tela en la boquilla de un beaker de 1 litro
 - b. Ingresar solución de arvejas trituradas presente en probetas de 2litros sobre el filtro de tela
 - c. Cortar empleando una tijera un rectángulo de 15x25cm de papel aluminio
 - d. Colocar el bagazo residual sobre papel aluminio
 - e. Repetir el proceso con toda la cantidad de arveja previamente licuada

5. Sedimentado por aproximadamente 6 horas con el objetivo de separar agua y residuos extras que pudieron pasar durante filtrado, además de concentrar los polisacáridos en la parte inferior de la probeta.
 - a. Dejar sedimentar la solución previamente filtrada por 6 horas a temperatura ambiente (aprox 25°C) en las probetas de 2L previamente colocadas.
 - b. Tapar probetas de 2L con la solución a sedimentar con papel aluminio
 - c. Rotular los contenedores con los tiempos y potencias de licuado para identificarlos.

6. Centrifugar solución sedimentada
 - a. Decantar solución acuosa del sedimento con ayuda de una varilla de vidrio a una probeta de 2L vacía.
 - b. Añadir 500mL de agua destilada al sedimento restante en la probeta e ingresar al contenedor de la Centrifuga
 - c. Repetir el mismo proceso para los 4 contenedores de la Centrifuga
 - d. Pesar cada contenedor de la Centrifuga con la solución asegurando que el peso en los 4 sea proporcional (aproximadamente 296.0g)
 - e. Centrifugar las 4 muestras a 3500rpm por 30 minutos.
 - f. Retirar sedimento luego de Centrifugar con una espátula metálica y colocar en un contenedor de vidrio.

- g. Repetir el proceso con todo el sedimento previamente asentado en las probetas.
 - h. Repetir todo el proceso hasta no tener partículas disueltas en toda la solución previamente filtrada.
7. Decantado de mezcla sedimentada para eliminar el agua residual del almidón y polisacáridos contenidos.
- a. Sacar el excedente de los contenedores de Centrífuga y dejar precipitar 12 horas más.
 - b. Ingresar solución acuosa decantada
 - c. Tapar igualmente probetas con solución a sedimentar con aluminio
 - d. Rotular e ingresar hora para tomar en cuenta las 12 horas
 - e. Repetir proceso de Centrífugado con todos los excedentes y con las soluciones acuosas iniciales.
 - f. Retirar sedimento igualmente con espátula metálica
 - g. Ingresar sedimento a contenedores de vidrio.
 - h. Descartar la solución que no presente sólidos luego de todos los procesos antes mencionados.
8. Secado de almidón
- a. Colocar muestras sedimentada en frasco de 120mL de vidrio (frascos reciclados de compotas y Mason Jar)
 - b. Tapar muestras empleando aluminio para evitar que se quemé la parte superior y el secado sea más uniforme.
 - c. Rotular muestras
 - d. Ingresar muestras sedimentadas en frascos a secador a temperatura de 60°C
 - e. Tomar tiempo inicial de ingreso al secador
 - f. Secar durante aproximadamente 18 horas.
 - g. Supervisar secado en rangos de 3 horas hasta finalizar.
 - h. Sacar frascos de secador y dejar enfriar a temperatura ambiente.

9. Molienda de almidón secado

- a. Despegar muestra seca de los contenedores de vidrio con paleta metálica.
- b. Moler muestra seca empleando mortero y pistilo con el fin de reducir el tamaño de partícula.
- c. Ingresar muestra seca y levemente molida con mortero y pistilo a molino de cuchillas (molino de pimienta)
- d. Moler toda la muestra e ingresar a un beaker de 150mL
- e. Volver a moler en mortero con pistilo de vidrio para asegurar no dejar grumos
- f. Colocar en bolsas ziploc rotuladas

10. Tamizado de almidón molido

- a. Ingresar almidón previamente molido a tamizadora mediante mallas de diversos mesh con el fin de agrupar diámetros de partícula del almidón molido
- b. ConFigurar tiempo de tamizadora en 5 minutos.
- c. Presionar botón de inicio de tamizaje
- d. Esperar que suceda el tiempo establecido
- e. Retirar muestra tamizada en cada plato con diverso mesh del equipo

11. Empacado y almacenado de almidón molido

- a. Ingresar muestra tamizada en bolsas contenedoras aislantes que inhiban la humedad B.H.(m/m) del ambiente y la exposición a diversos contaminantes.
- b. Rotular cada bolsa con su mesh y tamaño de partícula correspondiente.
- c. Guardar bolsas contenedoras aislantes con almidón tamizado a temperatura ambiente.

C. Determinación de propiedades polisacárido extraído

Materiales y equipo

- Potenciómetro digital PCSTestr 35
- Agua destilada
- Almidón de Arveja China extraído
- 2 Beaker de 250mL
- Shaker analógico JP inglobal JPS0D40
- ViscosímetroDV-E BROOKFIELD
- 2 Beaker de 100mL
- Termómetro de mercurio
- Estufa VEVOR
- Agitador magnético
- Balanza de humedad B.H.(m/m) MB120 OHAUS
- Papel aluminio
- Tijera
- Balanza analítica de alta precisión Pioneer OHAUS
- Crisol
- Mufla MRC CROMTEK
- 5mL de Lugol
- Gotero de 30mL

Procedimiento

1. Evaluación de pH (NORMA NTE INEN 1456)
 - a. Mezclar 5 gramos de almidón con 25 mL de agua destilada
 - b. Llevar mezcla al shaker por 30 min a 200 rpm
 - c. Dejar sedimentar por 20 min
 - d. Medir pH empleando potenciómetro digital sumergiendo el electrodo en la solución
 - e. Realizar medición de pH en triplicado
 - f. Anotar pH

2. Medición de viscosidad

- a. Pesar 12.5g de almidón de arveja extraído
- b. Mezclar g de almidón con 250mL de agua destilada
- c. Disolver almidón asegurándose de agitar continua y vigorosamente con agitador magnético y estufa hasta obtener mezcla homogénea.
- d. Llevar mezcla a punto de ebullición con agitación constante.
- e. Enfriar mezcla hasta alcanzar temperatura ambiente aproximada de 25°C
- f. Prepara el equipo viscosímetro Brookfield asegurándose que se encuentre limpio y calibrado.
- g. Seleccionar correctamente rotor
- h. Ajustar velocidad de rotación del equipo
- i. Medir viscosidad en constante movimiento.
- j. Realizar la prueba en triplicado
- k. Anotar el resultado de viscosidad obtenido

3. Evaluación de temperatura de gelatinización

- a. Mezclar 5g de almidón extraído con 50mL de agua destilada en un beaker de 100mL.
- b. Ingresar agitador magnético
- c. Colocar beaker en estufa.
- d. Calentar y llevar a 85°C controlando con un termómetro de mercurio
- e. Dejar calentar hasta formar una consistencia espesa tipo pasta.
- f. Tomar temperatura final.
- g. Replicar prueba en triplicado.
- h. Anotar temperaturas resultantes.

4. Evaluación de humedad B.H.(m/m)

- a. Colocar 3g en balanza de humedad B.H.(m/m)
- b. ConFigurar balanza de humedad B.H.(m/m) (según material ingresado)

- c. Presionar botón de inicio
- d. Tomar peso inicial
- e. Esperar tiempo de secado al 100%
- f. Tomar peso final después de eliminar toda la humedad B.H.(m/m)
- g. Tomar % de humedad B.H.(m/m) indicado por el equipo
- h. Replicar prueba de humedad B.H.(m/m) en triplicado.
- i. Anotar resultados obtenidos.

5. Evaluación de ceniza

- a. Tomar un crisol cerámico
- b. Limpiar y asegurar que el crisol no contenga residuos contaminantes o suciedad
- c. Tarar crisol
- d. Colocar 1g de almidón en el crisol tarado
- e. Dejar en la mufla precalentar a 300°C y posteriormente subir temperatura a 550°C-600°C
- f. Dejar calcinar la muestra por aproximadamente 1 hora
- g. Sacar crisol de la mufla al tener la muestra dejando de humear
- h. Pesar crisol
- i. Restar peso de crisol vacío con crisol con ceniza
- j. Determinar masa de ceniza
- k. Calcular porcentaje de ceniza en el almidón
- l. Anotar resultados
- m. Replicar evaluación de ceniza en triplicado

6. Análisis de contenido de almidón empleando Lugol

- a. Añadir 1 gota de Lugol a 1g de la muestra de almidón
- b. Observar cambio de color por presencia de almidón
- c. Repetir proceso en triplicado
- d. Anotar resultados como prueba positiva o negativa

D. Formulación de biopolímero

Materiales y equipo

- Almidón de arveja previamente extraído
- Balanza analítica de alta precisión Pioneer OHAUS
- Agua destilada
- Agua destilada
- Ácido acético 100% (Glacial)% Pureza
- Glicerina UCP 99.5% pureza
- Hidróxido de sodio 5% m/v aforada a 100mL
- Estufa Thermo scientific Cimarec
- Estufa con agitación magnética StonyLab
- Agitador magnético
- 2 probetas de 100mL
- 2 Beakers de 250mL
- Termometro de mercurio THERMCO
- Pipeta graduada
- Bulbo de succión
- Pipeteador
- 2 balones aforados de 100mL
- Bandejas delgadas de aluminio Betty Crocker
- Tijera
- Tijera cortadora de metal
- Tiras medidoras de pH Global life sciences solutions
- 2 beaker de 100mL
- Espatula metálica
- Papel absorbente
- Regla
- Pizeta de agua destilada
- Horno industrial de bandejas

- Guantes de calor
- Secador DV-1020 ACEQ

Formulaciones evaluadas

Cuadro 4. Formulaciones evaluadas para fabricar biopolímero con adición de agentes plastificantes

Reactivo	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Poliscarido extraído	3g	6g	6g
Agua destilada	40mL	40mL	40mL
Glicerina USP 99.5% v/v mL	3mL	5mL	10mL
Ácido acético	3mL	3mL	3mL
Hodroxido de sodio 10% m/v (NaOH)	0	0	20mL

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5. Condiciones de operación en cada fromulación evaluada

Variantes	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Condiciones de operación	Secado al ambiente en laboratorio de operaciones unitarias por 72 horas a aprox 25°C sobre papel encerado	Secado en horno deshidratador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias a 200°C por 60 minutos sobre bandejas de aluminio.	Secado en horno deshidratador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias a 200°C por 60 minutos sobre bandejas de aluminio.

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento detallado de la formulación 3 (método seleccionado ya que presenta las mejores características de biomaterial)

1. Cortar molde metálico empleando una tijera cortadora de metal en rectángulos de aproximadamente 19x14cm y doblar orillas de aprox 1cm para evitar derrames
2. Pesar 6g de almidón de arveja previamente extraído en balanza analítica
3. Agregar los 6g de almidón en un beaker de 250mL
4. Medir 50mL de agua destilada empleando probeta de 100mL
5. Añadir el agua destilada a la mezcla
6. Ingresar agitador magnético a la mezcla
7. Colocar muestra en estufa hasta aproximadamente 50°C agitando constantemente.
8. Controlar temperatura con termómetro de mercurio
9. Adicionar plastificantes y aditivos
 - a. Añadir 10 mL de glicerina USP con 99.5% de pureza empleando pipeta graduada de 10 mL con bulbo de succión
 - b. Esperar a que la mezcla sea homogénea
 - c. Añadir 3mL de ácido acético 97.6% de pureza empleando pipeta graduada de 10 mL con bulbo de succión
 - d. Esperar a que la mezcla sea homogénea
 - e. Controlar que la temperatura no sobrepase los 60°C o que llegue al punto de ebullición
 - f. Observar como la mezcla va aumentando su viscosidad y tornando una coloración verde más intenso.
 - g. Medir pH de solución empleando tiras medidoras (aprox 2-3 de pH)
 - h. Preparar 100mL de solución de Hidróxido de sodio al 10% de (m/v) empleando un balón aforado.
 - i. Pesar 10g de perlas de hidróxido de sodio en 1 beaker de 100mL
 - ii. Añadir 10mL de agua destilada para diluir el NaOH solido

- iii. Ingresar solución en balón aforado de 100mL
 - iv. Aforar hasta 100mL con agua destilada empleando probeta y pizeta
 - i. Añadir de 1mL en 1mL de solución hasta llegar a pH de 6 a 7 (aprox 23.636 mL de NaOH)
 - j. Aumentar temperatura a 70°C
 - k. No dejar de verificar temperatura
 - l. Esperar llegar a ebullición
 - m. Apagar estufa y agitación
10. Colocar solución en moldes previamente fabricados
 11. Dejar secar a temperatura ambiente por 20 min aproximadamente en lugar plano, para evitar solución líquida se mueva en molde y se acumule sobre lado del molde.
 12. Repetir proceso de polimerización las veces que sea necesaria dependiendo a la cantidad de biopolímeros requerida.
 13. Rotular todos los moldes de biopolímeros creados
 14. Precalentar horno de bandejas a 200°C por 10 minutos
 15. Ingresar biopolímeros a horno de bandejas a 200°C por 1 hora utilizando guantes de calor para evitar posibles quemaduras
 16. Apagar horno dejando biopolímeros ingresados en el horno por 2 horas adicionales
 17. Retirar biopolímeros de horno empleando guantes de calor
 18. Dejar enfriar a temperatura ambiente
 19. Despegar biopolímeros de los moldes y voltearlos
 20. Ingresar biopolímeros con la cara antes inferior ahora en la parte superior al secador Secador DV-1020 ACEQ por 30 minutos a 60°C.
 21. Despegar biopolímeros de los moldes
 22. Ingresar a una bolsa hermética junto al molde
 23. Rotular el biomaterial
 24. Dejar almacenado a temperatura ambiente.

E. Determinación de características de biopolímero producido a escala laboratorio

Materiales y equipo

- Biopolímero previamente producido a partir de polisacárido extraído de Arveja China
- Balanza analítica de alta precisión Pioneer OHAUS
- Regla metálica 30 cm
- Estufa con agitación magnética StonyLab
- Papel aluminio
- Tijera
- Termómetro infrarrojo
- Termómetro de mercurio
- 200mL de Agua de grifo
- 200mL de aceite vegetal de cocina
- 200mL de ácido acético 5% (v/v)
- Vernier digital INGCO
- Contenedor de vidrio hondo
- Trozo de madera de 30x8cm
- Tornillo
- Barreno eléctrico
- Clips sujeta papeles
- Paperclips (clips metálicos)
- Tijera
- Cuchilla
- Materiales varios (masas para determinar % de elongación)

Procedimiento

1. Medición de dimensiones del biopolímero resultante
 - a. Empleando un vernier medir tanto la altura, el ancho y el grosor de cada uno de los biopolímeros producidos.

2. Análisis de solubilidad en diversos solventes
 - a. Ingresar muestra de 4x1x0.07 cm de biopolímero producido en 200mL de diversas soluciones:
 - i. Agua
 - ii. Aceite de girasol de cocina
 - iii. Ácido acético 5% (v/v)
 - b. Tomar tiempo en que se degrada biopolímero
3. Análisis termogravimétrico del biopolímero
 - a. Colocar una muestra de biopolímero de 3x3x0.07 cm sobre papel aluminio colocado en una estufa a 10°C.
 - b. Pesar la muestra inicial
 - c. Aumentar en rangos de 10°C en 10°C la estufa
 - d. Pesar muestra de biopolímero conforme es expuesta a nuevas temperaturas con el fin de evaluar la pérdida de masa y correlación de estas temperaturas correspondientes.
 - e. Tomar datos
 - f. Replicar 3 veces el estudio
4. Temperatura de fusión
 - a. Colocar una muestra de biopolímero de 3x3x0.07 cm a baño maría hasta que se derrita por completo.
 - b. Tomar temperatura de fusión
 - c. Replicar 3 veces el ensayo
 - d. Tomar datos
5. Porcentaje de absorción de humedad B.H.(m/m)
 - a. Pesar una muestra de 3x3x0.07 cm de biopolímero producido
 - b. Sumergir la muestra de biopolímero en 200mL de agua por 10 minutos
 - c. Retirar la muestra del agua y escurrir ligeramente para eliminar excesos de agua en la superficie.

- d. Pesar muestra de biopolímero mojado luego de la inmersión en el agua.
 - e. Calcular porcentaje de absorción de agua
 - i. $\frac{W_{mojado}-W_{seco}}{W_{seco}} * 100\% = \text{Porcentaje de absorción}$ (Ecuación 1)
 - f. Replicar 3 veces
 - g. Tomar datos
6. Análisis de Tensión deformación (Módulo de Young)
- a. Construir un sistema del cual será colgada la muestra de biopolímero para la determinación del módulo de Young del material.
 - i. Tomar un rectángulo de 30x 8 cm de madera
 - ii. Colocar un tornillo con ayuda de un barreno eléctrico a 7cm de la orilla superior.
 - b. Tomar biopolímero y cortar muestras de 5cm de alto, 2cm de ancho y 0.07cm de grosor empleando un vernier y una regla metálica.
 - c. Colocar un clip sujeta papeles en la parte superior y otro en la parte inferior del rectángulo del biomaterial.
 - d. Anotar longitud del biopolímero
 - e. Colgar uno de los extremos del tornillo del sistema construido anteriormente
 - f. Colocar masas de diversos masas para determinar su capacidad de soporte de tensión antes de la ruptura.
 - i. Colocar masa 1, esperar 1 minuto y medir la longitud del biopolímero.
 - ii. Realizar el mismo procedimiento empleando distintas masas hasta que el biopolímero se rompa.
 - g. Elaborar una gráfica de tensión vs. extensión por unidad de longitud.
 - i. La pendiente de la gráfica elaborada será el Módulo de Young, la tensión antes de que el biopolímero se rompa (tensión de ruptura)
 - ii. El porcentaje de elongación será determinado con la longitud final e inicial del biopolímero de arveja.
7. Análisis sensorial como evaluación cualitativa considerando características; color, textura, elasticidad, dureza, fragilidad y resistencia.

- a. Preparación de muestras
 - i. Seleccionar muestras representativas del biopolímero, asegurando que sean homogéneas y uniformes.
 - ii. Asegurar condiciones controladas en temperatura y humedad B.H.(m/m) para minimizar variaciones.
- b. Color
 - i. Observar el color de las muestras bajo una fuente de luz blanca y uso de fondo blanco para mejorar visibilidad.
 - ii. Comparar estándar con muestra de referencia y describir cualquier variación en tonalidad y uniformidad.
- c. Olor
 - i. Oler las muestras directamente
 - ii. Describir los olores en términos de intensidad y características, evaluando si hay olores desagradables o inusuales.
- d. Textura
 - i. Tocar las muestras con las manos limpias
 - ii. Evaluar la superficie y la sensación general.
 - iii. Describir textura en términos de suavidad, rugosidad o cualquier característica táctil relevante.
- e. Elasticidad
 - i. Estirar o doblar la muestra
 - ii. Observar su capacidad para regresar a la forma original
 - iii. Evaluar y describir la elasticidad como alta, media o baja.
- f. Dureza
 - i. Presionar o golpear la muestra
 - ii. Describir la resistencia al ser presionado o golpeado.
 - iii. Definir como alta, media o baja.

F. Comparación con polímeros disponibles en el mercado

Materiales y equipo

- Biopolímero previamente producido a partir de polisacárido extraído de Arveja China
- Plástico contaminante (bolsas cristal-polipropileno de baja densidad)
- Balanza analítica de alta precisión Pioneer OHAUS
- Regla metálica 30 cm
- Estufa con agitación magnética StonyLab
- Papel aluminio
- Tijera
- Termómetro infrarrojo
- Termómetro de mercurio
- 200mL de Agua de grifo
- 200mL de aceite vegetal de cocina
- 200mL de ácido acético 5% (v/v)
- Vernier digital INGCO
- Contenedor de vidrio hondo
- Trozo de madera de 30x8cm
- Tornillo
- Barreno eléctrico
- Clips sujeta papeles
- Paperclips (clips metálicos)
- Tijera
- Cuchilla
- Materiales varios (masas para determinar % de elongación)

Procedimiento

1. Análisis de retención de humedad B.H.(m/m)
 - a. Pesar una muestra de 3x3x0.07 cm de plástico contaminante producido

- b. Sumergir la muestra de plástico contaminante en 200mL de agua por 10 minutos
- i. Retirar la muestra del agua y escurrir ligeramente para eliminar excesos de agua en la superficie.
- c. Pesar muestra de plástico contaminante mojado luego de la inmersión en el agua.
- d. Calcular porcentaje de absorción de agua
- e. Replicar 3 veces
- f. Tomar datos

2. Análisis de Tensión deformación (Módulo de Young)

- g. Construir un sistema del cual será colgada la muestra de plástico contaminante para la determinación del módulo de Young del material.
 - i. Tomar un rectángulo de 30x 8 cm de madera
 - ii. Colocar un tornillo con ayuda de un barreno eléctrico a 7cm de la orilla superior.
- h. Tomar biopolímero y cortar muestras de 5cm de alto, 2cm de ancho y 0.07cm de grosor empleando un vernier y una regla metálica.
- i. Colocar un clip sujeta papeles en la parte superior y otro en la parte inferior del rectángulo del plástico contaminante.
- j. Anotar longitud inicial del plástico contaminante
- k. Colgar uno de los extremos del tornillo del sistema construido anteriormente
- l. Colocar masas de diversas masas para determinar su capacidad de soporte de tensión antes de la ruptura.
 - i. Colocar masa 1, esperar 1 minuto y medir la longitud del biopolímero.
 - ii. Realizar el mismo procedimiento empleando distintas masas hasta que el plástico contaminante se rompa.
- m. Elaborar una gráfica de tensión vs. extensión por unidad de longitud.
 - i. La pendiente de la gráfica elaborada será el Módulo de Young, la tensión antes de que el plástico contaminante se rompa (tensión de ruptura)

- ii. El porcentaje de elongación será determinado con la longitud final e inicial del plástico contaminante
3. Análisis de utilidad para embalaje de alimentos
 - a. Recubrir una fresa con la lámina de biopolímero
 - b. Recubrir una fresa con lamina de plástico contaminante (bolsa cristal-poliétileno de baja densidad)
 - c. Dejar 1 fresa al ambiente
 - d. Dejar durante 5 días para ver el cambio en las características organolépticas de la fruta, con el fin de diferenciar los cambios en una fruta cubierta de bioplástico, otra al ambiente y otra con plástico contaminante.
 - e. Tomar fotografías de los cambios
 - f. Registrar los datos.
4. Comparar análisis sensorial como evaluación cualitativa considerando características; color, textura, elasticidad, dureza, fragilidad y resistencia del biopolímero con propiedades del plástico contaminante.

G. Diagrama de propuesta de operaciones unitarias para la producción de biopolímeros a partir de polisacáridos de Arveja China (*Pisum sativum*)

Materiales y equipo

- Computadora
- Software Microsoft VISIO
- Microsoft Excel
- Proceso de producción evaluado a escala laboratorio para producción de biopolímero a partir de polisacárido Arveja China (*Pisum sativum*)

Procedimiento

1. En un nuevo documento de Visio

2. Seleccionar la plantilla “Diagrama de flujo de proceso”
3. Ajustar el tamaño de la página según los requerimientos y necesidades del diagrama
4. Colocar diagramas de las operaciones unitarias en cuestión tomando en cuenta la dirección del flujo, los equipos y operaciones involucradas.
5. Usar flechas para conectar los equipos
6. Etiquetar las operaciones
7. Revisar el diagrama para asegurar la precisión del flujo y ajustar tamaño para mejor claridad y entendimiento.

H. Guardar el diagrama en formato Visio (.vsdx).

I. Determinación de la cantidad de muestras analizadas

El diseño estadístico de la evaluación de la producción de un biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China, consistió en fabricar en triplicado el producto terminado (biopolímero) al determinar tanto el método de extracción de polisacrido y la formulación adecuada antes mencionada. Para determinar el tamaño de la muestra que se debe analizar y asegurar la confiabilidad estadística del estudio, se tomo en cuenta que la población con la que se trabajó es homogénea, correspondiendo exclusivamente a la Arveja China (*Pisum sativum*).

Cuando se trabaja con una población homogénea, la variabilidad entre las unidades experimentales es mínima, lo que significa que los resultados entre muestras serán consistentes y representativos sin necesidad de realizar un número excesivo de repeticiones. El uso de un triplicado es suficiente para captar la posible variabilidad sin comprometer la precisión de los resultados, ya que en estos sistemas de baja variabilidad, las réplicas adicionales no proporcionarían información significativamente nueva.

Además, el uso de tres réplicas permite calcular la desviación estándar y otras métricas estadísticas claves que garantizan el control del error experimental. En este caso, al no esperar grandes diferencias entre los datos de las réplicas, un triplicado es suficiente para confirmar

que las variaciones observadas son mínimas y no producto del azar o de errores en la metodología experimental.

VII. RESULTADOS

Cuadro 6. Métodos desarrollados, variando operaciones unitarias y condiciones de operación para la extracción de polisacárido de Arveja China (*pisum sativum*).

Método de extracción	Operaciones unitarias	Condiciones de operación
1	Licuar	Por 30 segundos a velocidad máxima con 700W de potencia
	Filtrar	Empleando papel filtro de 2mm de gramaje
	Sedimentar	Empleando ampolla de decantación
	Secar	Empleando papel aluminio a 60°C por 12 horas
	Moler	Empleando mortero con pistilo
2	Licuar	Por 30 segundos a máxima potencia
	Filtrar	Empleando manta encerada
	Sedimentar	Empleando ampolla de decantación por 2 horas
	Secar	Empleando papel encerado/papel mantequilla a 60°C por 8 horas
	Moler	Empleando mortero con pistilo
3	Licuar	Por 30 segundos a velocidad máxima con 700W de potencia
	Filtrar	Empleando manta encerada
	Sedimentar	Empleando ampolla de decantación
	Centrífugar	2000 rev/min por 20 min
	Secar	Empleando papel encerado/papel mantequilla
	Moler	Empleando mortero con pistilo

Método de extracción	Operaciones unitarias	Condiciones de operación
4	Licuar	Por 3 minutos a máxima velocidad con 700W de potencia
4	Filtrar	Empleando manta lavada para eliminar ceras
	Sedimentar	Empleando probetas de 2L por 1 hora 30 minutos
	Centrífugar	a 3500 rev/min por 30 minutos
	Sedimentar solución acuosa residual	Empleando probetas de 2L por 3 horas
	Centrífugar solución acuosa residual	a 3500 rev/min por 30 minutos
	Secar	Empleando frascos de 250mL de vidrio a 100°C en secador de bandejas con circulación de oxígeno
	Moler	Empleando mortero con pistilo y posteriormente molino de discos
	Tamizar	Empleando tamizadora por 5 minutos a máxima potencia
	Secar	Empleando bandejas metálicas en secador de bandejas con circulación de oxígeno a 100°C por 1 hora

(Fuente: Elaboración propia)

Métodos desarrollados a partir de pruebas previamente estudiadas de extracción de polisacárido de tubérculos, expuesto en anexos, con diversas modificaciones según resultados obtenidos en cada fase, buscando la mejora de las condiciones y principalmente el rendimiento de extracción. Experimentación a escala laboratorio desempeñada en el Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. En la sección A de la metodología se detalla el método de extracción empleado.

Cuadro 7. Rendimientos de extracción de polisacáridos de arveja (*Pisum sativum*) para su aplicación como materia prima de un biopolímero de los 4 métodos evaluados para la extracción.

Método de extracción	Cantidad total de Arveja empleada (g)	Cantidad total de almidón extraído (g)	Rendimiento de extracción medio
1	494.70 ± 0.01	7.66 ± 0.01	1.55 %± 0.02%
2	745.16 ± 0.01	20.02 ± 0.01	2.69% ± 0.02%
3	866.33 ± 0.01	33.88 ± 0.01	3.91% ± 0.02%
4	1519.80 ± 0.01	74.27 ± 0.01	4.89% ± 0.02%

(Fuente: Elaboración propia)

Rendimientos obtenidos mediante evaluación de 4 métodos de extracción de polisacárido expuesto en la sección de metodología, a partir de los datos de peso de arveja inicial y peso de almidón recuperado final presente en los Cuadros; 32, 33, 34 y 35 de la sección de datos calculados del capítulo de anexos, además fue empleado el Cálculo 2 de la sección de Cálculos de muestra para la determinación de los rendimientos. Se presenta tanto el rendimiento promedio de las corridas en triplicado como la desviación estándar entre los datos recopilados, estos determinados mediante el Cálculo 1 y el 25.

Cuadro 8. Selección del método de extracción de polisacárido de arveja con el mejor rendimiento y razones de selección.

Método de extracción seleccionado	Rendimiento de extracción medio	Desviación estándar de rendimiento de extracción	Razón de selección
Método 4	4.89% ± 0.02	0.003	El enfoque detallado, que incluye licuar a alta potencia, lavar manta filtrante para eliminar ceras, sedimentar y Centrifugar en varias etapas, así como secar y moler utilizando equipos específicos, logrando así el más alto entre las opciones evaluadas.

(Fuente: Elaboración propia)

Promedio y desviación estandar del método seleccionado, que maximiza la recuperación de polisacárido en el proceso de extracción explicada en la sección de metodología. Se emplearon los valores resultantes obtenidos en triplicado del cuadro 35 de la sección de anexos, usando los calculos 1 de calculos de muestra y 25 de análisis de error.

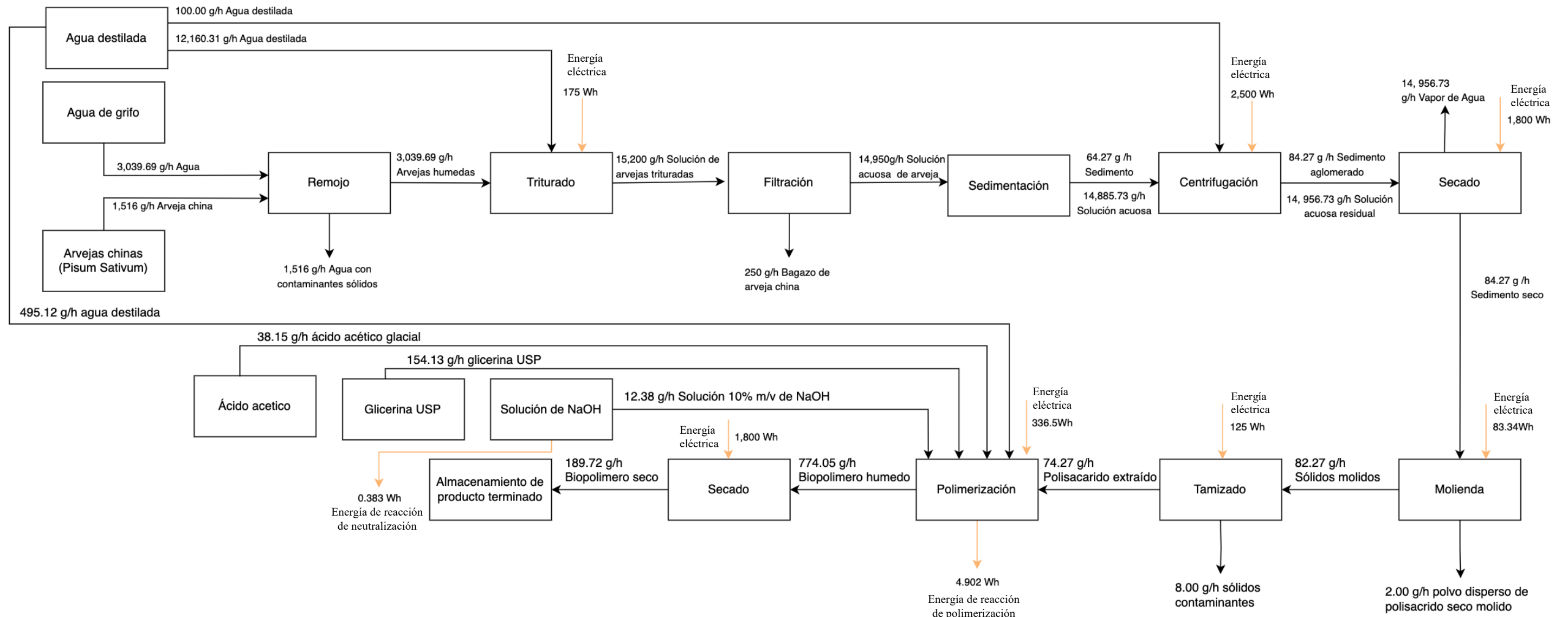
Cuadro 9. Estadística descriptiva de características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método que maximiza el rendimiento.

Propiedad	Valor promedio obtenido	Unidades
pH	6.80 ± 0.01	N/A
Temperatura de gelatinización	69.23 ± 0.03	°C
Viscosidad	867.11 ± 0.02	Cp
Humedad B.H.(m/m)	9.84 ± 0.01	%
Cenizas	0.04 ± 0.01	%

(Fuente: Elaboración propia)

Propiedades determinadas mediante métodos descritos en la sección B de metodología, los valores promedio de pH, Temperatura de gelatinización, viscosidad y % de humedad B.H.(m/m) obtenidos fueron determinados a partir de datos obtenidos en triplicado de cada prueba presentes en los Cuadros del 36 al 39 de la sección de anexos, así mismo fue determinada la desviación estándar para evaluar homogeneidad en los datos. Para la determinación del % de cenizas fueron empleados los datos de los Cuadros 40, 41, 42 y 43 de la sección de datos obtenidos y el cálculo 4 de cálculos de muestra.

Figura 5. Diagrama de proceso producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China a escala laboratorio.



(Fuente: Elaboración propia)

Diagrama de proceso de producción de biopolímero de extracto de polisacárido de Arveja China a escala laboratorio desarrollado en VISIO a partir de experimentación desarrollada en el Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, identificando cada etapa de proceso y sus correspondientes entradas y salidas. Esquematizando método de extracción de polisacárido seleccionado (método 4), seguido de la modificación química de este por la formulación 3. Datos de balance de masa y energía presentes en los Cuadros 58, 81 y 82 de anexos.

Cuadro 10. Balance de masa de proceso de producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China a partir de cantidades empleadas en el desarrollo a escala laboratorio.

Operación	Entrada (± 0.001)	Salida (± 0.001)	
Remojo	1516.800 g/h arveja	3039.690	g/h arvejas húmedas
	3039.690 g/h agua	344.60	g/h pérdidas g/h agua con contaminantes
Triturado	3039.690 g/h arvejas húmedas 12160.310 g/h agua destilada	15200.00	g/h solución arveja
Filtración	15200.000 g/h solución arveja	250.00	g/h de bagazo arveja
Sedimentación	14950.000 g/h Solución acuosa	14950.00	g/h Solución acuosa
		64.270	g/h sedimento
Centrifugación	64.270 g/h sedimento	84.270	g/h sedimento aglomerado
	g/h Solución acuosa residual		
	14885.73 residual	100.000 g/h agua destilada	14965.73
Secado	g/h sedimento aglomerado	84.270	g/h sedimento seco
	84.27 g/h Solución acuosa salida	14965.73	g/h Vapor de agua
Molienda	84.27 g/h sedimento seco	2.00	g/h perdidos de sedimento (polvo disperso)
		82.27	g/h sedimento seco molido
Tamizado	g/h sedimento seco molido 82.27	74.27	g/h Polisacárido extraído (superior a mesh 80)
		8.00	g/h Sólidos contaminantes (mayor tamaño de partícula)
Polimerización	g/h Polisacárido extraído (superior a mesh 80)	774.05	g/h Biopolímero húmedo
	74.27		
Secado	495.12 g/h agua destilada	189.72	g/h Biopolímero seco
	154.13 g/h glicerina		
	38.15 g/h Ácido acético		
	12.38 g/h de NaOH		
	774.05 g/h Biopolímero húmedo	584.33	g/h Vapor de agua

(Fuente: Elaboración propia)

Balance de masa de las operaciones unitarias involucradas en el proceso de extracción y producción de biopolímero a partir de polisacáridos de Arveja China (*Pisum sativum*) a escala de laboratorio. Fue desarrollado mediante cantidades empleadas a escala laboratorio

para el desarrollo del biomaterial en cuestión. Cada etapa del proceso, desde el remojo hasta el secado final del biopolímero, incluye las entradas y salidas de materiales en gramos (g), lo que permite evaluar la eficiencia y el rendimiento de cada operación para la obtención del biopolímero final. Balance de entradas y salidas del diagrama de la Figura 5 antes presentado.

Cuadro 11. Formulaciones desarrolladas, variando la concentración de polisacárido extraído y componentes, para la producción de biopolímero a partir de polisacárido extraído de arveja.

Formulación	Polisacárido extraído (g)	Agua destilada (mL)	Glicerina USP 99.5% (mL)	Ácido acético 97.6% v/v (mL)	Hidróxido de sodio 10 % m/v (mL)
1	3	40	3	3	0
2	6	40	5	3	0
3	6	40	10	3	23.64

(Fuente: Elaboración propia)

Formulaciones con procedimientos detallados en la sección D de la metodología del capítulo VI. Las 4 fueron desarrolladas en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, empleando una Estufa Estufa Thermo scientific Cimarec con agitación constante, controlando temperatura y pH. La cantidad de hidróxido de sodio NaOH 10% m/v para la formulación 3 fue determinada mediante el cálculo 5 de la sección de cálculos de muestra, del capítulo de anexos.

Cuadro 12. Condiciones de operación de operación de secado en formulación de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*).

Formulación	Tipo de secado	Tiempo de secado	Temperatura de secado	Porcentaje de humedad B.H. final % (g/g)
1	Ambiente	3 días	25°C	70.49 ± 0.02
2	Secado en horno deshidratador de bandejas	60 min	200°C	34.24 ± 0.03

Formulación	Tipo de secado	Tiempo de secado	Temperatura de secado	Porcentaje de humedad B.H. final % (g/g)
3	Secado en horno deshidratador de bandejas	60 min	200°C	31.76 ± 0.03

(Fuente: Elaboración propia).

Las mediciones de humedad B.H.(m/m) de ambos métodos fueron descritas en la sección de metodología. Los porcentajes de humedad B.H.(m/m) mostrados para ambos tipos de secado se encuentran en base húmeda. La humedad B.H.(m/m) es resultantes expuestas corresponden a valores promedio determinados a partir del cuadro 45 de la sección de cálculos de muestra del capítulo de anexos.

Cuadro 13. Selección del método de modificaciones químicas para obtención de un biomaterial a partir de polisacárido de Arveja China extraído.

Formulación seleccionada	Componentes y cantidades	Razón de selección
3	Polisacárido (6 g), Agua destilada (40 mL), Glicerina (10 mL), Ácido acético (3 mL), NaOH (23.64 mL)	Presenta la mejor consistencia, apariencia uniforme, espesor adecuado, textura suave y cantidad de humedad B.H.(m/m) favorable.

(Fuente: Elaboración propia)

El método seleccionado consistió en la formulación 3 debido a las características del biopolímero final obtenido. El procedimiento de este se detalla en la sección de metodología, la selección de la cantidad de NaOH empleada se detalla en el Cálculo 5 de con el fin de neutralizar el biomaterial final.

Cuadro 14. Estadística descriptiva de rendimiento de biopolímero producido a partir de extracto de polisacáridos de Arveja China (*Pisum sativum*) con el método de modificación química seleccionada.

Peso inicial de solución Biopolímero sin agua (g)	Peso promedio de biopolímero seco	Rendimiento de biopolímero de extracto de polisacárido (%)
22.54 ± 1.074	15.33 ± 0.01	68.01% ± 0.01

(Fuente: Elaboración propia)

Se obtuvo el dato de rendimiento promedio para la fabricación del biopolímero a partir de extracto de polisacárido a partir de los datos presentes en los Cuadros 46 y 47 de datos originales con las masas de entradas y salidas en triplicado. Para determinar el rendimiento de biopolímero fue empleado el cálculo de muestra 6. El cálculo 1 y 25 para determinación de promedio y desviación estándar y el rendimiento promedio obtenido presente en el Cuadro 72 de la sección de datos calculados.

Figura 6. Biopolímero resultante empleando el método de modificaciones química seleccionada a partir de extracto de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*).



(Fuente: Elaboración propia, biopolímero desarrollado en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Biopolímero final producido a partir de extracto de polisacárido de arveja mediante el método de extracción 4 y la formulación 3. En la sección de Bitacora del capítulo de Anexos se presentan fotografías de todo el proceso de fabricación.

Cuadro 15. Estadística descriptiva de propiedades del biopolímero de Arveja China obtenido empleando métodos de análisis fisicoquímicos.

Propiedades	Valor promedio obtenido
Espesor	0.09 mm \pm 0.01mm
Área	2.7x2.0 cm \pm 0.1cm
Porcentaje de humedad B.H.(m/m)	32.85% \pm 0.01%
Resistencia termica (perdida del 5% de masa)	120°C \pm 1 °C
Temperatura de fusión	160°C \pm 1.5 °C
Porcentaje de absorción de agua	16.00% \pm 0.01%

(Fuente: Elaboración propia)

Los datos presentados corresponden a los valores promedio de análisis fisicoquímicos realizados al biomaterial producido. Las propiedades fueron determinadas mediante los métodos presentados en la sección E del capítulo VI de metodología. Para el espesor, el área, el % de humedad B.H.(m/m) y la temperatura de fusión fueron empleando los datos de los Cuadros 48, 49, 50, 52 de la sección de datos originales y el 75 de datos obtenidos, para la determinación de la resistencia termina fue empleado el cuadro 53, el cálculo 8 (pérdida de masa a diferentes T°C expuestas) y el Cuadro 74 (% de masa perdida en cada T°C) y para el porcentaje de absorción de agua el Cuadro 51 de datos originales, el cálculo 7 y el cuadro 73 de datos calculados. Para determinar el promedio y desviación estándar como incertidumbre se emplearon los cálculos 1 y 25.

Cuadro 16. Estadística descriptiva de pruebas mecánicas del biopolímero de Arveja China producido.

Característica	Valor promedio obtenido con desviación estándar
Módulo de Young	0.945 ± 0.0001 MPa
Tensión de rotura σ	10814 ± 200 Pa
Porcentaje de elongación ε	11.43% ± 0.01%

(Fuente: Elaboración propia)

σ : tensión de rotura y ε : porcentaje de elongación.

Los valores promedio de las pruebas mecánicas de biopolímero son obtenidas a partir de los datos originiales de masas empleados y estiramientos probocados presentes en el Cuadro 54 de datos originales. Los valores de módulo de young, tensión y porcentaje de elongación se obtuvieron mediante los cálculos 9, 10 y 11 de la sección de calculos de muestra y los promedios obtenidos presentes en el Cuadro 76 de datos calculados del capítulo de anexos. La gráfica de módulo de Yong presente como Figura 10 del capítulo de anexos.

Cuadro 17. Estadística descriptiva de solubilidad del biopolímero de Arveja China producido expuesto a diversos solventes.

Solvente	Tiempo de degradación (minutos)	Observaciones
Agua	245	Disolución parcial después de 4 horas, estructura parcialmente intacta (craquelación).
Aceite de girasol de cocina	No degradación en tiempo estudiado (> 600)	Ninguna disolución observable después de 8 horas, permanece intacto.
Ácido acético 5% (v/v)	60	Degradación moderada, biopolímero comienza a desintegrarse rápidamente.

(Fuente: Elaboración propia)

Los valores promedio expuestos corresponden a tiempos donde el biomaterial pierde su estructura y comienza su degradación ante diversos solventes, estos fueron

obtenidos a partir del Cuadro 55 de datos originales y los promedios y desviación determinados mediante calculo 1 y 25 y presentes en el Cuadro 77 de datos calculados.

Cuadro 18. Propiedades organolépticas del biopolímero de Arveja China producido.

Propiedad	Descripción de la evaluación	Resultado observado
Color	Observación bajo luz blanca y fondo blanco.	Verdoso, transparente con partículas sólidas de arveja triturada.
Olor	Evaluación de la intensidad y características del olor.	Olor dulce neutro con leve a ácido.
Textura	Evaluación táctil de suavidad, rugosidad u otras características.	Liso y suave al tacto.
Elasticidad	Prueba de estiramiento y retorno a la forma original.	Alta elasticidad, aguanta estiramiento sin romperse.
Dureza	Prueba de resistencia al ser presionado o golpeado.	Dureza media; resiste presión pero no objetos punzantes o cortantes.
Fragilidad	Observación de la tendencia a romperse o agrietarse.	Baja fragilidad; resiste sin romperse bajo flexión.
Resistencia	Evaluación general de la capacidad de soportar fuerza o estrés mecánico.	Resistente; soporta fuerzas de estiramiento, pero sensible a objetos afilados.
Sabor	Evaluación del sabor al ser probado.	Dulce.

(Fuente: Elaboración propia)

Propiedades cualitativas evaluadas del biopolímero final producido mediante método de extracción 4 y formulación 3 en panel sensorial. Las propiedades evaluadas fueron evaluadas siguiendo los métodos propuestos en la sección de metodología.

Cuadro 19. Posibles aplicaciones con valor comercial para el biopolímero producido.

Aplicación comercial	Razón de uso	Mercado potencial	Competidores principales
Envoltura de alimentos	Biodegradable, seguro para contacto con alimentos, flexible y transparente.	Industria alimentaria, empaques sostenibles	Papel film (Polietileno de baja densidad), papel celofán
Bolsas pequeñas biodegradables	Resistente, transparente y biodegradable para productos ligeros.	Farmacias, comercio minorista	Bolsas cristal (polipropileno), polietileno de alta densidad, bolsas de papel
Recubrimiento para alimentos	Mejora la conservación de alimentos, biodegradable, evita contacto con contaminantes.	Industria alimentaria	Celofán, ceras naturales
Material de manualidades	Flexible, fácil de cortar y pegar, ideal para actividades escolares y artísticas.	Sector educativo, tiendas de manualidades	Bolsas cristal, papel encerado
Embalaje de productos frágiles	Protección adicional contra polvo y humedad B.H.(m/m), biodegradable y transparente.	Envíos, transporte de objetos delicados	Papel burbuja, envases de plástico (poliestireno)

(Fuente: Elaboración propia)

Aplicaciones comerciales propuestas a partir de características y propiedades mecánicas y fisicoquímicas determinadas para el biopolímero final producido mediante método de extracción 4 y formulación 3 (Castañeta., et al. 2020).

Cuadro 20. Estadística descriptiva de comparación de propiedades del biopolímero de Arveja China producido y plásticos contaminantes presentes en el mercado.

Tipo de polímero	Biopolímero de Arveja China (polisacárido de arveja)	Bolsa cristal (Polipropileno, PEAD)	Papel film (PEBD)
Propiedades	Valor promedio obtenido	Valor promedio obtenido	Valor promedio obtenido
Espesor	0.09 mm ± 0.01	0.015 mm ± 0.0001 mm	0.012 mm ± 0.0001 mm
Área	2.7 x 2.0 cm ± 0.1	2.7 x 2.0 cm ± 0.1	2.7 x 2.0 cm ± 0.1
Porcentaje de Humedad B.H.(m/m)	32.85% ± 0.01	0.50% ± 0.01	0.30% ± 0.01
Resistencia térmica (pérdida del 5% de masa)	120°C ± 1 °C	90°C ± 1°C	110°C ± 1°C ±
Temperatura de fusión	160°C ± 1 °C	200°C ± 1°C (PP) / 175°C ± 1°C (PEAD)	115°C ± 1
Porcentaje de absorción de humedad B.H.(m/m)	16.00% ± 0.02	0.80% ± 0.1	0.50% ± 0.05

(Fuente: Elaboración propia)

Los datos presentados corresponden a los valores promedio de análisis fisicoquímicos realizados al biomaterial producido y los mismos evaluados en polímeros contaminantes. Las propiedades fueron determinadas mediante los métodos presentados en la sección E del capítulo VI de metodología empleando los datos de los Cuadros 56 para las bolsas cristal marca Surtiplast y el 57 para el papel film marca Diamond de la sección de datos originales, los Cálculos de muestra 7 y 8 para los valores resultantes y los cálculos 1 y 25 para determinar el promedio y

desviación estándar de incertidumbre. Los valores resultantes se presentan en el Cuadro 78 de datos obtenidos.

Cuadro 21. Pruebas de propuestas de embalaje de frutas para biopolímero producido y comparativa con polímeros del mercado, Específicamente con Fresas.

Característica	Fresa en biopolímero	Fresa en bolsa cristal	Fresa al ambiente
Textura	Firme, ligera suavidad	Suave, pérdida de firmeza	Muy blanda, descompuesta
Sabor	Fresco, ligeramente dulce	Dulce, pero con notas de fermentación	Fermentado, amargo
Color	Rojo brillante, uniforme	Rojo apagado, algunas zonas marrones	Marrón, oscurecido
Apariencia	Sin manchas, aspecto fresco	Manchas leves, aspecto moderado	Manchas negras, aspecto marchito
Presencia de microorganismos	Ausencia visible	Pocos visibles	Moho visible
Aspecto general	Buena conservación	Conservación moderada	Muy mal estado

(Fuente: Elaboración propia)

Características evaluadas de forma cualitativa para evaluar propuesta de aplicación comercial del biomaterial estudiado. Se realizó mediante panel sensorial a la fruta de interés del estudio. Fueron evaluadas 3 condiciones: Fresa al ambiente, fresa recubierta de biopolímero producido y fresa recubierta de polímero contaminante (Bolsa cristal).

Figura 7. Fresa expuesta a diversas envolturas para evaluar propuesta de valor comercial.



(Fuente: Elaboración propia)

Fotografía de fuente propia de las 3 condiciones de las fresas evaluadas: Fresa al ambiente, fresa recubierta de biopolímero producido y fresa recubierta de polímero contaminante (bolsa cristal).

Cuadro 22. Pruebas de propuestas de embalaje de frutas para biopolímero producido y comparativa con polímeros del mercado, Específicamente con manzana verde.

Característica	Manzana en biopolímero	Manzana en bolsa cristal	Manzana al ambiente
Textura	Firme, ligeramente seca	Ligeramente menos firme, algo seca	Suave, bastante seca
Sabor	Dulce, pero un poco menos jugosa	Dulce, algo menos jugosa	Menos dulce, algo deshidratada
Color	Amarillo brillante, sin cambios	Amarillo con ligeros signos de decoloración	Ligeramente marrón, sin cambios significativos
Apariencia	Limpia, sin imperfecciones	Ligeras manchas de decoloración	Sin manchas significativas
Presencia de microorganismos	No visible	No visible	No visible
Aspecto general	Buena conservación, ligera sequedad	Conservación aceptable, algo seca	Conservación moderada, bastante seca

(Fuente: Elaboración propia)

Características evaluadas de forma cualitativa para evaluar propuesta de aplicación comercial del biomaterial estudiado. Se realizó mediante panel sensorial a la fruta de interés del estudio. Fueron evaluadas 3 condiciones: Manzana verde al ambiente, manzana recubierta de biopolímero producido y manzana recubierta de polímero contaminante (bolsa cristal).

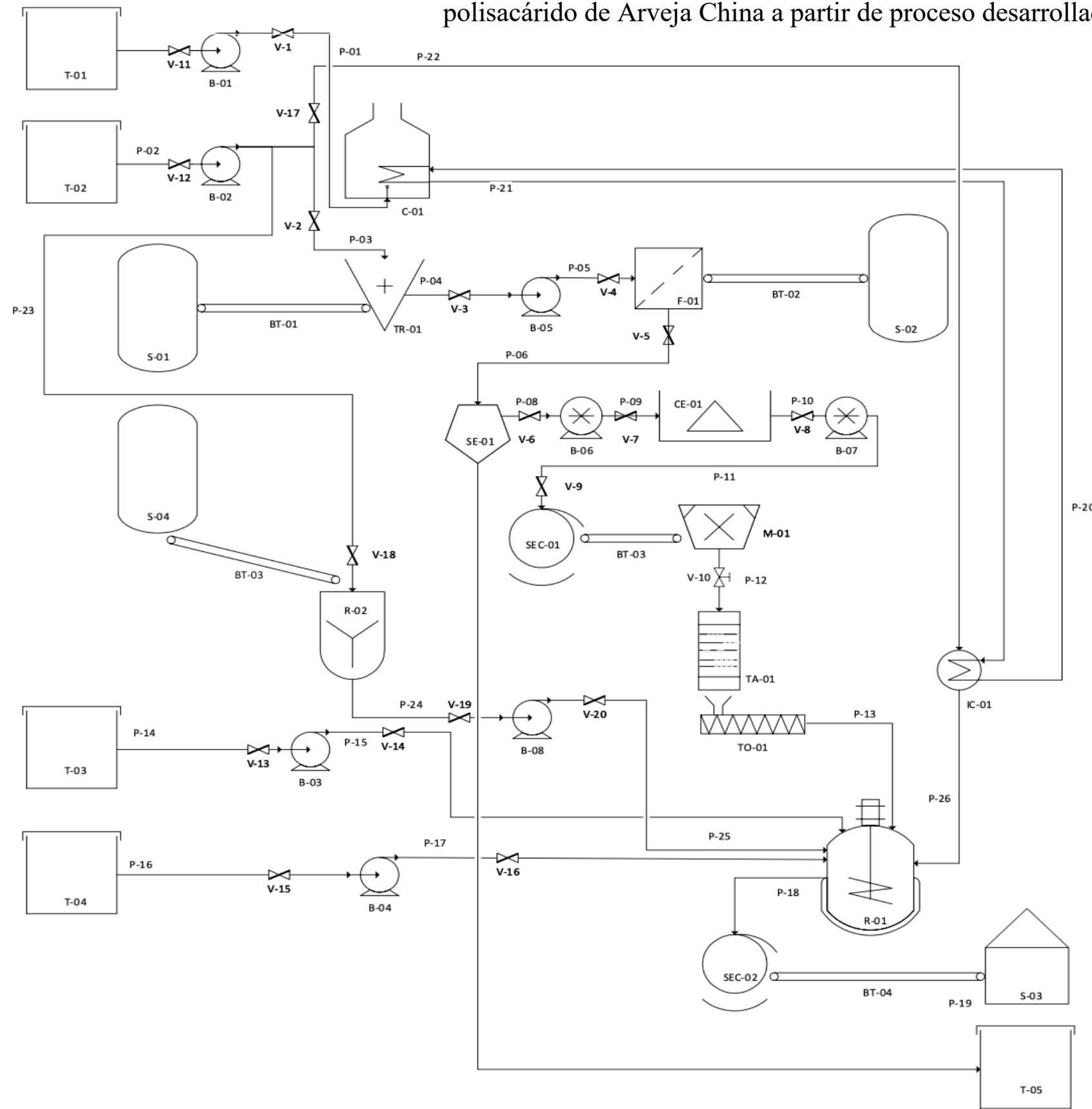
Figura 8. Manzana expuesta a diversas envolturas para evaluar propuesta de valor comercial.



(Fuente: Elaboración propia)

Fotografía de fuente propia de las 3 condiciones de la manzana evaluada: manzana al ambiente, manzana recubierta de biopolímero producido y manzana recubierta de polímero contaminante (bolsa cristal).

Figura 9. Propuesta de diagrama de proceso para producir de 2,000 g/h biopolímero de extracto de polisacárido de Arveja China a partir de proceso desarrollado a escala laboratorio.



Lista de Equipos	
Etiqueta	Descripción
B-01	Bomba Centrífuga
B-02	Bomba Centrífuga
B-03	Bomba Centrífuga
B-04	Bomba Centrífuga
B-05	Bomba Centrífuga
B-06	Bomba desplazamiento positivo
B-07	Bomba desplazamiento positivo
BT-01	Banda transportadora
BT-02	Banda transportadora
BT-03	Banda transportadora
BT-04	Banda transportadora
C-01	Caldera pirotubular
CE-01	Centrífuga
F-01	Filtro de prensa
M-01	Molino de discos
R-01	Reactor de polimerización
R-02	Mezclado de solución NaOH
S-01	Tanque de almacenamiento de solidos
S-02	Tanque de almacenamiento de solidos
S-03	Tanque de almacenamiento de solidos
S-04	Tanque de almacenamiento de solidos
SE-01	Sedimentador
SEC-01	Secador de tiro inducido
SEC-02	Secador de tiro inducido
T-01	Tanque de almacenamiento combustible
T-02	Tanque de almacenamiento agua suavizada
T-03	Tanque de almacenamiento ácido acético
T-04	Tanque de almacenamiento de glicerina
T-05	Tanque de almacenamiento de aguas residuales
TA-01	Tamizadora vibratoria
TO-01	Transportador de Tornillo sin fin
TR-01	Trituradora industrial
IC-01	Intercambiador de calor

Canalizaciones	
Etiqueta	Fluido
P-01	Combustible
P-02	Agua suavizada
P-03	Agua suavizada
P-04	Solución arveja triturada
P-05	Solución arveja triturada
P-06	Solución arveja triturada filtrada
P-07	Agua residual
P-08	Solución acuosa con polisacárido sedimentado
P-09	Solución acuosa con polisacárido sedimentado
P-10	Polisacárido Sedimento centrifugado
P-11	Polisacárido Sedimento centrifugado
P-12	Polisacárido Sedimentado seco molido
P-13	Polisacárido seco tamizado
P-14	Ácido acético 97.6% pureza
P-15	Ácido acético 97.6% pureza
P-16	Glicerina USP 99.5% pureza
P-17	Glicerina USP 99.5% pureza
P-18	Solución de biopolimero acuosa
P-19	Aagua residual
P-20	Vapor saturado
P-21	Agua condensada
P-22	Agua suavizada
P-23	Agua suavizada
P-24	Hidróxido de sodio
P-25	Solución NaOH
P-26	Agua caliente (@80°C)

Diagrama de proceso propuesto para fabricación de biopolímero a partir de polisacárido extraído de Arveja China (*Pisum sativum*), fue diseñado a partir del proceso de producción a escala laboratorio desarrollado en el laboratorio de operaciones unitarias, proponiendo las operaciones a emplear, las bombas, condiciones de operación y equipos para traslado y almacenamiento para un futuro escalamiento a nivel planta piloto. Diagrama desarrollado en el software VISIO, empleando el Chemical Engineering drawing symbols para la adecuada selección de símbolos (Austin, 1979). Los Cuadros con condiciones de operación y flujos másicos detallados en las Cuadros 23 y 24 a continuación.

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 23. Listado de equipamiento con condiciones de operación propuestas para la producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China.

Lista de equipos			
Etiqueta	Descripción	Temperatura °C	Presión kPa
B-01	Bomba centrífuga	25	29.430
B-02	Bomba centrífuga	25	29.430
B-03	Bomba centrífuga	25	29.430
B-04	Bomba centrífuga	25	29.430
B-05	Bomba centrífuga	25	29.430
B-06	Bomba desplazamiento positivo	25	200.000
B-07	Bomba desplazamiento positivo	25	200.000
BT-01	Banda transportadora	25	-
BT-02	Banda transportadora	25	-
BT-03	Banda transportadora	25	-
BT-04	Banda transportadora	25	-
C-01	Caldera pirotubular	100	101.430
CE-01	Centrífuga	25	-
F-01	Filtro de prensa	40	100.000
M-01	Molino de discos	30	-
R-01	Reactor de polimerización	70	200.000
R-02	Mezclado de solución NaOH	50	101.430
S-01	Tanque de almacenamiento de sólidos	25	101.430
S-02	Tanque de almacenamiento de sólidos	25	101.430
S-03	Tanque de almacenamiento de sólidos	25	101.430
S-04	Tanque de almacenamiento de sólidos	25	101.430
SE-01	Sedimentador	25	101.430
SEC-01	Secador de tiro inducido	100	101.430
SEC-02	Secador de tiro inducido	200	101.430
T-01	Tanque de almacenamiento combustible	25	101.430
T-02	Tanque de almacenamiento agua suavizada	25	101.430
T-03	Tanque de almacenamiento ácido acético	25	101.430
T-04	Tanque de almacenamiento de glicerina	25	101.430
T-05	Tanque de almacenamiento de aguas residuales	25	101.430
TA-01	Tamizadora vibratoria	30	-
TO-01	Transportador de tornillo sin fin	30	-
TR-01	Trituradora industrial	25	-
IC-01	Intercambiador de calor	80	-

Listado de equipamiento desarrollado en VISIO junto al diagrama de proceso de producción antes presentado, el cual incluye los diversos equipos propuestos para el futuro escalamiento del proceso de producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China, con las condicionantes de temperatura y presión propuestas a partir de la naturaleza del proceso y los cálculos 16, 17, 18, 19 y 20 presentes en el capítulo de anexos.

Cuadro 24. Listado de canalizaciones del diagrama de flujo de la producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Lista de canalizaciones			
Etiqueta	Descripción	Fluido	Flujo (kg/h)
P-01	Tubería 1	Combustible	28.300
P-02	Tubería 2	Agua suavizada	128.17
P-03	Tubería 3	Agua suavizada	128.17
P-04	Tubería 4	Solución arveja triturada	160.21
P-05	Tubería 5	Solución arveja triturada	160.21
P-06	Tubería 6	Solución arveja triturada filtrada	157.57
P-07	Tubería 7	Agua residual	156.896
P-08	Tubería 8	Solución acuosa con polisacárido sedimentado	0.677
P-09	Tubería 9	Solución acuosa con polisacárido sedimentado	0.677
P-10	Tubería 10	Polisacárido sedimento centrífugado	0.888
P-11	Tubería 11	Polisacárido sedimento centrífugado	0.888
P-12	Tubería 12	Polisacárido sedimentado seco molido	0.867
P-13	Tubería 13	Polisacárido seco tamizado	0.783
P-14	Tubería 14	Ácido acético 97.6% pureza	0.402
P-15	Tubería 15	Ácido acético 97.6% pureza	0.402
P-16	Tubería 16	Glicerina USP 99.5% pureza	1.625
P-17	Tubería 17	Glicerina USP 99.5% pureza	1.625
P-18	Tubería 18	Solución de biopolímero acuosa	8.158
P-19	Tubería 19	Agua residual	156.896
P-20	Tubería 20	Vapor saturado	533.000
P-21	Tubería 21	Agua condensada	533.000
P-22	Tubería 22	Agua suavizada	32.038
P-23	Tubería 23	Agua suavizada	11.142
P-24	Tubería 24	Hidróxido de sodio	1.238
P-25	Tubería 25	Solución NaOH	12.380
P-26	Tubería 26	Agua caliente (@80°C)	495.120

Listado de canalizaciones desarrollado en VISIO junto al diagrama de proceso de producción antes presentado, el cual incluye los diversos fluidos presentes en las Tuberías en cuestión junto a sus flujos máxicos propuestos en los calculos 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23 y 24. El Cuadro 79 de datos calculados presenta el balance de masa de entradas y salidas del proceso como propuesta para el futuro escalamiento del proceso de producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China. En el Cuadro 80 se presentan los mismos en flujos de kg/h a diferencia del 79 en g/h.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el objetivo principal de evaluar la producción de un biopolímero a partir de la extracción de un polisacárido de arveja (*Pisum sativum*) empleando métodos previamente reportados para extracción a partir de fuentes vegetales, como alternativa de producto con valor comercial, se evaluaron métodos de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*) para determinar el método que maximiza el rendimiento de extracción para su aplicación como materia prima de un biopolímero. Posteriormente, se empleó el polisacárido extraído sometiéndolo a métodos de modificaciones químicas para la obtención de un biomaterial y de esta forma calcular su rendimiento. Fueron determinadas las propiedades del biomaterial obtenido empleando métodos de análisis fisicoquímicos y mecánicos para evaluar su composición y de esta forma proponer sus posibles aplicaciones. Finalmente, se comparó con materiales disponibles en el mercado para proponer aplicaciones con valor comercial. A partir de estas evaluaciones y determinaciones a nivel laboratorio, se logró proponer un diagrama de flujo con las operaciones unitarias involucradas para un futuro escalamiento a planta piloto.

En la primera fase experimental, se evaluaron cuatro diversos métodos para la extracción de polisacáridos de Arveja China (*pisum sativum*), con el fin de identificar el procedimiento que ofreciera mayor rendimiento y pureza. Se partió por una referencia teórica de metodología propuesta para extracción de almidón en arveja amarilla y tubérculos; papa, malanga y yuya desarrolladas en Ecuador (Pesantes & Alberca, 2021) (Robalino, 2022), a partir de este como método 1 de extracción se realizaron modificaciones orientadas al resultado de polisacárido deseado. Se consideraron variaciones en las operaciones unitarias, como el licuado a diferentes velocidades, métodos y tiempos de filtración diversos, el equipo y medio empleado para la sedimentación, puesto que inicialmente se propuso como una precipitación en una ampolla de decantación, lo cual no presnetó resultados esperados, la incorporación de la Centrifugación a diversas revoluciones y tiempos y el método establecido para el secado del extracto obtenido, ya que inicialmente se emplearon medios como lo son el papel

encerado y el aluminio, los cuales representaron pérdidas significativas del polisacárido obtenido. El Método 4 resultó ser el elegido, logrando un rendimiento de extracción del 4.89%, comparado con el 1.55% del Método 1, 2.69% del Método 2 y 3.91% del Método 3 presentes en los cuadros 6 y 7 de la sección de resultados.

El éxito del Método 4 radica en el licuado a alta velocidad y alta potencia, el cual facilitó la ruptura eficiente de las paredes celulares, maximizando la liberación de los polisacáridos. El licuado a alta velocidad y alta potencia, especialmente cuando se utiliza un procesador de alta presión, es una técnica eficiente para romper las paredes celulares y maximizar la liberación de polisacáridos. Este método de procesamiento no térmico utiliza altas presiones (entre 100 y 1000 MPa) aplicadas de manera isostática en todas las direcciones, lo que causa deformación celular y facilita la ruptura de las paredes celulares, aumentando la tasa de transferencia de masa y la extracción de componentes intracelulares. Esto lo convierte en un adecuado y ecológico para la extracción de polisacáridos de plantas y otros materiales biológicos, como microalgas y bayas. (Bai et al., 2024).

El lavado exhaustivo de la manta filtrante con detergente permitió eliminar ceras y lípidos que podrían haber interferido en la extracción, ya que el polisacárido extraído de la primera corrida cristalizó dichas ceras y se terminó quemando por lo que el producto fue perdido completamente, las ceras empleadas son mezclas complejas de ésteres de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, estas suelen ser residuos naturales de origen vegetal, particularmente si como la manta empleada se fabrica a partir de fibras de algodón crudo, estas actúan como una barrera protectora en las plantas, evitando la pérdida de agua y proporcionando resistencia a la intemperie. Al eliminar las ceras, se abren los poros de la tela, lo que mejora la capacidad de la manta para permitir el paso de líquidos mientras retiene partículas sólidas, en este caso el bagazo que se desea eliminar, además pueden atrapar contaminantes o sustancias no deseadas en sus superficies (DDPS, 2024).

Además, El incorporar la sedimentación y la elección de una probeta de 2L como medio para sedimentar proporcionó un espacio adecuado para permitir que los sólidos

suspendidos en la solución acuosa se asentaron bajo la influencia de la gravedad, favoreciendo la aglomeración de las partículas más grandes y pesadas y por ende las partículas suspendidas tengan una mayor libertad de movimiento y una mayor distancia de recorrido, lo que aumenta las probabilidades de colisión y aglomeración entre las partículas. Así mismo al ingresar el sedimento previamente obtenido a Centrifugación realizadas en varias etapas permitieron una separación eficiente de los componentes sólidos y líquidos, mejorando la pureza del polisacárido obtenido.

La Centrifugación fue una etapa crucial en la extracción, permitiendo una separación rápida y efectiva de los sólidos e impurezas presentes en la solución. Este proceso aceleró la sedimentación de partículas densas, formando un sedimento compacto y eliminando impurezas que podrían haber afectado la calidad del producto final. Este proceso no solo mejoró la claridad del sobrenadante, reduciendo la turbidez y eliminando componentes no deseados, sino que también aumentó el rendimiento del polisacárido extraído al minimizar las pérdidas asociadas a la manipulación manual y a los tiempos prolongados de sedimentación en reposo. Las sucesivas etapas de Centrifugación, junto con los lavados con agua destilada, resultaron en un extracto de polisacárido más puro y claro, libre de contaminantes visibles comparado al producto del método 1.

Durante el proceso de secado del extracto de polisacárido, se realizaron diversos intentos con variados métodos y materiales para determinar la técnica con mejor resultado. Inicialmente, se probaron métodos como el secado en incubadora Lab Line de Laboratorio Procesos Bioindustriales en papel aluminio, que resultó problemático ya que el polisacárido se quemó en algunos casos debido a una distribución desigual del calor y se adhirió al aluminio, complicando su posterior recuperación. Posteriormente, se utilizó papel mantequilla como medio de secado, lo cual permitió que la solución de polisacárido se esparciera uniformemente; sin embargo, este material no facilitó un buen secado, ya que la solución permaneció demasiado adherida y húmeda, impidiendo la evaporación adecuada del agua. También se intentó el secado a temperatura ambiente, pero debido a la naturaleza hidrofílica del polisacárido y la cantidad de agua suspendida, el producto

permaneció constantemente húmedo, sin alcanzar la sequedad requerida para su manipulación y almacenamiento, además de una espera infinita para el secado.

Finalmente, como se muestra en el Cuadro 12 de resultados, el uso del deshidratador de bandejas con entrada de oxígeno del Laboratorio de operaciones unitarias se destacó como el mejor método de secado evaluado. Este deshidratador permitió un secado uniforme del polisacárido al proporcionar una circulación constante de aire con oxígeno, evitando puntos calientes que podrían haber causado degradación o quemado del material. Además, el deshidratador mantuvo una temperatura controlada que evitó la degradación del polisacárido y facilitó la eliminación gradual de la humedad B.H.(m/m) sin alterar su estructura. El resultado obtenido con este método fue un extracto de polisacárido seco, homogéneo y con la textura deseada, sin quemaduras ni adherencias indeseadas, además en un menor tiempo de espera.

El polisacárido extraído mediante el Método 4 presentó propiedades fisicoquímicas prometedoras, como un pH de 6.80, temperatura de gelatinización de 69.23 °C el cual es determinado para la posterior polimerización, viscosidad de 867.11Cp, contenido de humedad B.H.(m/m) del 9.84%, y un porcentaje de cenizas de 0.04%. Estas características favorecen su uso como materia prima para la producción de biopolímeros. Un pH cercano a la neutralidad es esencial para evitar reacciones adversas durante las modificaciones químicas ya que será necesario agregar soluciones tanto ácidas como lo es el ácido acético y básicas como el hidroxido de sodio, mientras que la baja temperatura de gelatinización y contenido de cenizas favorecen la manipulación térmica durante el procesamiento del biopolímero, lo que permite la formación del material sin necesidad de temperaturas extremadamente altas que podrían provocar la descomposición del polisacárido. Además, la baja concentración de cenizas asegura que el polisacárido contiene un mínimo de impurezas inorgánicas, reduciendo la posibilidad de defectos estructurales en el biopolímero producido.

Posteriormente, el polisacárido fue sometido a modificaciones químicas con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y de procesamiento. Estas modificaciones

incluyeron la acetilación o esterificación para aumentar la estabilidad térmica, la oxidación para mejorar la solubilidad en soluciones acuosas. La esterificación implica la introducción de grupos éster (R-COO-) en las moléculas de almidón del polisacrido extraído mediante una reacción química con un ácido (como el ácido acético) y un agente de esterificación (como la glicerina, que actúa como un plastificante). Esta modificación tiene como objetivo mejorar las propiedades funcionales del almidón, como la resistencia al calor, la solubilidad, la estabilidad de la viscosidad y la resistencia al retroceso o retrogradación, la incorporación de plastificantes como glicerina para aumentar la flexibilidad. El método de polimerización empleado corresponde a la acetilación es el tipo más común de esterificación, donde el almidón del polisacrido extraído de arveja reacciona con ácido acético para introducir grupos acetato (Oliveira et al., 2018).

Seguido a esto fue incorporado NaOH para ajustar el pH y estabilizar el biopolímero, esta neutralización con una base fuerte eleva el pH de la mezcla después de la esterificación, que generalmente es un proceso ácido. Este ajuste es necesario para evitar que el producto final sea demasiado ácido, lo que podría afectar su estabilidad o reactividad en ciertas aplicaciones. Además ayuda a estabilizar el polisacrido modificado, reduciendo la posibilidad de hidrólisis ácida continua que podría degradarlo y puede prevenir la descomposición del almidón durante el almacenamiento o el uso (Wei et al., 2018).

El uso de glicerina como plastificante en la formulación es fundamental para mejorar la flexibilidad del biopolímero, disminuyendo su fragilidad y aumentando su capacidad de elongación. Por otro lado, el ácido acético actúa neutralizando cargas eléctricas y estabilizando la mezcla, mientras que el NaOH contribuye a ajustar el pH del material, la determinación de solución de reactivo necesaria para neutralizar se encuentra presente en el cálculo 5 y cantidades dinales agregadas por formulación en el Cuadro 11 y 13 de resultados, garantizando que el biopolímero final tenga las propiedades químicas y físicas adecuadas para su aplicación comercial.

Como se muestra en el Cuadro 15 de la sección de resultados, el biopolímero final mostró un espesor uniforme de $0.09 \text{ mm} \pm 0.001$, área de $2.7 \times 2.0 \text{ cm} \pm 0.001$ y un porcentaje de humedad B.H.(m/m) del $32.85\% \pm 0.021$. Estas propiedades son críticas para evaluar su consistencia y comportamiento mecánico, asegurando su viabilidad en aplicaciones industriales. Su resistencia térmica, medida como una pérdida de masa del 5% a $120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.5$, y su temperatura de fusión de $160 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.5$, indican que puede soportar temperaturas moderadamente altas sin degradarse, lo que lo hace adecuado para aplicaciones como embalajes. La absorción de humedad controlada, con un valor de $16\% \pm 0.025$, es crucial para aplicaciones en las que el material estará en contacto con ambientes húmedos, evitando la deformación o degradación del biopolímero en esas condiciones.

El módulo de Young del biopolímero, es un parámetro clave que determina la rigidez y elasticidad del material. Como se observa en el Cuadro 16 de la sección de resultados, se obtuvo un biomaterial con un módulo de Young de 0.945, una tensión de rotura de 10,814 Pa y un porcentaje de elongación de 11.43%, características que demuestran su potencial para aplicaciones en embalaje y otras industrias. Comparativamente, este módulo de Young es considerablemente más bajo que el de materiales plásticos convencionales utilizados en empaques, como el papel film de polietileno (PE), que tiene un módulo de Young en el rango de 200-400 MPa, y el celofán, que presenta un módulo de Young entre 100 y 250 MPa. Por otro lado, materiales como las bolsas de plástico tipo "Ziploc", hechas de polietileno de baja densidad (LDPE), suelen tener un módulo de Young de aproximadamente 150-300 MPa, lo que indica una mayor rigidez y menor flexibilidad en comparación con el biomaterial desarrollado. La baja rigidez (bajo módulo de Young) del biomaterial en comparación con otros plásticos comunes sugiere que es más flexible y elástico, lo que puede ser ventajoso en aplicaciones donde se requiere mayor conformabilidad o adaptabilidad a la forma del contenido, como en empaques flexibles. Sin embargo, la tensión de rotura más baja también indica que este biomaterial puede no ser tan resistente a fuerzas de tracción comparado con materiales como el polipropileno (Fasih et al., 2021).

Además, el porcentaje de elongación del 11.43% del biomaterial es relativamente competitivo en comparación con el celofán, que tiene un porcentaje de elongación de alrededor de 20-30%, y es más elástico que algunos otros materiales plásticos rígidos, como el polietileno tereftalato (PET), que puede tener un porcentaje de elongación bajo en torno al 5-10%. Este comportamiento sugiere que, aunque el biomaterial no es tan resistente como otros plásticos más rígidos, podría ser útil en aplicaciones que requieran un cierto grado de flexibilidad y extensibilidad (Mark, 2007).

Los ensayos de solubilidad presentes en el Cuadro 17 de la sección de resultados demuestra que el biopolímero posee una solubilidad limitada en agua a temperatura ambiente, lo cual es beneficioso para aplicaciones donde el contacto con agua es frecuente. Esta baja solubilidad contribuye a mantener la integridad estructural del biopolímero, evitando su degradación en ambientes húmedos. Sin embargo, su mayor solubilidad en soluciones ácidas y alcalinas moderadas indica que puede degradarse en condiciones de pH extremas, lo que podría ser útil en aplicaciones que requieran una biodegradación controlada bajo condiciones específicas.

Las propiedades organolépticas del biopolímero, como color, textura, elasticidad y dureza, fueron evaluadas para determinar su viabilidad comercial y aceptación por parte del consumidor. El material mostró un color verde translúcido uniforme, textura suave y elasticidad moderada, este presente como Figura 6 en la sección de resultados, características deseables para aplicaciones en embalaje de alimentos, donde la apariencia y la experiencia táctil son importantes para los consumidores. La elasticidad del biopolímero permite que se adapte a formas variadas sin romperse, mientras que su dureza controlada asegura la protección del contenido embalado contra daños mecánicos, mejorando así su aceptación en el mercado.

El olor del biopolímero puede ser un desafío, especialmente cuando se utiliza ácido acético, como el vinagre, que tiene un aroma fuerte y penetrante. Una forma económica de reducir el olor es considerar el uso de otros ácidos más suaves. Por ejemplo, el ácido cítrico es una alternativa económica y menos volátil que puede disminuir el olor

sin afectar demasiado las propiedades del material. Si la elección de un ácido diferente no es viable, otra opción sencilla es añadir aceites esenciales. Estos compuestos naturales pueden enmascarar el aroma no deseado y, además, aportar propiedades antimicrobianas o antioxidantes al biopolímero. Aceites esenciales como el de lavanda, eucalipto o naranja son opciones de bajo costo y fácilmente accesibles, que además pueden ser incorporados sin alterar de manera significativa la estructura del material. Otra estrategia consiste en realizar un proceso de curado más prolongado, donde el biopolímero se deja reposar en un ambiente bien ventilado para que el olor se disipe de forma natural.

El color verdoso del biopolímero puede no ser el más atractivo, pero hay varias formas de mejorarlo de manera económica. Una opción es el uso de colorantes naturales que no comprometan la sostenibilidad del material. Por ejemplo, se pueden utilizar pigmentos derivados de alimentos como el jugo de remolacha o el polvo de cúrcuma, que no solo mejoran el color, sino que también son ecológicos. Si se busca una tonalidad más neutra o más clara, se puede probar con una pequeña cantidad de arcilla o caolín, que aportan un color más blanco y mate. Otra alternativa interesante es la incorporación de té verde o extractos de plantas con tonos amarillos o rojizos, que pueden contrarrestar el verde de manera natural. Es importante realizar pruebas previas para asegurarse de que los colorantes no interfieran con las propiedades estructurales o mecánicas del biopolímero. Además, en algunos casos, el proceso de secado o curado puede influir en la intensidad del color, por lo que ajustarlo también podría ayudar a obtener un tono más deseable.

Es esencial que cualquier cambio en la formulación se considere desde una perspectiva de sostenibilidad y costo. Si bien la mejora estética y olfativa es deseable, las soluciones deben ser accesibles y no deben comprometer la naturaleza ecológica del biopolímero. Asegúrese de utilizar ingredientes que sean tanto económicos como respetuosos con el medio ambiente, manteniendo siempre el equilibrio entre la calidad del producto y su impacto ambiental.

Debido a que se conocen las características del biopolímero producido se compararon dichas propiedades con materiales disponibles (plásticos contaminantes) en el mercado para proponer aplicaciones con valor comercial. La comparación de propiedades del biopolímero de Arveja China (polisacárido de arveja) con materiales plásticos convencionales como la bolsa cristal (polipropileno, PEAD) y el papel film (PEBD) revela tanto ventajas como limitaciones para su uso en aplicaciones comerciales.

En términos de espesor, el biopolímero presenta un valor significativamente mayor (0.09 mm) en comparación con el polipropileno (0.015 mm) y el PEBD (0.012 mm). Este mayor espesor podría proporcionar una mayor resistencia mecánica, haciéndolo más robusto en aplicaciones donde se requiere durabilidad, como empaques reutilizables o en productos con alta resistencia a perforaciones y rasgaduras (Jiang et al., 2020). Sin embargo, el mayor espesor también podría limitar su uso en aplicaciones que requieren materiales delgados y flexibles, como envolturas de alimentos que necesitan adaptarse bien al contenido (Wang et al., 2021).

En cuanto al porcentaje de humedad B.H.(m/m) y absorción de humedad, el biopolímero de Arveja China presenta valores considerablemente más altos (32.85% de humedad B.H.(m/m) y 16% de absorción de humedad) en comparación con los plásticos convencionales, que tienen valores mucho más bajos (0.5% de humedad en PP/PEAD y 0.3% en PEBD; 0.8% y 0.5% de absorción de humedad, respectivamente). Estos resultados sugieren que el biopolímero es más hidrofílico, lo que podría limitar su utilidad en aplicaciones que requieren impermeabilidad al agua o estabilidad en ambientes húmedos, como empaques de productos secos (Singh et al., 2019). Sin embargo, esta propiedad podría ser beneficiosa en aplicaciones donde la interacción con el agua es deseable, como en recubrimientos para productos agrícolas o empaques biodegradables que necesitan descomponerse más rápidamente en ambientes húmedos (Lamberti et al., 2022).

En términos de resistencia térmica, el biopolímero de Arveja China muestra una estabilidad intermedia con una pérdida del 5% de masa a 120°C, comparado con los 90°C

de PEAD y los 110°C de PEBD. Esta resistencia térmica sugiere que el biopolímero puede ser útil en aplicaciones que no requieran alta exposición a temperaturas elevadas, pero donde una resistencia moderada al calor sea beneficiosa, como en el envasado de alimentos que puedan estar expuestos a temperaturas moderadas sin derretirse o descomponerse (Martinez-Sanz et al., 2020). La temperatura de fusión del biopolímero (160°C) es mayor que la del PEBD (115°C) pero menor que la del polipropileno (200°C), indicando que podría soportar procesos de fabricación que involucren temperaturas moderadas, pero no aplicaciones de alta temperatura como algunos plásticos tradicionales (Chen et al., 2021).

La esquematización de proceso desarrollado a escala laboratorio presente en la Figura 5 describe de una forma general las operaciones involucradas para la producción, tanto las entradas como las salidas en cada una de ellas. Con el fin de realizar una propuesta de operaciones unitarias del proceso para escalar a nivel planta piloto, fue desarrollado el diagrama de proceso de la producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China presente en la Figura 9 de la sección de resultados, el mencionado detalla las operaciones principales que se deben efectuar para la realización del producto terminado.

La base de cálculo fue para producir 2000 g/h de biopolímero. En principio, se cuenta con un almacenamiento de vainas de Arveja China el cual debe mantenerse de forma aislada debido a la naturaleza de la materia prima, puesto a que toma microorganismo con facilidad, y se debe controlar una temperatura entre 20°C a 30°C y humedad relativa no superior al 30% para evitar lo mencionado. Al tratarse de un sólido es importante considerar su traslado, el movimiento se propone mediante bandas transportadoras hacia el sistema de trituración, seguido se propone una filtración en prensa para eliminar el bagazo residual de la solución triturada el cual será almacenado en un tanque de almacenamiento de biomasa para su posterior tratamiento. La solución acuosa seguida a la filtración se mueve mediante una tubería que conduce directo a una sedimentación y posterior se mueve mediante una bomba de desplazamiento positivo a una centrífuga en los cuales se busca aglomerar las partículas sólidas suspendidas las cuales corresponden

a los polisacáridos presentes deseados de extraer posteriormente se mueve hacia un secador de tiro inducido el cual retira el agua de la solución dejando el extracto de polisacárido seco y listo para una molienda, su movimiento puede ser por bandas transportadoras que llevarán el extracto hacia un molino de discos y una posterior tamizado con Mesh 80 para garantizar el tamaño de partícula deseado. Es inevitable la liberación de partículas al ambiente que se traduce en desperdicio, pues un pequeño porcentaje indicado en las tablas de cantidades se reducirá a polvo.

La modificación química de esterificación alcalinación consta de un reactor que opera a 80°C, la cual fue la temperatura de gelatinización evaluada, agregando agua, solución de 10% m/v de hidróxido de sodio al 99.5%, ácido acético al 100% (Glacial)% y el extracto de polisacárido resultantes. Se calienta agua potable, proveniente de un tratamiento de agua con una bomba centrífuga, vapor saturado proveniente de una caldera pirotubular. Se propone utilizar vapor de agua como fluido caliente para calentar debido a sus costos reducidos y fácil manipulación (Perry y Chilton, 1984). Además, se agrega, por medio de un tornillo sin fin el extracto de polisacárido antes mencionado. Así, la esterificación del extracto de polisacárido se realiza para producir el biopolímero deseado.

Posteriormente, se trasla el biopolímero humedo producido a los moldes para ingreso a horno deshidratador de tiro inducido que opera a 200°C. Se libera gran cantidad de agua mencionada en el Cuadro 24 de la sección de resultados al ambiente. Finalmente, se obtiene los 2000g/h de biopolímero seco propuestos, los cuales se envían a un almacenamiento de producto terminado.

Para un futuro escalamiento a nivel planta piloto, es esencial mejorar diversas condiciones operativas para asegurar el buen resultado del proceso y la calidad del producto. El control preciso de la temperatura durante el secado y las modificaciones químicas es fundamental para evitar la degradación térmica del polisacárido. Además, los tiempos y velocidades de Centrifugación deben ajustarse para maximizar la pureza del polisacárido y reducir la turbidez del producto final. También es recomendable

implementar un sistema de recuperación de reactivos y agua para mejorar la sostenibilidad del proceso, para así mismo reducir costos operativos. La automatización de los procesos de sedimentación y Centrifugación contribuirá a mejorar la consistencia y reproducibilidad del producto, facilitando el futuro escalamiento a planta piloto. Los datos de equipamiento, fluidos y condiciones de operación se enlistan en los cuadros 23 y 24 de la sección de resultados, así como la representación de diagrama de proceso en la Figura 9.

IX. CONCLUSIONES

- Se determinó que el método de extracción que obtuvo el mayor rendimiento de polisacáridos de arveja (*Pisum sativum*) fue el método 4, el cual combina sedimentación y Centrifugación como mayor diferencia, con un rendimiento de $4.89\% \text{ (m/m)} \pm 0.01\% \text{ (m/m)}$. Este método mostró una mayor capacidad para separar los polisacáridos con mínimas pérdidas de material en comparación con otros procedimientos evaluados, sugiriendo su potencial como método para la obtención de materia prima para biopolímeros.
- El polisacárido extraído fue sometido a modificaciones químicas de esterificación acetilación utilizando ácido acético como el ácido orgánico, glicerina como agente esterificante, y NaOH como neutralizante, lo que resultó en un rendimiento final del biopolímero de $68.01\% \text{ (m/m)} \pm 0.01\% \text{ (m/m)}$.
- Las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del biomaterial obtenido, tales como el módulo de Young de $0.945 \text{ Mpa} \pm 0.001 \text{ Mpa}$, la resistencia térmica hasta $120^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, y la absorción de humedad del $16\% \pm 0.025\%$, fueron evaluadas mediante métodos específicos. Estos resultados sugieren que el biopolímero podría ser adecuado para aplicaciones en embalaje y otros usos comerciales que requieran materiales biodegradables con resistencia a condiciones ambientales variadas.
- El biopolímero producido a partir del polisacárido de Arveja China presenta propiedades distintivas que lo hacen competitivo frente a materiales disponibles en el mercado, como el polipropileno y el polietileno de baja densidad. Su mayor espesor ($0.09 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ frente a $0.015 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ y $0.012 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$, respectivamente) proporciona una resistencia mecánica superior para aplicaciones que requieren durabilidad, como empaques reutilizables. Además, su capacidad de absorción de humedad del 16% ofrece ventajas en aplicaciones biodegradables y agrícolas donde se desea una rápida descomposición en ambientes húmedos. Su resistencia térmica moderada, con pérdida de masa del 5% a 120°C y una temperatura de fusión de 160°C , lo hace adecuado para empaques que requieren resistencia al calor. Estas propiedades sugieren que el biopolímero puede tener aplicaciones

comerciales valiosas en mercados que priorizan la sostenibilidad, la biodegradabilidad y la flexibilidad del material.

- A partir del proceso desarrollado a escala de laboratorio, se propuso un conjunto de operaciones unitarias para su escalamiento a nivel de planta piloto, considerando las etapas principales de: trituración del material vegetal, filtrado en prensa para la separación de sólidos gruesos, sedimentación para la decantación de partículas finas, Centrifugado para la aglomeración y concentración de polisacáridos, secado con tiro inducido para reducir la humedad B.H.(m/m) del material, molienda con molino de discos para obtener un tamaño de partícula adecuado, tamizado para la clasificación del material molido, polimerización del polisacárido en un reactor con un intercambiador de calor previo para ajustar la temperatura, secado final del producido y almacenamiento de este. El transporte de materiales se realiza mediante tornillos sin fin, bandas transportadoras y tuberías de acero inoxidable, lo cual permite un manejo adecuado de los sólidos y líquidos durante el proceso.

X. RECOMENDACIONES

- Desarrollar un modelo matemático integral que incluya estudios cinéticos de las principales etapas del proceso de producción del biopolímero (trituration, filtrado, sedimentación, Centrifugación, secado y polimerización), con el objetivo de simular y optimizar las condiciones operativas para maximizar el rendimiento y la calidad del producto final.
- Realizar estudios comparativos sobre la eficiencia de diferentes métodos de secado y su impacto en las propiedades fisicoquímicas del biopolímero, como la absorción de humedad y la estabilidad térmica, para identificar la técnica más adecuada para su escalado a nivel industrial.
- Se recomienda explorar las posibles mejoras de las características organolépticas, como el color y el olor a ácido acético, en los biopolímeros elaborados a partir de almidón de arveja. Cualquier modificación debe realizarse cuidadosamente para no comprometer las propiedades mecánicas del material, asegurando que las soluciones sean económicas, sostenibles y no afecten su desempeño funcional.
- Evaluar la cinética de la sedimentación en la extracción de polisacáridos de Arveja China, considerando factores como la concentración de sólidos, el tamaño de las partículas, la temperatura y la viscosidad del medio. Permitiendo determinar las condiciones que favorecen una sedimentación más eficiente, reduciendo los tiempos de separación y aumentando la pureza del recuperado, lo cual es fundamental para garantizar la calidad del producto terminado y su potencial aplicación en procesos industriales.
- Evaluar la viabilidad económica y ambiental del escalamiento del proceso a planta piloto, integrando estudios de costos de operación, consumo energético, emisiones y manejo de residuos, para determinar las mejores prácticas que permitan un proceso sostenible y rentable para la producción de biopolímeros a gran escala.
- Evaluar cómo los diferentes parámetros de operación de la Centrifugación, como la velocidad angular, el tiempo de Centrifugado, el tipo de rotor y la temperatura, afectan la pureza y la eficiencia de recuperación del polisacárido extraído.

Permitiendo entender mejor la dinámica de separación de los componentes sólidos y líquidos, identificando las condiciones que minimizan la retención de impurezas y maximizan la calidad del biopolímero, asegurando que el material final cumpla con los requisitos para su posterior modificación química y aplicación industrial.

XI. LITERATURA CITADA

Agencia Sinc. (2016). *Bioplásticos y salsas a partir de residuos de guisantes*. Extraído de: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Bioplasticos-y-salsas-a-partir-de-residuos-de-guisantes>.

AGEXPORT. (2017). *Arveja China*. Extraído de: <http://portal.export.com.gt/Portal/Documents/Documents/2008-10/6250/2090/Ficha31%20-%20Arveja%20China.pdf>

Aguilar, J. (2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. ISSN1819-4087. Extraído de: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193246976001.pdf>

Baranwal, J. (2022). *Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications*. PMID: PMC8912672. Extraído de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8912672/#:~:text=1>

Baranwal, J., Barse, B., Fais, A., Delogu, G. L., & Kumar, A. (2022). *Biopolymer: A sustainable material for food and medical applications*. *Polymers*, 14(5), 983. Extraído de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8912672/#:~:text=1,1>

Bernardi, LA. (2018). *Perfil de las arvejas (Pisum sativum)*. Extraído de: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos/000030_Informes/000040_Legumbres/000012_Perfil%20de%20las%20Arvejas%20-%202017.pdf

Bressani, R. (2023). *Caracterización química y nutricional de la Arveja China natural*. Extraído de: <https://fondo.senacyt.gob.gt/portal/index.php/catalogo/15-codigo/379-35-2007-agropecuaria>

Brust, H., Orzechowski, S., & Fettke, J. (2020). *Starch and glycogen analyses: Methods and techniques*. *Biomolecules*, 10(7), 1020. Extraído de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7407607/#:~:text=Starch%2C%20which%20is%20composed%20of,1%2C%202>

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.

Cano, A., Fortunati, E., Chafer, M. (2015). *Properties and ageing behaviour of pea starch films as affected by blend with poly (vinyl alcohol)*. Materials Engineering Centre, UdR INSTM, University of Perugia, Strada di Pentima 4, 05100 Terni, Italy. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X15000211>

Chen, Y., et al. (2021). Properties and Applications of Biodegradable Polymers in Packaging. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(3), 667-678.

Chorfa, N., Nlandu, H., Belkacemi, K., & Hamoudi, S. (2022). Physical and enzymatic hydrolysis modifications of potato starch granules. *Polymers*, 14(10), 2027. <https://doi.org/10.3390/polym14102027>

Cornago R. (2023). *GLICEROL: SÍNTESIS Y APLICACIONES*. Uned. Extraído de: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ_Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf

DDPS. (2024). *What is the purpose of washing in the filtration process?* Extraído de: <https://www.ddpsinc.com/knowledge/what-is-the-purpose-of-washing-in-the-filtration-proces>

Dziedzic, S. Z., & Kearsley, M. W. (1995). *The technology of starch production. En Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives (pp. 1–25)*. Springer US.
Ebnesajjad, S. (2012). *Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology, and Applications*. William Andrew.

Enriquez, M., Velasco, R., Ortiz, V. (2012). *composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón*. Extraído de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000100021

Fasih, M., et al. (2021). Mechanical properties of biodegradable films. *Journal of Polymer Science*.

FoodTech. (2019). *Manual tecnico harina de arveja*. Extraído de: <https://expo.thefoodtech.com/wp-content/themes/summit-expo/directorio/assets/fichas/186fae23-4a11-42f8-ac90-a7095fba158c.pdf>

Francia, Y., Mamani, A. (2019). *Elaboración de bioplásticos a partir de residuos agrícolas y avícolas en el contexto de la economía circular*. Perú. Universidad César Vallejo. Extraído de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46308>

Galeano, M., Martinez, J. (2019). *Aprovechamiento de la vaina de arveja en el diseño de un proceso productivo para la fabricación de empaques biodegradables gama 4*. Extraído de: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2850/Aprovechamiento%20de%20la%20vaina%20de%20arveja%20en%20el%20diseño%20de%20un%20proceso%20productivo%20para%20la%20fabricación%20d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Garcia, N., et al. (2021). *Comparative Study of Biodegradable and Conventional Plastics: Analysis of Degradation and Properties*. *Polymer Degradation and Stability*, 183, 109394.

Gladys Ruiz (2005). *Polímeros biodegradables a partir del almidón de la yuca*. Extraído de: <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>

Hita Plásticos.(2023).*El crecimiento de la producción y demanda de bioplásticos*. Extraído de: <https://www.plasticoshita.com/noticias/el-crecimiento-de-la-produccion-y-demanda-de-bioplásticos/#:~:text=La%20producción%20de%20bioplásticos%20se,tener%20una%20diferente%20composición%20molecular>.

HOLGUIN, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. Extraído de: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
<https://www.jic.ac.uk/research-impact/our-strategic-research-programmes/harnessing-biosynthesis-for-sustainable-food-and-health-hbio/impact/peas/the-history-of-pea-research-at-the-john-innes-centre/pea-starch-an-alternative-material-to-plastic-2/>

ICAEW. (2021). *Net-zero innovations: making plastic out of peas*. Extraído de: <https://www.icaew.com/insights/viewpoints-on-the-news/2021/dec-2021/netzero-innovations-making-plastic-out-of-peas>

Iresiduo. (2016). *Los residuos de guisantes, materia prima para fabricar bioplásticos y emulsiones alimenticias*. Extraído de: <https://iresiduo.com/noticias/espana/universidad-sevilla/16/08/25/residuos-guisantes-materia-prima-fabricar-bioplásticos>

Jiang, S., et al. (2020). *Mechanical Properties of Natural Polysaccharide-Based Films for Packaging Applications*. *Food Hydrocolloids*, 105, 105774.

Jiménez, G. (2011). *Sustainable Upgrading of Smallholders in Global Agri-food Chains*. Heredia. Extraído de: <http://www.redilacg.org/arveja-gm>

John Innes Centre. (2022). *Pea starch: an alternative material to plastic?*. Extraído de:

Knothe, G., Krahl, J., & Van Gerpen, J. (2015). *The Biodiesel Handbook*. Elsevier.

Lamberti, F., et al. (2022). *Sustainable Packaging Solutions: The Role of Biopolymers*. *Materials Science for Industrial Applications*, 4(1), 56-73.

Latorre-Vásquez, L. I., Mejía-España, D. F., Osorio-Mora, O., y Checa-Coral, Óscar E. (2019). *Cambios fisiológicos de dos variedades de arveja almacenada en diferentes tipos de empaque y temperatura*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1166>

Lingohack. (2020). *Making 'plastic' from peas*. Extraído de: <https://www.bbc.co.uk/learningenglish/features/lingohack/ep-200930>

Mark, J. E. (2007). *Physical Properties of Polymers Handbook*. Springer.

Martinez-Sanz, M., et al. (2020). *Thermal Stability and Barrier Properties of Polysaccharide Films*. Carbohydrate Polymers, 241, 116360.

Ministerio de agricultura, ganaderia y alimnetación. (2018). *Perfil comercial Arveja China*. Extraído de: <https://precios.maga.gob.gt/archivos/perfiles/Perfil%20Arveja%20china.pdf>

Núñez, L., Zambrano, G., & Rossi, C. (2019). *Plásticos biodegradables: terminología y normativa como referencia en el ámbito científico y legislativo*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 38(1), 13-21.

Oliveira, N. R., Fornaciari, B., Mali, S., & Carvalho, G. M. (2018). *Acetylated starch-based nanoparticles: synthesis, characterization, and studies of interaction with antioxidants*. Starch – Stärke, 70(3-4), 1700170.

Payes, j. Ramos V. (2022). *Biopolímeros biodegradables a partir de fuentes de origen vegetal: Revisión Sistemática, 2017-2022*. Lima Perú. Extraído de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105050/Con_RVF-Paye_ZJA%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pesantes, D. Alberca, A. (2021). *Estudio de la obtención de un material poliméricos biodegradable a partir de los desechos de la yuca por adición de agentes plastificantes*. Extraído de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21090/1/UPS-CT009269.pdf>

Pizá, H. Rolando, S. Ramírez, C. Villanueva, S. Zapata, A. (2017). *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*. Extraído de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf

Robalino, P. (2022). *Elaboración de un bioplástico a partir de almidón de arveja amarilla (Vicia lutea) para uso en embalaje de alimentos*. Extraído de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17764/1/96T00807.pdf>

Rodriguez, Xampla, M. (2021). *New plastic alternative made from peas*. Extraído de: <https://www.thenakedscientists.com/articles/interviews/new-plastic-alternative-made-peas>

Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua*. Extraído de: <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>

Singh, A., et al. (2019). *Water Absorption Properties of Biopolymer Films in Food Packaging*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1098-1106.

Vega Britez, G. D., De Vargas Junior, F. M., Retore, M., Leonardo, A. P., Lesmo Duarte, N. D., Velazquez Duarte, J. A., Alvarenga Serafini, J. D., & Da Silva Oviedo, M. O. (2021). *Glicerol en el comportamiento productivo y características de la canal y carne de cabras: un metaanálisis*. *Revista de investigaciones veterinarias del Peru*, 32(3), e18357. Extraído de: <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.18357>

Wang, H., et al. (2021). *Flexible and Transparent Packaging Films: A Review of Properties and Applications*. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 50271.

Wei, L., Zhenzhen, X., Zongqian, W., Xinhua, L., Changlong, L., & Fangtao, R. (2018). *Double etherification of corn starch to improve its adhesion to cotton and polyester fibers*. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 84, 101–107.

Yamid A. Pinchao, Johana C. Andrade y Oswaldo Osorio (2016). *Procesamiento de Arvejas (Pisum sativum L.)*. Parte 4: Optimización del Proceso de Escaldado de Arvejas (*Pisum sativum L.*) Variedades Sureña y Andina en base a la Inactivación de Peroxidasa. Extraído de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000400005

XII. ANEXOS

A. DATOS ORIGINALES

Cuadro 25. Longitud de Vaina de Arveja China (*Pisum sativum*)

No. Vaina de arveja	Longitud (mm) (± 0.01)
1	92.93
2	88.53
3	106.89
4	98.19
5	99.30
6	83.84
7	96.72
8	88.09
9	99.30
10	96.90
11	99.30
12	96.80
13	90.62
14	100.00
15	98.50
16	50.80
17	64.37
18	101.60
19	98.70
20	106.23
21	95.80
22	96.10
23	94.16
24	96.10
25	100.50
26	91.10
27	80.19
28	77.44

No. Vaina de arveja	Longitud (mm) (± 0.01)
29	79.70
30	71.93
31	85.57
32	79.99
33	91.89
34	98.17
35	84.62
36	92.08
37	87.52
38	90.92
39	89.9
40	102.15
41	94.71
42	85.20
43	85.12
44	97.30
45	96.54
46	92.73
47	85.20
48	91.67
49	88.94
50	97.87

Se presentan los valores de longitudes de la materia prima, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Fueron determinadas empleando un Vernier marca Preciso. Se evaluaron 50 unidades debido a la variabilidad que presnetaba entre los datos.

Cuadro 26. Masas de vaina de Arveja China (*pisum sativum*)

No. Vaina de arveja	Peso (g) (± 0.001)
1	5.049
2	4.448
3	3.657
4	3.685

Se presentan los masas de la materia prima empleada, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Masas determinados empleando la balanza analítica ubicada en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 27. Porcentaje de humedad B.H.(m/m) presente en las vainas de Arveja China (*Pisum sativum*).

No. Vaina de arveja	Humedad B.H.(m/m) (%) (± 0.1)
1	87.66
2	84.71
3	86.05
4	83.2

Se presentan los valores de porcentaje de humedad B.H.(m/m) de la materia prima, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Fueron determinadas empleando la balanza de humedad B.H.(m/m) ubicada en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 28. Temperaturas de secado de Arveja China (*Pisum sativum*)

No. Vaina de arveja	Temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) (± 1 $^{\circ}\text{C}$)
1	118
2	120
3	127
4	119

Se presentan las temperaturas de secado de la materia prima empleada, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Temperaturas determinados empleando la balanza de humedad B.H.(m/m) cituada en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 29. Tiempos de secado de Arveja China (*Pisum sativum*)

No. Vaina de arveja	Tiempo de secado (min) (± 5 s)
1	65.3
2	69.4
3	56.11
4	55.03

Se presentan los tiempos de secado de la materia prima empleada, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Temperaturas determinados empleando la balanza de

humedad B.H.(m/m) cituada en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 30. pH Arveja China (*Pisum sativum*)

No. Vaina de arveja	pH (± 0.01)
1	5.55
2	5.31
3	5.20
4	5.17

Se presentan los pH de la materia prima empleada, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Determinado a partir de procedimiento detallado en la sección de metodología ya que al ser un sólido lleva un pretratamiento para determinarlo. pH determinados empleando potenciometro en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 31. Pruebas de presencia de almidón de la Arveja China empleando Lugol

No. Vaina de arveja	Prueba de lugol
1	POSITIVA
2	POSITIVA
3	POSITIVA
4	POSITIVA

Se presentan el estado de las pruebas de lugol elaboradas a la materia prima empleada, siendo la Arveja China (*Pisum sativum*). Determinado a partir de procedimiento detallado en el capítulo de metodología en la sección A. Las pruebas son clasificadas como postivas al presentar una coloración azul en la solución evaluada. En la sección de Bitacora se presenta reultado de prueba realizada.

Cuadro 32. Cantidades iniciales de arveja empleadas y cantidades de polisacárido extraído mediante método de extracción 1.

Corrida	Peso arveja inicial (g)	Peso almidón extraído (g) (± 0.01)
1	123.9	1.96
2	123.8	1.73
3	123.7	1.86
4	123.3	2.11

Se presentan datos de 4 corridas de extracción empleando el método 1 explicado en metodología de los cuales se tomaron los masas de arveja antes de la extracción y del polisacárido obtenido empleando balanza analítica.

Cuadro 33. *Cantidades iniciales de arveja empleadas y cantidades de polisacárido extraído mediante método de extracción 2.*

Corrida	Peso arveja inicial (g)	Peso almidón extraído (g) (± 0.001)
1	123.5	3.369
2	124.24	3.074
3	124.32	3.291
4	124.9	3.656
5	123.44	3.191
6	124.76	3.438

Se presentan datos de 6 corridas de extracción empleando el método 2 explicado en el capítulo de metodología de los cuales se tomaron los masas de arveja antes de la extracción y del polisacárido obtenido empleando balanza analítica.

Cuadro 34. *Cantidades iniciales de arveja empleadas y cantidades de polisacárido extraído mediante método de extracción 3.*

Corrida	Peso arveja inicial (g)	Peso almidón extraído (g) (± 0.001)
1	123.16	4.530
2	124	4.214
3	124.22	4.845
4	123.32	5.673
5	124.11	4.716
6	123.69	4.824
7	123.83	5.077

Se presentan datos de 7 corridas de extracción empleando el método 3 explicado en el capítulo de metodología de los cuales se tomaron los masas de arveja antes de la extracción y del polisacárido obtenido empleando balanza analítica.

Cuadro 35. *Cantidades iniciales de arveja empleadas y cantidades de polisacárido extraído mediante método de extracción 4.*

Corrida	Peso arveja inicial (g)	Peso almidón extraído (g) (± 0.001)
1	300.5	13.812
2	303.8	14.470
3	303.7	15.483
4	311.2	15.965
5	300.6	14.543

Se presentan datos de 5 corridas de extracción empleando el método 4 explicado detalladamente en el capítulo de metodología de los cuales se tomaron los masas de arveja antes de la extracción y del polisacárido obtenido empleando balanza analítica.

Cuadro 36. Características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método de extracción 1.

Propiedad	Corrida	Método 1 (± 0.01)
pH	1	5.67
	2	5.49
	3	5.70
Temperatura de gelatinización (°C)	1	58.32
	2	60.71
	3	61.20
Viscosidad (Cp)	1	841.23
	2	845.67
	3	848.12
Humedad B.H.(m/m) (%)	1	9.14
	2	9.21
	3	9.32

Características fisicoquímicas determinadas mediante métodos descritos en la sección B de metodología para el extracto de polisacárido del método de extracción 1 antes descrito, los valores obtenidos fueron elaborados en triplicado para evidencia científica.

Cuadro 37. Características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método de extracción 2.

Propiedad	Corrida	Método 2 (± 0.01)
pH	1	6.40
	2	6.20
	3	7.10
Temperatura de gelatinización (°C)	1	62.50
	2	64.41
	3	65.32
Viscosidad (Cp)	1	850.34
	2	853.89
	3	855.76
Humedad B.H.(m/m) (%)	1	9.43
	2	9.54
	3	9.65

Características fisicoquímicas determinadas mediante métodos descritos en la sección B de metodología para el extracto de polisacárido del método de extracción 2 antes descrito, los valores obtenidos fueron elaborados en triplicado para evidencia científica.

Cuadro 38. Características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método de extracción 3.

Propiedad	Corrida	Método 3 (± 0.01)
pH	1	6.90
	2	5.30
	3	6.30
Temperatura de gelatinización (°C)	1	66.30
	2	67.70
	3	68.90
Viscosidad (Cp)	1	857.45
	2	860.12
	3	862.98
Humedad B.H.(m/m) (%)	1	9.76
	2	9.87
	3	9.92

Características fisicoquímicas determinadas mediante métodos descritos en la sección B de metodología para el extracto de polisacárido del método de extracción 3 antes descrito, los valores obtenidos fueron elaborados en triplicado para evidencia científica.

Cuadro 39. Características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método de extracción 4.

Propiedad	Corrida	Método 4 (± 0.01)
pH	1	6.80
	2	6.70
	3	6.90
Temperatura de gelatinización (°C)	1	69.40
	2	70.50
	3	67.80
Viscosidad (Cp)	1	868.33
	2	865.44
	3	867.56
Humedad B.H.(m/m) (%)	1	9.99
	2	9.83
	3	9.71

Características fisicoquímicas determinadas mediante métodos descritos en la sección B de metodología para el extracto de polisacárido del método de extracción 4 antes descrito detalladamente en la sección de metodología, los valores obtenidos fueron elaborados en triplicado para evidencia científica.

Cuadro 40. Datos para determinación de % Cenizas para el método 1 de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*)

Peso de objeto	Corrida 1 (± 0.001g)	Corrida 2 (± 0.001g)	Corrida 3 (± 0.001g)
Peso del crisol vacío (g)	20	20	20
Peso del crisol con muestra (g)	21	21	21
Peso final del crisol con cenizas (g)	20.011	20.01	20.009
Masa de cenizas (g)	0.011	0.01	0.009

Masas obtenidas para determinación del porcentaje de cenizas en el polisacárido extraído mediante método 1 de extracción. Las muestras fueron pesadas antes y después de la calcinación en una mufla, siguiendo los pasos de la metodología propuesta, utilizando un crisol cerámico y una balanza analítica, con el fin de calcular la cantidad de residuos inorgánicos presentes en cada muestra, lo cual permite evaluar la pureza del polisacárido obtenido.

Cuadro 41. Datos para determinación de % Cenizas para el método 2 de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*)

Peso de objeto	Corrida 1 (± 0.001g)	Corrida 2 (± 0.001g)	Corrida 3 (± 0.001g)
Peso del crisol vacío (g)	20	20	20
Peso del crisol con muestra (g)	21	21	21
Peso final del crisol con cenizas (g)	20.008	20.007	20.007
Masa de cenizas (g)	0.008	0.007	0.007

Masas obtenidas para determinación del porcentaje de cenizas en el polisacárido extraído mediante método 2 de extracción. Las muestras fueron pesadas antes y después de la calcinación en una mufla, siguiendo los pasos de la metodología propuesta, utilizando un crisol cerámico y una balanza analítica, con el fin de calcular la cantidad de residuos inorgánicos presentes en cada muestra, lo cual permite evaluar la pureza del polisacárido obtenido.

Cuadro 42. Datos para determinación de % Cenizas para el método 3 de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*)

Peso de objeto	Corrida 1 (± 0.001g)	Corrida 2 (± 0.001g)	Corrida 3 (± 0.001g)
Peso del crisol vacío (g)	20	20	20
Peso del crisol con muestra (g)	21	21	21
Peso final del crisol con cenizas (g)	20.006	20.005	20.004
Masa de cenizas (g)	0.006	0.005	0.004

Masas obtenidas para determinación del porcentaje de cenizas en el polisacárido extraído mediante método 3 de extracción. Las muestras fueron pesadas antes y después de la calcinación en una mufla, siguiendo los pasos de la metodología propuesta, utilizando un crisol cerámico y una balanza analítica, con el fin de calcular la cantidad de residuos inorgánicos presentes en cada muestra, lo cual permite evaluar la pureza del polisacárido obtenido.

Cuadro 43. Datos para determinación de % Cenizas para el método 4 de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*)

Peso de objeto	Corrida 1 (± 0.001g)	Corrida 2 (± 0.001g)	Corrida 3 (± 0.001g)
Peso del crisol vacío (g)	20	20	20
Peso del crisol con muestra (g)	21	21	21
Peso final del crisol con cenizas (g)	20.005	20.004	20.003
Masa de cenizas (g)	0.005	0.004	0.003

Masas obtenidas para determinación del porcentaje de cenizas en el polisacárido extraído mediante método 4 de extracción. Las muestras fueron pesadas

antes y después de la calcinación en una mufla, siguiendo los pasos de la metodología propuesta, utilizando un crisol cerámico y una balanza analítica, con el fin de calcular la cantidad de residuos inorgánicos presentes en cada muestra, lo cual permite evaluar la pureza del polisacárido obtenido.

Cuadro 44. Cantidades de reactivos y polisacárido extraído empleado en las 3 formulaciones evaluadas.

Formulación	Polisacárido extraído (g)	Agua destilada (mL)	Glicerina USP 99.5% (mL)	Ácido acético 97.6% v/v (mL)	Hidróxido de sodio 5% m/v (mL)
1	3	40	3	3	0
2	6	40	5	3	0
3	6	40	10	3	20

Cantidades empleadas de reactivos para formulación de biopolímero. Las cantidades iniciales fueron empleadas a partir de biopolímero de yuca empleado como referencia. La variación 2 y 3 fueron buscando el mejor producto terminado. Cantidad de hidróxido de sodio necesaria para neutralizar biomaterial final mediante cálculo de muestra 5.

Cuadro 45. Porcentajes de humedad B.H.(m/m) de biopolímero producido empleando 2 métodos de secado .

Formulación	Tipo de secado	% humedad B.H.(m/m) Corrida 1 (± 0.01)	% humedad B.H.(m/m) Corrida 2 (± 0.01)	% humedad B.H.(m/m) Corrida 3 (± 0.01)
1	Al ambiente	70.75%	70.30%	70.42%
2	Horno de bandejas	34.20%	34.28%	34.24%
3	Horno de bandejas	31.74%	31.79%	31.75%

Porcentajes de humedad B.H.(m/m) resultantes en triplicado de los 3 biopolímeros resultantes. Determinados empleando balanza de humedad B.H.(m/m) del Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Cuadro 46. Masas de reactivos en las formulaciones evaluadas

Formulación	Polisacárido Extraído (g)	Agua destilada	Glicerina (g)	Ácido Acético (g)	NaOH (g)
1	3	40.00	3.74	2.93	0
2	6	40.00	6.23	2.93	0
3	6	40.00	12.46	2.93	2.00

Masas de reactivos empleados en las diversas formulaciones previo a la polimerización. Datos empleados para determinar rendimiento de biopolímero producido. Masas obtenidos empleando balanza analítica OHAUS.

Cuadro 47. Masas de biopolimero producido mediante formulación seleccionada

Formulación	Peso del Biopolímero Final (g) (± 0.01)
3	10.84
3	13.74
3	12.42

Masas de biopolímero producido en triplicado empleando método 4 de extracción de polisacárido de arveja y formulación 3 para polimerizar. Masas determinados empleando balanza analistiva Pioneer de OHAUS. Datos empleados para determinar rendimiento de biopolímero producido.

Cuadro 48. Espesor del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Corrida	Espesor (mm) (± 0.01)
1	0.08
2	0.10
3	0.09

Espesor de biopolímero medido en triplicado empleando biopolímero producido por método 4 de extracción de polisacárido de arveja y formulación 3 para polimerizar. Medida determinada empleando Vernier Preciso.

Cuadro 49. Área del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Corrida	Área (cm²) (± 0.1)
1	2.6 x 2.1
2	2.8 x 2.0
3	2.7 x 2.0

Dimensiones de biopolímero medido en triplicado empleando biopolímero producido por método 4 de extracción de polisacárido de arveja y formulación 3 para polimerizar. Medida determinada empleando Vernier Preciso.

Cuadro 50. Porcentaje de humedad B.H.(m/m) del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Corrida	Porcentaje de Humedad B.H.(m/m) (%) (± 0.01)
1	33.1
2	32.7
3	32.75

Se presentan los valores de porcentaje de humedad B.H.(m/m) en triplicado de biopolímero producido por método 4 de extracción de polisacárido de arveja y formulación 3 para polimerizar. Fueron determinadas empleando la balanza de humedad B.H.(m/m) ubicada en el Laboratorio de operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 51. Resistencia termica del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Temperatura de exposición (°C)	Corrida 1 (g) (± 0.01)	Corrida 2 (g) (± 0.01)	Corrida 3 (g) (± 0.01)
0	12.42	13.74	10.84
10	12.42	13.74	10.84
20	12.42	13.74	10.84
30	12.42	13.74	10.84
40	12.42	13.74	10.84
50	12.42	13.74	10.84
60	12.42	13.74	10.84
70	12.42	13.74	10.84
80	12.42	13.74	10.84
90	12.2	13.47	10.58
100	12.15	13.42	10.54
110	12.1	13.36	10.49
120	11.8	13.05	10.3
130	11.4	12.6	9.9
140	11	12.15	9.5
150	10.6	11.7	9.1
160	10.1	11.2	8.7
170	9.6	10.7	8.3
180	9	10.1	7.9
190	8.4	9.5	7.5
200	7.8	8.9	7

Masas de biopolímero expuesto a diversas temperaturas con el fin de determinar la resistencia termica del biomaterial. Método de evaluación expuesto en el capítulo de metodología. Masas determinados empleando balanza analítica Pioneer OHAUS del Laboratorio de operaciones unitarias.

Cuadro 52. Temperatura de fusión del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Corrida	Temperatura de fusión (°C) (± 1)
1	159
2	161
3	160

Temperatura de fusión (cambios de fase) resultante en triplicado del biopolímero producido por método 4 de extracción de polisacárido de arveja y formulación 3. Temperaturas determinadas mediante termómetro de mercurio Thermco.

Cuadro 53. Masas secas y húmedas posteriores a una sumersión en agua del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Corrida	Peso seco inicial (g) (±0.01)	Peso mojado final (g) (± 0.01)
1	5.00	5.80
2	5.00	5.82
3	5.00	5.78

Masas de biopolímero seco y posterior a sumersión en agua con el fin de determinar la absorción de agua. Método de evaluación expuesto en el capítulo de metodología. Masas determinados empleando balanza analítica Pioneer OHAUS del Laboratorio de operaciones unitarias.

Cuadro 54. Datos originales de las pruebas de tensión aplicadas a biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Peso aplicado (g)	Longitud inicial (cm) (± 0.1)	Longitud final (cm) (± 0.1)
0.4	3.5	3.51
2	3.5	3.55
4	3.5	3.6
8	3.5	3.7
10	3.5	3.75
12	3.5	3.8
15.53	3.5	3.9

Longitud de biopolímero al someterlo a tensión con distintas masas. El biopolímero empleado para la primera corrida era de 3.5x 2.01x0.07 cm (largo x ancho x grosor). Longitud determinada mediante Vernier digital.

Cuadro 55. Tiempos de solubilidad de biopolímero en diversos solventes

Corrida	Tiempo de degradación (minutos)		
	Agua	Aceite	Ácido acético
1	250	No degradación	55
2	240	No degradación	60
3	245	No degradación	65

Tiempo de degradación de biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China, expuesto en 3 solventes; Agua, Aceite de cocina y Ácido acético al 5% v/v. Tiempos medidos empleando cronometro del celular. Procedimiento empleado detallado en la sección de metodología.

Cuadro 56. Valores en triplicado de propiedades de Bolsas cristal (Polipropileno de baja y de alta densidad) marca Surtiplast y Globo

Propiedad	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Espesor (mm) (± 0.001)	0.017	0.013	0.015
Porcentaje de humedad B.H.(m/m) (%) (± 0.1)	0.6	0.4	0.5
Resistencia térmica ($^{\circ}\text{C}$) (± 1)	88	92	90
Temperatura de fusión ($^{\circ}\text{C}$) (± 1)	198 (PP)	202 (PP)	200 (PP)
	174 (PEAD)	176 (PEAD)	175 (PEAD)
Porcentaje de Absorción de agua (%) (± 0.1)	0.7	0.9	0.8

Valores obtenidos a partir de pruebas desarrolladas siguiendo metodología antes expuesta a bolsas de cristal marca Surtiplast con fines de comparar propiedades con las obtenidas del biopolímero fabricado.

Cuadro 57. Valores en triplicado de propiedades de Papel Film marca Diamond

Propiedad	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
Espesor (mm)	0.01	0.014	0.012	0.012 ± 0.002
Porcentaje de Humedad B.H.(m/m) (%) (± 0.01)	0.35	0.25	0.3	0.3 ± 0.05
Resistencia térmica ($^{\circ}\text{C}$) (± 1)	108	112	110	110 ± 2

Propiedad	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
Porcentaje de Absorción de humedad (%) (± 0.01)	0.45	0.55	0.5	0.5 ± 0.05

Valores obtenidos a partir de pruebas desarrolladas siguiendo metodología antes expuesta a papale film marca Diamond con fines de comparar propiedades con las obtenidas del biopolímero fabricado.

Cuadro 58. Cantidades empleadas para la producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido de Arveja China a escala laboratorio.

Operación	Entrada (± 0.001)	Salida (± 0.001)
Remojo	1516.800 g/h arveja	3039.690 g/h arvejas húmedas
	3039.690 g/h agua	1516.800 g/h agua con contaminantes
Triturado	3039.690 g/h arvejas húmedas 12160.310 g/h agua destilada	15200.000 g/h solución arveja
Filtración	15200.000 g/h solución arveja	250.000 g/h de bagazo arveja 14950.000 g/h Solución acuosa
Sedimentación	14950.000 g/h Solución acuosa	64.270 g/h sedimento 14885.730 g/h Solución acuosa residual
Centrifugación	64.270 g/h sedimento	84.270 g/h sedimento aglomerado
	14885.730 g/h Solución acuosa residual	
	100.000 g/h agua destilada	14965.730 g/h Solución acuosa salida
Secado	84.270 g/h sedimento aglomerado	84.270 g/h sedimento seco
	14965.730 g/h Solución acuosa salida	14965.730 g/h Vapor de agua
Molienda		2.000 g/h perdidos de sedimento (polvo disperso)
	84.270 g/h sedimento seco	82.270 g/h sedimento seco molido
Tamizado	82.270 g/h sedimento seco molido	74.270 g/h Polisacárido extraído (superior a mesh 80)
		8.000 g/h Sólidos contaminantes (mayor tamaño de partícula)
Polimerización	74.270 g/h Polisacárido extraído (superior a mesh 80)	774.050 g/h Biopolímero húmedo
	495.120 g/h agua destilada	
	154.130 g/h glicerina	
	38.150 g/h Ácido acético 12.380 g/h de NaOH	
Secado	774.050 g/h Biopolímero húmedo	189.720 g/h Biopolímero seco 584.330 g/h Vapor de agua

Masas determinados en cada fase del proceso durante la experimentación de Enero a Junio de 2024 en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Valores determinados empleando 2 tipos de balanzas: Balanza analítica Pioneer OHAUS y balanza de bandeja 3000 Series OHAUS.

B. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1. Promedio

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Suma de los valores}}{\text{Cantidad de valores}}$$

$$\text{Promedio} = \frac{4.60\% + 4.76\% + 5.10\% + 5.13\% + 4.84\%}{5} = 4.89\%$$

Datos empleados para el cálculo del Cuadro 35 de datos originales (masas antes y después de proceso de extracción por el método 4).

Cálculo 2. Rendimiento de extracción de biopolímero

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso polisacarido extraído}}{\text{Peso arveja inicial}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{13.812g}{300.5g} * 100\% = 4.60\%$$

Datos empleados para el cálculo del Cuadro 35 de datos originales (masas antes y después de proceso de extracción por el método 4).

Cálculo 3. Masa de ceniza presente en polisacárido extraído

$$\text{Masa de ceniza (g)} = (\mathcal{W}_{\text{crisol}} + \text{ceniza}) - \mathcal{W}_{\text{crisol}}$$

Donde:

$$\mathcal{W} = \text{Peso}$$

$$\text{Masa de ceniza (g)} = 20.005g - 20.000g = 0.005g$$

Datos extraídos para el cálculo del Cuadro 35 de datos originales (masas antes y después de proceso de extracción por el método 4).

Cálculo 4. Porcentaje de cenizas presente en polisacárido extraído

$$\text{Porcentaje de ceniza} = \frac{\text{Masa de ceniza (g)}}{\text{Masa inicial de la muestra}} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de ceniza} = \frac{0.005g}{1.000g} * 100 = 0.05\%$$

Datos extraídos del Cuadro 42 (masas de prueba de cenizas en método 3 de extracción de polisacárido) de datos originales de la corrida 2, mismo calculo empleado para los 4 métodos de extracción para las 3 corridas realizadas en cada uno (triplicado).

Cálculo 5. *Cálculo de cantidad de NaOH para neutralizar biopolímero resultante con presencia de ácido acético*

$$\text{masa de ácido acético} = \text{volumen} * \text{densidad} * \text{pureza de reactivo}$$

$$= 3\text{mL} \times 1.05 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 1 = 3.15\text{g}$$

$$\text{moles de ácido acético} = \frac{\text{masa de ácido acético}}{\text{masa molar de ácido acético}}$$

$$= 3.15\text{g} \frac{1\text{mol}}{60\text{g}} = 0.052 \text{ mol de NaOH}$$

$$\text{Molaridad de NaOH} = \frac{\text{concentración solución} \left(\frac{\text{g perlas NaOH}}{\text{ml agua destilada}} \right)}{\text{masa molar de NaOH}}$$

$$\text{Molaridad de NaOH} = \frac{0.1 \frac{\text{g}}{\text{ml}}}{39.997 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.0025 \frac{\text{mol}}{\text{mL}}$$

$$\text{Volumen de NaOH necesario} = \frac{\text{moles de ácido acético a neutralizar}}{\text{molaridad de NaOH}}$$

$$= \frac{0.052 \text{ mol de NaOH}}{0.0025 \frac{\text{mol}}{\text{mL}}} = 23.63\text{mL de NaOH}$$

Datos extraídos del Cuadro 44; cantidades empleadas de reactivos para formulación de biopolímero. Necesario para neutralizar el biopolímero debido a la presencia de ácido acético para la reacción de esterificación.

Cálculo 6. Rendimiento de polimerización de extracto de polisacárido de Arveja China

$$R = \frac{\text{Peso promedio de biopolímeros resultantes}}{\text{Peso resultante de reactivos empleados para producción}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{15.33g}{22.54g} * 100\% = 68.01\%$$

Datos extraídos de los cuadros 46 y 47; masas iniciales y obtenidas luego del proceso de fabricación de biopolímero, Específicamente de la formulación 3.

Cálculo 7. Porcentaje de absorción de agua

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{W_{\text{mojado}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} * 100\%$$

Donde:

$W_{\text{mojado}} = \text{Peso mojado}$

$W_{\text{seco}} = \text{Peso seco}$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{5.80g - 5.00g}{5.00g} * 100\% = 16.00\%$$

Datos extraídos del Cuadro 53; pesos secos y húmedos posterior a una sumersión en agua del biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China. Específicamente de la corrida 1. Mismo cálculo empleado para el triplicado.

Cálculo 8. Porcentaje de masa perdida en prueba de resistencia termica

$$\% \text{ Masa perdida} = \frac{\text{masa inicial a una } (T_n) - \text{masa final } (T_n)}{\text{masa final } (T_n)} * 100\%$$

$$\% \text{ Masa perdida} = \frac{12.42 (@120^{\circ}\text{C}) - 11.80(@120^{\circ}\text{C})}{12.42 (@120^{\circ}\text{C})} * 100\% = 4.99\% \\ = 16.00\%$$

Datos extraídos del Cuadro 51; masa de biopolímero expuesto a diversas temperaturas. Específicamente de la temperatura de 120°C en la corrida 1. Mismo cálculo empleado en cada corrida en todas las temperaturas expuestas cada de 10°C (de 0 a 200)°C

Cálculo 9. Cálculo para determinar la tensión

$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Grosor} = (2.01 * 0.07) \text{cm} = 0.141 \text{cm}^2$$

$$\text{Fuerza aplicada (F)} = \frac{\text{peso aplicado } g}{1000} * \text{Gravedad}$$

$$\text{Fuerza aplicada (F)} = \frac{2g}{1000} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 0.0196N$$

$$\text{Tensión } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{0.0196N}{0.141 * 10^4 m^2} = 10814Pa$$

Donde:

F = fuerza

A = área transversal de la muestra (grosor*ancho)

Datos extraídos de Cuadro 54; longitudes iniciales y finales al aplicar diversos pesos con el sistema del módulo de yong presente en la Figura 46 de la sección de anexos. Específicamente del peso de 2g aplicado.

Cálculo 10. Determinación de la extensión por unidad de longitud (Elongación)

$$\text{Elongación } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

$$\text{Elongación } \epsilon = \frac{0.004m}{0.0035 m} = 0.1143$$

ΔL = Longitud luego de la aplicación de la fuerza al material – la inicial

L_0 = Longitud del material antes de aplicar la fuerza

Datos extraídos de Cuadro 54; longitudes iniciales y finales al aplicar diversos pesos con el sistema del módulo de yong presente en la Figura 46 de la sección de anexos. Específicamente del peso de 2g aplicado.

Cálculo 11. Módulo de Young

$$\text{MÓDULO DE YOUNG} = \frac{\text{Tensión } \sigma}{\text{Elongación } \epsilon} = \frac{10814Pa}{0.1143}$$

$$\text{MÓDULO DE YOUNG} = 9.45 * 10^4 Pa$$

Datos extraídos de Cuadro 54; longitudes iniciales y finales al aplicar diversos pesos con el sistema del módulo de yong presente en la Figura 46 de la sección de anexos. Específicamente del peso de 2g aplicado.

Cálculo 12. Factor de escala

$$\text{Factor de escala} = \frac{\text{Cantidad deseada de biopolímero seco}}{\text{Cantidad obtenida a escala laboratorio de biopolímero seco}}$$

$$\text{Factor de escala} = \frac{2000 \frac{\text{g}}{\text{h}} \text{ de biopolímero serco deseado}}{189.72 \frac{\text{g}}{\text{h}} \text{ de biopolímero obtenido a escala laboratorio}}$$

$$\text{Factor de escala} = 10.54$$

$$\text{Factor de escala} = \frac{2000 \frac{\text{g}}{\text{h}} \text{ de biopolímero serco deseado}}{189.72 \frac{\text{g}}{\text{h}} \text{ de biopolímero obtenido a escala laboratorio}}$$

Escala determinada mediante flujo másico de biopolímero seco obtenido a escala laboratorio en la experimentación desarrollada en el laboratorio de operaciones unitarias y flujo masico de biopolímero seco supuesto para desarrollo de propuesta para futuro escalamiento.

Cálculo 13. Porcentaje de conversión a escala laboratorio de Vaina de arveja en Biopolímero de extracto de polisacárido de arveja

$$\text{Porcentaje de conversión} = \frac{189.72 \text{ g biopolímero seco}}{1516.8 \text{ g vaina arveja}}$$

$$\% \text{ conversión} = 0.125 * 100 = 12.50\%$$

Dato de cantidad de biopolímero seco extraídos del Cuadro 58; balance de masa obtenido a escala laboratorio en la experimentación desarrollada en el laboratorio de operaciones unitarias. Dato de vaina de arveja inicial para el desarrollo de proceso.

Cálculo 14. Porcentaje de conversión a escala laboratorio de biopolímero humedo en Biopolímero seco posterior al secado en horno de bandejas

$$\text{Porcentaje de conversión} = \frac{189.72 \text{ g biopolímero seco}}{774.05 \text{ g biopolímero humedo}}$$

$$\% \text{ conversión} = 0.245100 = 24.50\%$$

Dato extraído de masa antes y después de la operación de secado realizada durante proceso de fabricación de biopolímero a escala laboratorio. Datos presentes en el Cuadro 58 de datos originales.

Cálculo 15. *Masa de biopolímero humedo previo al secado para producir 2,000g/h de biopolímero seco*

$$\text{Masa de biopolímero humedo} = \frac{\text{Cantidad deseada de biopolímero seco} * 100\%}{\text{Porcentaje de conversión a escala laboratorio}}$$

$$\text{Masa de biopolímero humedo} = \frac{2000\text{g} * 100\%}{24.50\%}$$

$$= 8,158.487 \text{ g biopolimero humedo}$$

Dato de % en cálculo de muestra 14 a partir de masa antes y después de la operación de secado realizada durante proceso de fabricación de biopolímero a escala laboratorio. Datos presentes en el Cuadro 58 de datos originales. 2000g supuestos para propuesta para futuro escalamiento de proceso de fabricación.

Cálculo 16. *Presión de Bomba centrífuga propuesta para bombeo de agua de tanque de agua suavizada a intercambiador de calor previo a reactor de polimerización*

$$\text{Presión de Bomba centrífuga} = \rho \cdot g \cdot H$$

$$P \text{ bomb cen} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 3\text{m} = 29.43\text{kPa}$$

donde:

P es la presión generada.

$\rho = 1000\text{kg/m}^3$ (densidad del agua).

$g = 9.81\text{m/s}^2$ (aceleración debida a la gravedad).

H= 3 m (altura total de bombeo, supuesto considerando para planta piloto)

Cálculo 17. Dimensionamiento de Centrifuga propuesta

$$G = \frac{1.118 \times r \times (\text{RPM})^2}{1000} = \frac{1.118 \times 15 \times (3500)^2}{1000} = 205,950$$
$$\Sigma = \frac{Q}{G * v}$$
$$Q = 15,049.73 \frac{\text{g}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 15,049.73 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 4.18 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$
$$\Sigma = \frac{4.18 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{205,950 * 0.0005 \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = 0.0406 \text{cm}^2$$

donde:

r es el radio del rotor en centímetros.

RPM son las revoluciones por minuto de la centrifuga

Q es el caudal volumétrico en cm³/s

v es la velocidad de sedimentación de las partículas, que depende de sus propiedades y del líquido.

Dado que estás trabajando con partículas como el almidón y polisacáridos en suspensión, se necesita una **centrifuga de sedimentación**.

Centrifugas de tambor continuo: Ideales para manejar grandes volúmenes de líquidos con sólidos en suspensión, como en tu caso con una gran cantidad de solución acuosa residual.

Centrifugas decantadoras: Perfectas para la separación continua de sólidos y líquidos.

Cálculo 18. Presión de bomba de desplazamiento positivo para bombeo de solución acuosa con sedimento previo a entrar a la Centrifuga

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2} = 0.02 * \frac{500\text{m}}{0.1\text{m}} * \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2^2}{2} = 200\text{kPa}$$

donde:

ΔP es la caída de presión generada (Pa o kPa).

f = es el factor de fricción (f=0.02 para una tubería lisa)

L= 500 m (longitud de la tubería supuesto considerando para planta piloto).

D = 0.1 m (diámetro interno de la tubería)

P =1000 kg/m³ (densidad de la solución acuosa de la sedimentación).

V = 2 m/s (velocidad del flujo supuesto considerando para planta piloto).

Cálculo 19. Presión propuesta para filtro de prensa

$$\Delta P = \frac{Q * \mu * L}{A * K}$$

$$P = \frac{0.01 * 0.001 * 0.01}{1 * 1 \times 10^{-12}} * 100 \text{ kPa} = \text{menos de 1 atm}$$

Donde:

Q = 0.01 m³/s

μ = 0.001 Pa·s

L = 0.01 m

A = 1 m²

K = 1 × 10⁻¹² m²

*Empleando ecuación de Darcy para flujo a través de medio poroso

Cálculo 20. Presión de sedimentador propuesta

$$\text{Presión de sedimentador} = \rho \cdot g \cdot H = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m} = 9.81 \text{ kPa}$$

donde:

P es la presión generada (Pa o kPa).

ρ = 1000 kg/m³ (densidad del agua).

g = 9.81 m/s² (aceleración debida a la gravedad).

H = 3 m (altura total de bombeo, supuesto considerando para planta piloto)

Cálculo 21. Energía necesaria para calentar el agua

Flujo de agua que entra a reactor de polimerización = 5218.56 kg/h

Temperatura inicial = 25°C

Temperatura final = 80°C

Calor específico del agua = 4.186kJ/kg°C

$$Q = m * c * (T_f - T_i)$$
$$Q = 5218.56 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4.186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (80 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q = 1,202,866 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Temperaturas necesarias para llevar el proceso de polimerización, 25°C (temperatura del agua de grifo) y 80°C temperatura de gelatinización de polisacárido determinado en los cuadros 36, 37, 38 y 39 de cada corrida y método desempeñado.

Cálculo 22. Flujo de vapor saturado necesario propuesto

Calor latente de vaporización del agua (λ) = 2257 kJ/kg

$$\text{Flujo masico de vapor} = \frac{Q \text{ calentar agua}}{\lambda} = \frac{1,202,866 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 533 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

*Flujo de agua condensada igual que el vapor, supuesto que todo el vapor se condensa

Cálculo 23. Energía total requerida del combustible

Eficiencia de caldera $\eta = 85\%$

$$\text{Energía requerida de combustible (Qcomb)} = \frac{Q \text{ calentar agua}}{\eta}$$

$$Q_{\text{comb}} = \frac{1,202,866 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{0.85} = 1,415,137 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Cálculo 24. Flujo de combustible para caldera propuesto

Poder calorífico del diesel = 50,000 kJ/ kg (Perry)

$$\text{Flujo masico de combustible} = \frac{Q_{\text{comb}}}{PC_{\text{comb}}} = \frac{1,202,866 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{50,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 28.3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Cálculo 25. *Energía consumida por equipos en proceso de producción de biopolímero a escala laboratorio*

$$\text{Energía (Wh)} = \text{Potencia (W)} * \text{Tiempo de uso (h)}$$

$$\text{Energía de trituración (Wh)} = 700W * \left(15\text{min} * \frac{1\text{hora}}{60\text{min}}\right) = 175Wh$$

Energía consumida por licuadora Oster con potencia de 700W en 15 minutos de uso (5 corridas de 3 minutos cada una, considerando que la capacidad máxima de la licuadora es de 300g de arveja por corrida).

Mismo cálculo empleado para todos los equipos con suministro eléctrico. Datos de potencia y tiempos empleados en el Cuadro 81 de la sección de datos obtenidos en anexos. Diagrama de operaciones con balance de energía en la Figura 5 de la sección de resultados.

Cálculo 26. *Energía liberada por las reacciones involucradas*

Polimerización:

Energía de reacción de esterificación de polisacárido de Arveja China:

$$\text{moles de ácido acético} = \frac{38.150g}{60.05 \frac{g}{\text{mol}}} = 0.635 \text{ moles de ácido que rxn}$$

$$\text{Energía de esterificación} = 0.635\text{mol} * \left(-25 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) = -15.88\text{kJ}$$

$$= -15.88\text{k} * 0.00027778 \frac{\text{Wh}}{\text{kJ}} = -4.412\text{Wh}$$

Energía de reacción de neutralización de biopolímero ácido con solución de NaOH al 10% m/v:

$$\text{moles de ácido acético} = \frac{38.150g}{60.05 \frac{g}{mol}} = 0.635 \text{ moles de ácido que rxn}$$

$$\text{moles de NaOH} = \frac{1.238g}{40.00 \frac{g}{mol}} = 0.03095 \text{ moles de NaOH que rxn}$$

$$\text{Reactivo limitante} = \text{NaOH} = 0.03095 \text{ moles de NaOH que rxn}$$

$$\text{Calor de neutralización} = 0.03095 \text{ mol NaOH} * \left(-57 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) = -1.764 \text{ kJ}$$

$$= -1.764 \text{ kJ} * 0.00027778 \frac{\text{Wh}}{\text{kJ}} = -0.4905 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía en polimerización} = (-0.4905 \text{ Wh}) + (-4.412 \text{ Wh}) = -4.902 \text{ Wh}$$

Disolución NaOH en agua destilada:

$$\text{Masa de NaOH puro} = 12.38g * \frac{10}{100} = 1.238g \text{ puros}$$

$$\text{moles de NaOH} = \frac{1.238g}{40.00 \frac{g}{mol}} = 0.03095 \text{ moles de NaOH que rxn}$$

$$\text{Calor de disolución} = 0.03095 \text{ moles de NaOH} * \left(-44.51 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) = -1.378 \text{ kJ}$$

$$= -1.3784 \text{ kJ} * 0.00027778 \frac{\text{Wh}}{\text{kJ}} = -0.383 \text{ Wh}$$

Energía liberada por reacciones exotérmicas involucradas en proceso de producción de biopolímero. Datos de entalpía y condiciones empleados en el Cuadro 82 de la sección de datos obtenidos en anexos. Diagrama de operaciones con balance de energía en la Figura 5 de la sección de resultados.

C. DATOS CALCULADOS

Cuadro 59. Promedio de longitud de vaina de Arveja

Cantidad de vainas evaluadas (unidades)	Longitud promedio (cm) (± 0.01)	Longitud máxima (cm) (± 0.01)	Longitud mínima (cm) (± 0.01)
50	91.17	106.89	71.93

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 24, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 60. Promedio de porcentaje de humedad B.H.(m/m) de Vaina de Arveja

No. Vaina de arveja	Humedad B.H.(m/m) (%) (± 0.01)
1	87.66
2	84.71
3	86.05
4	83.2
Promedio	85.41

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 27, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 61. Promedio de peso de Vaina de Arveja

No. Vaina de arveja	Peso (g) (± 0.001)
1	5.049
2	4.448
3	3.657
4	3.685
Promedio	4.21

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 26, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 62. Promedio de tiempo de secado de Vaina de Arveja

No. Vaina de arveja	Tiempo de secado (min) (± 0.01)
1	65.3
2	69.4
3	56.11
4	55.03
Promedio	61.46

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 29, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 63. Promedio de pH de Vaina de Arveja

No. Vaina de arveja	pH (± 0.01)
1	5.55
2	5.31
3	5.20
4	5.17
Promedio	5.31

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 30, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 64. Promedio de temperatura de secado de Vaina de Arveja

No. Vaina de arveja	Temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) (± 1)
1	118
2	120
3	127
4	119
Promedio	121.00

Longitud de arveja promedio a partir de datos originales presentes en el Cuadro. 28, empleando el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio.

Cuadro 65. Rendimiento de extracción de polisacárido mediante método 1

Corrida	Rendimiento (± 0.1)
1	1.6%
2	1.4%
3	1.5%
4	1.7%
Promedio	1.55%

Rendimiento de extracción de polisacárido evaluando el método de extracción 1 expuesto en metodología. Datos calculados a partir de los masas antes y después de la extracción presentes en el Cuadro 32 de la sección de datos originales, empleando el cálculo 2 de la sección cálculos de muestra. Además se presenta el promedio de estos obtenido mediante cálculo de muestra 1.

Cuadro 66. Rendimiento de extracción de polisacárido mediante método 2

Corrida	Rendimiento (± 0.1)
1	2.7%
2	2.5%
3	2.6%
4	2.9%
5	2.6%
6	2.8%
Promedio	2.69%

Rendimiento de extracción de polisacárido evaluando el método de extracción 2 expuesto en metodología. Datos calculados a partir de los masas antes y después de la extracción presentes en el Cuadro 33 de la sección de datos originales, empleando el cálculo 2 de la sección cálculos de muestra. Además se presenta el promedio de estos obtenido mediante cálculo de muestra 1.

Cuadro 67. Rendimiento de extracción de polisacárido mediante método 3

Corrida	Rendimiento (± 0.1)
1	3.7%
2	3.4%
3	3.9%
4	4.6%
5	3.8%
6	3.9%
7	4.1%
Promedio	3.91%

Rendimiento de extracción de polisacárido evaluando el método de extracción 3 expuesto en metodología. Datos calculados a partir de los masas antes y después de la extracción presentes en el Cuadro 33 de la sección de datos originales, empleando el cálculo 2 de la sección cálculos de muestra. Además se presenta el promedio de estos obtenido mediante cálculo de muestra 1.

Cuadro 68. Rendimiento de extracción de polisacárido mediante método 4

Corrida	Rendimiento (± 0.01)
1	4.60%
2	4.76%
3	5.10%
4	5.13%
5	4.84%
Promedio	4.89%

Rendimiento de extracción de polisacárido evaluando el método de extracción 4 expuesto en metodología. Datos calculados a partir de las masas antes y después de la extracción presentes en el Cuadro 33 de la sección de datos originales, empleando el cálculo 2 de la sección de cálculos de muestra. Además se presenta el promedio de estos obtenido mediante cálculo de muestra 1.

Cuadro 69. Porcentaje de cenizas para los 4 métodos de extracción de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*)

Propiedad	Corrida	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
Cenizas (%) (± 0.01)	1	0.11	0.08	0.06	0.05
	2	0.10	0.07	0.05	0.04
	3	0.09	0.07	0.04	0.03

Porcentaje de cenizas presentes en el extracto de polisacárido evaluando en los 4 métodos de extracción expuesto en metodología. Datos calculados a partir de las masas presentes en los cuadros 40, 41, 42 y 43 de la sección de datos originales empleando el cálculo 3 y 4 de la sección cálculos de muestra.

Cuadro 70. Características fisicoquímicas del polisacárido extraído por el método de extracción 4 (seleccionado ya que maximiza el rendimiento de extracción)

Propiedad	Valor promedio obtenido	Desviación estándar
pH (± 0.01)	6.80	0.100
Temperatura de gelatinización °C (± 0.01)	69.23	1.358
Viscosidad Cp (± 0.01)	867.11	1.497
Humedad B.H.(m/m) % (± 0.01)	9.84	0.140
Cenizas % (± 0.01)	0.04	0.009

Valores de características fisicoquímicas promedio del polisacárido extraído por el método de extracción 4, datos calculados a partir de los cuadros de datos originales de cada método de extracción presentes en los cuadros 36 al 43 de la sección de datos originales y el cálculo de muestra 1 de determinación de promedio y cálculo 25 para determinación de desviación estándar.

Cuadro 71. Porcentaje de humedad B.H.(m/m) promedio para cada biopolímero producido a partir de las formulaciones antes presentadas y desviación estándar de los valores obtenidos.

Formulación	Promedio (± 0.01)	Desviación estándar
1	70.49%	0.25
2	34.24%	0.06
3	31.76%	0.03

Porcentajes de humedad B.H.(m/m) promedio de cada variante de biopolímero producido mediante su respectiva formulación. Determinado mediante balanza de humedad B.H.(m/m) ubicada en el Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Datos determinados empleando cálculo de muestra 1 para obtención de promedios y cálculo 25 para para determinación de desviación estándar.

Cuadro 72. Rendimiento de polimerización de extracto de polisacárido de Arveja China

Peso solución de Biopolímero sin agua (g) (± 0.01)	Peso promedio de biopolímero seco (± 0.01)	Rendimiento de biopolímero de extracto de polisacárido (%) (± 0.01)	Desviación estándar (g)
22.54	15.33	68.01%	1.074

Rendimiento de extracción de polisacárido evaluando la formulación 3 expuesto detalladamente en metodología. Datos calculados a partir de los masas antes y después de la polimerización presentes en los cuadros 46 y 47 de la sección de datos originales, empleando el cálculo 6 de la sección cálculos de muestra. Además se presenta el promedio de estos obtenido mediante cálculo de muestra 1 y cálculo 25 para para determinación de desviación estándar.

Cuadro 73. Porcentajes de absorción promedio en triplicado de biopolímero producido

Corrida	Porcentaje de absorción de agua (%) (± 0.01)	Desviación Estándar (%)
1	15.8	0.02
2	16.3	0.02
3	15.9	0.02
Promedio	16.0	0.02

Porcentajes de absorción de agua promedio en triplicado del biopolímero producido mediante su respectiva formulación 3. Datos determinados empleando masas antes y después de la sumersión en agua presentes en el cuadro 53 y el cálculo 7 de determinación de % de absorción, además del cálculo de muestra 1 para obtención de promedios y cálculo 25 para para determinación de desviación estándar.

Cuadro 74. Porcentajes de masa perdida de biopolímero producido en triplicado debido a exposición a diversos grados de temperatura

Temperatura (°C)	Corrida 1 (% masa perdida) (± 0.01)	Corrida 2 (% masa perdida) (± 0.01)	Corrida 3 (% masa perdida) (± 0.01)
0	12.42	13.74	10.84
10	0.00%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%
30	0.00%	0.00%	0.00%
40	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.00%	0.00%	0.00%
60	0.00%	0.00%	0.00%
70	0.00%	0.00%	0.00%
80	0.00%	0.00%	0.00%
90	-1.77%	-1.97%	-2.40%
100	-2.17%	-2.33%	-2.77%
110	-2.58%	-2.77%	-3.23%
120	-4.99%	-5.02%	-4.98%
130	-8.21%	-8.30%	-8.67%
140	-11.43%	-11.57%	-12.36%
150	-14.65%	-14.85%	-16.05%
160	-18.68%	-18.49%	-19.74%
170	-22.71%	-22.13%	-23.43%
180	-27.54%	-26.49%	-27.12%
190	-32.37%	-30.86%	-30.81%
200	-37.20%	-35.23%	-35.42%

Porcentajes de masa perdida en triplicado del biopolímero producido mediante su respectiva formulación 3 debido a exposición a diversas temperaturas. Datos determinados empleando masas después de la aplicación a temperaturas presentes en 51y el cálculo 8 de determinación de % de masa perdida. Fue tomado el valor de temperatura al momento que la perdida se iguale o supere el 5%, al ser menor a esto se considero despreciable, además del cálculo de muestra 1 para obtención de promedios.

Cuadro 75. Valores promedio de propiedades evaluadas del biopolímero producido

Propiedades	Valor promedio obtenido	Desviación estándar
Espesor (± 0.01)	0.09 mm	0.001 mm
Area (± 0.1)	2.7x2.0 cm	0.1 cm
Porcentaje de humedad B.H.(m/m)	32.85%	0.02%
Resistencia termica (perdida del 5% de masa) (± 1)	120°C	1.5°C
Temperatura de fusión (± 1)	160°C	1.5 °C
Porcentaje de absorción de humedad B.H.(m/m) (± 0.01)	16.00%	0%

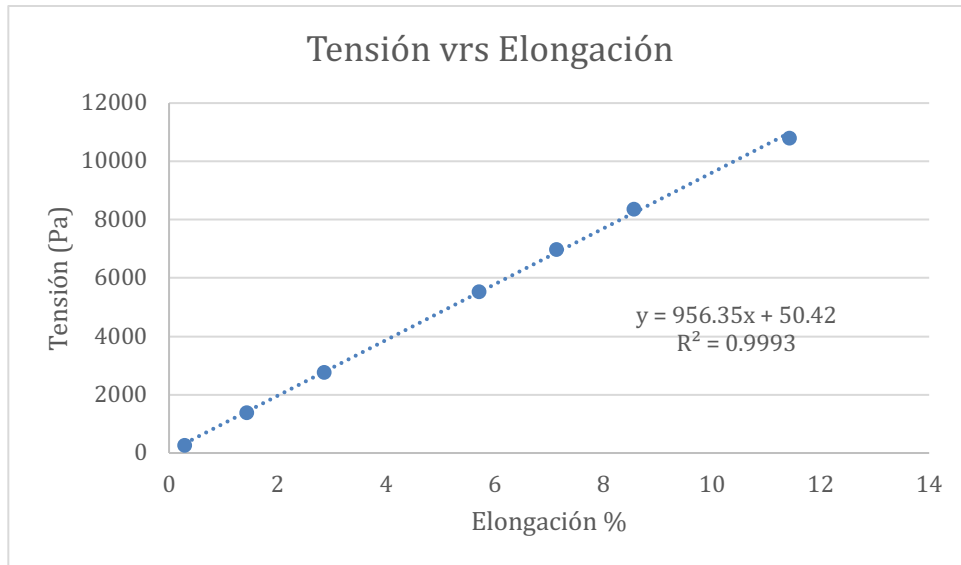
Valores promedio propiedades evaluadas al biopolímero producido, datos presentes en los cuadros 48 al 53 de datos originales, empleando el cálculo 7 y 8 de la sección de calculos de muestra, demás del cálculo de muestra 1 para obtención de promedios y cálculo 25 para para determinación de desviación estándar.

Cuadro 76. Pruebas de tensión aplicadas a biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China

Masas aplicados (g)	Fuerza (N) (± 0.0001)	Deformación (ΔL) (cm) (± 0.01)	Tensión (σ) (Pa) (± 1)	Elongación (%) (ϵ) (± 0.01)	Módulo de Young (Pa) (± 0.01)
0.4	0.0039	0.01	277	0.29	9.48×10^5
2	0.0196	0.05	1390	1.43	9.72×10^5
4	0.0392	0.10	2770	2.86	9.69×10^5
8	0.0784	0.20	5540	5.71	9.70×10^5
10	0.0981	0.25	6982	7.14	9.78×10^5
12	0.1177	0.30	8376	8.57	9.77×10^5
15.53	0.1522	0.40	10814	11.43	9.45×10^5

Valores determinados a partir de pruebas de tensión aplicadas a un biomaterial de 3.5cm de largo *2.01 de ancho *0.07 de grosor, fueron empleados los calculos 9, 10 y 11 de la sección de calculos de muestra a partir de dador originales del Cuadro 54 con las masas empleadas y los estiramientos probocados en el material.

Figura 10. Tensión vs elongación del biopolímero sometido a pruebas de tensión



(Fuente: Elaboración propia mediante Microsoft Excel)

La pendiente de la gráfica representa el Módulo de Young (Pa). Las líneas representan una tendencia suavizada, los puntos corresponden a los datos experimentales. Datos de masas empleadas y estiramientos del biomaterial presentes en el Cuadro 54 de datos originales. Los cálculos 9 y 10 fueron empleados para determinar tanto la tensión como la elongación.

Cuadro 77. Tiempos promedios de solubilidad de biopolímero en diversos solventes

Solvente	Tiempo de degradación promedio (minutos)
Agua	240
Aceite de girasol de cocina	No degradación
Ácido acético 5% (v/v)	60

Tiempo de degradación promedio a partir de triplicado del Cuadro 55 de datos originales de biopolímero producido a partir de extracto de polisacárido de Arveja China, expuesto en 3 solventes; Agua, Aceite de cocina y Ácido acético al 5% v/v. Procedimiento empleado detallado en la sección de metodología.

Cuadro 78. Valores promedio de propiedades de plásticos contaminantes evaluados

Tipo de polímero	Bolsa cristal (Polipropileno, PEAD)	Papel film (PEBD)
Propiedades	Valor promedio obtenido	Valor promedio obtenido
Espesor	0.015 mm \pm 0.002	0.012 mm \pm 0.002
Área	N/A	N/A
Porcentaje de humedad B.H.(m/m)	0.5% \pm 0.1	0.30% \pm 0.05
Resistencia térmica (pérdida del 5% de masa)	90°C \pm 1°C	110°C \pm 1°C
Temperatura de fusión	200°C (PP) / 175°C (PEAD)	115°C
Porcentaje de absorción de agua	0.8% \pm 0.1	0.50% \pm 0.05

Valores promedio propiedades evaluadas a 2 plásticos contaminantes para comparar el biopolímero producido, datos presentes en el cuadro 57 de datos originales, empleando el cálculo 7 y 8 de la sección de cálculos de muestra, además del cálculo de muestra 1 para obtención de promedios y cálculo 25 para determinación de desviación estándar.

Cuadro 79. Balance de masa con el objetivo de producir 2,000g/h de biopolímero de extracto de polisacárido de arveja seco a partir de balance de masa a escala laboratorio desarrollado de forma experimental

Operación	Entrada (± 0.001)	Salida (± 0.001)
Remojo	15987.07 g/h arveja	32038.33 g/h arvejas húmedas
	32038.33 g/h agua	15987.07 g/h agua con contaminantes
Triturado	32038.33 g/h arvejas húmedas	160208.00 g/h solución arveja
	128169.67 g/h agua destilada	
Filtración	160,208.00 g/h solución arveja	2635.00 g/h de bagazo arveja
		157573.00 g/h solución acuosa
Sedimentación	157573.00 g/h solución acuosa	677.40 g/h sedimento
		156895.59 g/h solución acuosa residual
Centrifugación	677.41 g/h sedimento	888.21 g/h sedimento aglomerado
	156895.59 g/h solución acuosa residual	
	1054.00 g/h agua destilada	157738.79 g/h solución acuosa salida
Secado	888.21 g/h sedimento aglomerado	888.21 g/h sedimento seco
	157738.79 g/h solución acuosa residual con aglomerado	157738.79 g/h vapor de agua
Molienda		21.080 g/h perdidos de sedimento (polvo disperso)
	888.20 g/h sedimento seco	867.126 g/h sedimento seco molido
Tamizado	867.12 g/h sedimento seco molido	782.80 g/h polisacárido extraído (superior a mesh 80)
		84.32 g/h sólidos contaminantes (mayor tamaño de partícula)
Polimerización	782.806 g/h polisacárido extraído (superior a mesh 80)	8158.487 g/h biopolímero húmedo
	5218.56 g/h agua destilada	
	1624.53 g/h glicerina	
	402.10 g/h ácido acético	
Secado	8158.48 g/h biopolímero húmedo	1999.64 g/h biopolímero seco
		6158.83 g/h vapor de agua

Valores de entradas y salidas en cada operación unitaria propuesta para futuro escalamiento a nivel planta piloto. La base de cálculo corresponde a producir 2000g/h de biopolímero de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*). Los valores fueron obtenidos mediante los porcentajes de conversión en cada operación desarrollada a escala laboratorio

para la obtención del biomaterial. Los datos originales empleados corresponden a las masas obtenidos en el cuadro 58 de datos originales y fueron escalados mediante los cálculos de muestra 12, 13, 14 y 15.

Cuadro 80. Balance de masa con el objetivo de producir 2,000g/h de biopolímero de extracto de polisacárido de arveja seco a partir de balance de masa a escala laboratorio desarrollado de forma experimental en kg/h

Operación	Entrada (± 0.001)	Salida (± 0.001)
Remojo	15.987 kg/h arveja	32.038 kg/h arvejas húmedas
	32.038 kg/h agua	15.987 kg/h agua con contaminantes
Triturado	32.038 kg/h arvejas húmedas	160.208 kg/h solución arveja
	128.170 kg/h agua destilada	
Filtración	160.21 kg/h solución arveja	2.635 kg/h de bagazo arveja
		157.573 g/h solución acuosa
Sedimentación	157.573 kg/h solución acuosa	0.677 kg/h sedimento
		156.896 kg/h solución acuosa residual
Centrifugación	0.677 kg/h sedimento	0.888 kg/h sedimento aglomerado
	kg/h solución acuosa residual	kg/h solución acuosa residual con aglomerado
	156.896 residual	
Secado	1.054 kg/h agua destilada	157.739 kg/h solución acuosa salida
	0.888 kg/h sedimento aglomerado	0.888 kg/h sedimento seco
Molienda	kg/h solución acuosa residual con aglomerado	kg/h vapor de agua
	0.888 kg/h sedimento seco	0.021 kg/h sedimento perdido (polvo disperso)
Tamizado	kg/h sedimento seco molido	0.867 kg/h sedimento seco molido
	0.867 molido	0.783 kg/h polisacárido extraído (superior a mesh 80)
Polimerización		0.084 kg/h sólidos contaminantes (mayor tamaño de partícula)
	kg/h polisacárido extraído (superior a mesh 80)	8.158 kg/h biopolímero húmedo
	0.783 (superior a mesh 80)	
	5.219 kg/h agua destilada	
	1.625 kg/h glicerina	
Secado	0.402 kg/h ácido acético	
	0.130 kg/h de naoh	
Secado	8.158 kg/h biopolímero húmedo	2.000 kg/h biopolímero seco
		6.159 kg/h vapor de agua

Mismos valores de entradas y salidas en cada operación unitaria propuesta para futuro escalamiento a nivel planta piloto, pero en **kg/h**. La base de cálculo corresponde a producir

2kg/h de biopolímero de polisacárido de Arveja China (*Pisum sativum*). Los valores fueron obtenidos mediante los porcentajes de conversión en cada operación desarrollada a escala laboratorio para la obtención del biomaterial. Los datos originales empleados corresponden a los masas obtenidos en el Cuadro 58 de datos originales y fueron escalados mediante los cálculos de muestra 12, 13, 14 y 15.

Cuadro 81. Energía consumida por equipos involucrados en el proceso de fabricación de biopolímero de arveja a escala laboratorio.

Operación	Equipo	Potencia (W)	Tiempo de uso (h)	Energía (Wh)
Trituración	Licuada Oster	700	0.25	175.00
Secado	Desecador DV-1020	100	18	1,800.00
Molienda	Molino eléctrico de café	200	0.417	83.33
Centrifugación	Centrifugadora Sorvall RT7	1250	2	2,500.00
Polimerización	Estufa	1242	0.25	336.50
	Agitador magnetico	104	0.25	
Tamizaje	Tamizadora WS TYLER RO-TAP RX-29	500	0.25	125.00

Datos obtenidos a partir de cálculo de muestra 25, determinación de energía empleada por los equipos de operaciones involucradas en el proceso de producción de biopolímero. Valores presentes en el diagrama de proceso con balance de masa y energía de la sección de resultados.

Cuadro 82. Energía liberada por reacciones exotermicas involucradas en el proceso de fabricación de biopolímero de arveja a escala laboratorio.

Operación	Reacción	Entalpía de rxn (kJ/mol)	Moles de rxn	Energía de reacción (kJ)	Energía de reacción (Wh)	Energía de reacción total (Wh)
Polimerización	Esterificación	-25	0.635	-15.883	-4.412	-4.902
	Neutralización	-57	0.031	-1.764	-0.490	
Solución NaOH	Disolución NaOH	-44.51	0.031	-1.378	-0.383	-0.383

Datos obtenidos a partir de cálculo de muestra 26, determinación de energía liberada por la reacción exotérmica involucrada en el proceso de producción de biopolímero. Valores empleados en el diagrama de proceso con balance de masa y energía de la sección de resultados.

D. ANÁLISIS DE ERROR

Cálculo 27. Desviación estándar

$$S = \pm \sqrt{\frac{(x - A)^2 + (x - B)^2 + (x - C)^2}{n - 1}}$$

Donde:

$x =$ promedio triplicado

$A =$ medida A

$B =$ medida B

$C =$ medida C

$$(\sigma) = \sqrt{\frac{(34.20 - 34.24)^2 + (34.28 - 34.24)^2 + (34.24 - 34.24)^2}{3}} = 0.0327$$

*Empleando porcentajes de humedad B.H.(m/m) para formulación 2 como muestra

Cálculo 28. Incertidumbre sumas y restas

$$\Delta Y = \sqrt{(\Delta A)^2 + (\Delta B)^2 + (\Delta C)^2}$$

Donde:

$\Delta Y =$ incertidumbre de la suma o resta

$\Delta A =$ incertidumbre medida A

$\Delta B =$ incertidumbre medida B

$\Delta C =$ incertidumbre medida C

$$\Delta Y = \sqrt{(0.002mm)^2 + (0.002mm)^2 + (0.002mm)^2} = 0.0035mm$$

*Empleando datos de espesor de biopolímero como muestra

Cálculo 29. Multiplicación y división

$$\Delta Y = Y * \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2}$$

Donde:

$\Delta Y =$ incertidumbre de la multiplicación o división

$\Delta A =$ incertidumbre medida A

$\Delta B =$ incertidumbre medida B

$\Delta C =$ incertidumbre medida C

$Y =$ i multiplicación o división

$A =$ medida A

$B =$ medida B

$C =$ medida C

$$\Delta Y = \frac{200^{\circ}C + 175^{\circ}C}{2} * \sqrt{\left(\frac{2}{200^{\circ}C}\right)^2 + \left(\frac{2}{175^{\circ}C}\right)^2} = 3^{\circ}C$$

*Empleando datos de temperaturas de fusión como muestra

E. FOTOGRAFÍAS DE EXPERIMENTACIÓN

Fotografías de fuente propia documentado toda la experimentación realizada para la evaluación de la producción de biopolímero a partir de extracto de polisacárido.

Figura 11. Medición de longitud de arveja



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 12. Determinación de tiempo y temperatura de secado de vaina de arveja empleando balanza de %humedad



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 13. Determinación de porcentaje de humedad B.H.(m/m) de vaina de arveja



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 14. Pesaje de vainas de arvejas necesarias para el método de extracción



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 15. Trituración de arvejas con agua destilada en Licuadora Oster en Laboratorio de operaciones Unitarias



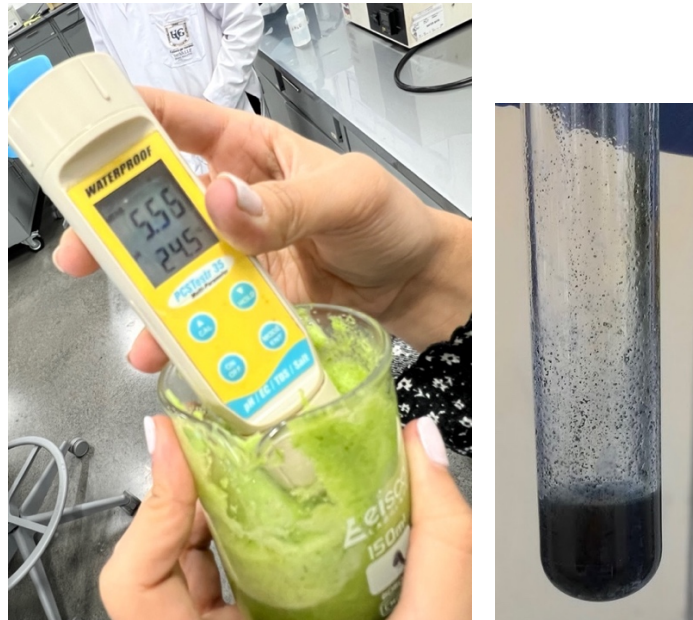
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 16. Filtrado de solución triturada de arveja empleando papel filtro (método de extracción I)

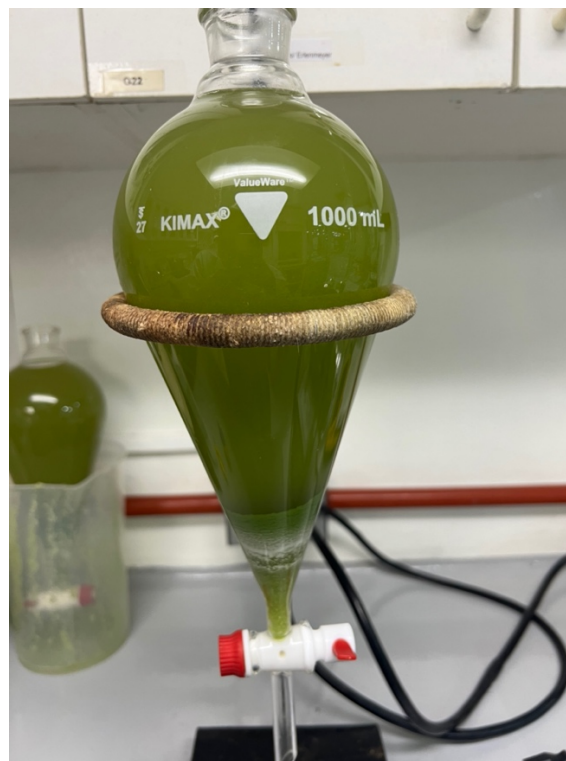


(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 17, Medición de pH y prueba de presencia de almidón con lugol a solución de arveja triturada

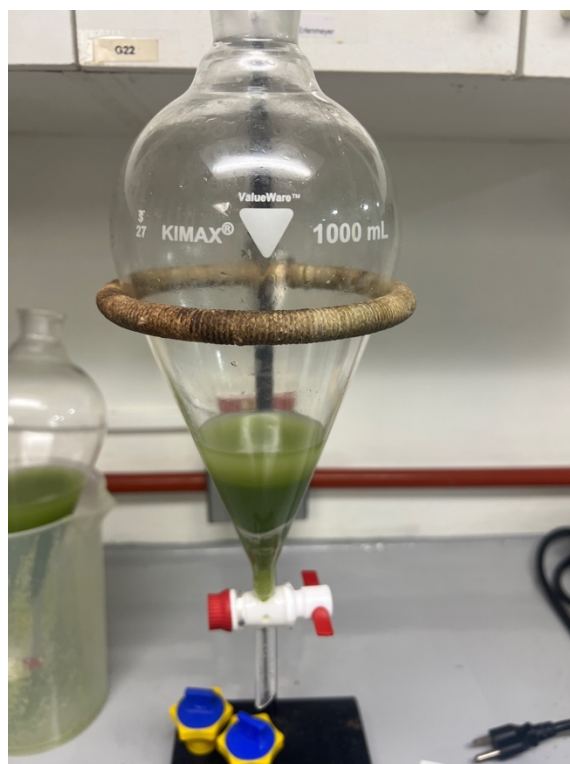


(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)
Figura 18. Sedimentado en ampolla de decantación (método de extracción 1)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 19. Sólidos sedimentados en ampolla de decantación (método de extracción 1)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle)

Figura 20. Almacenamiento de solución sedimentada en frascos de vidrios previo al secado.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 21. Almidón sedimentado en el fondo del frasco de vidrio almacenado.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 22. Secado parcial de polisacárido extraído en método 1 (Presentó una coloración y olor extraño- Caramelizado)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 23. Alternativa de filtrado de fibra (papel filtro no permitio paso, se saturo en poco tiempo)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 24. Secado total de extracto de polisacárido (textura, olor y color extraño: ceras adicionadas en filtro de manta)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 25. Peso de arveja empleada para siguiente método de extracción



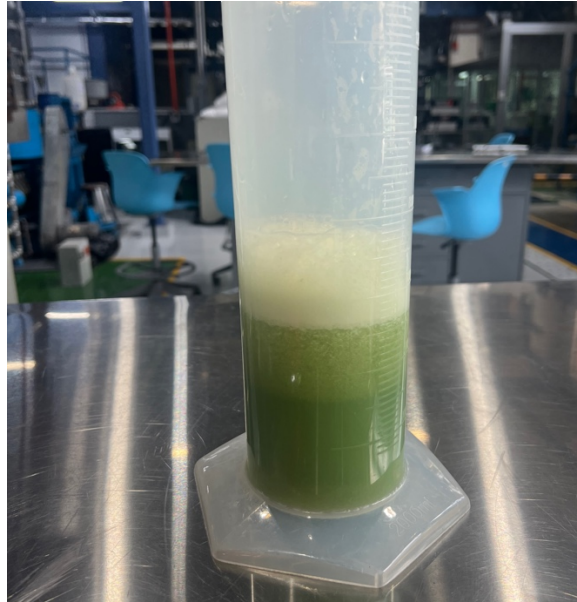
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 26. Trituración de arvejas para siguiente método de extracción



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 27. Sedimentación de solución de arveja posterior a filtrado



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 28. Centrifugación de solución sedimentada



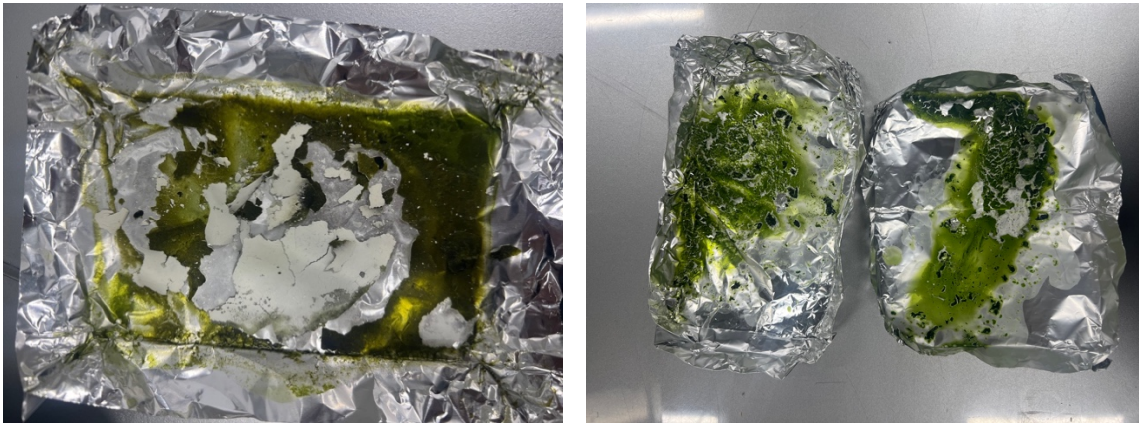
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 29. Solución centrifugada colocada en papel aluminio para secado



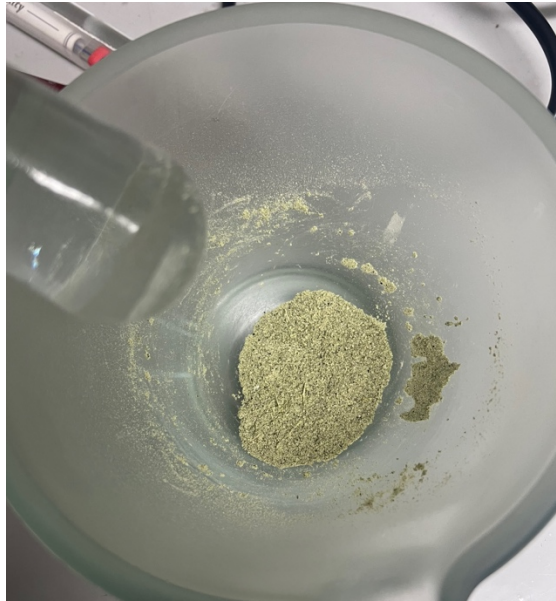
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 30. Extracto de polisacárido secado en papel aluminio (el secado en este medio no fue exitoso ya que se perdió muestra)



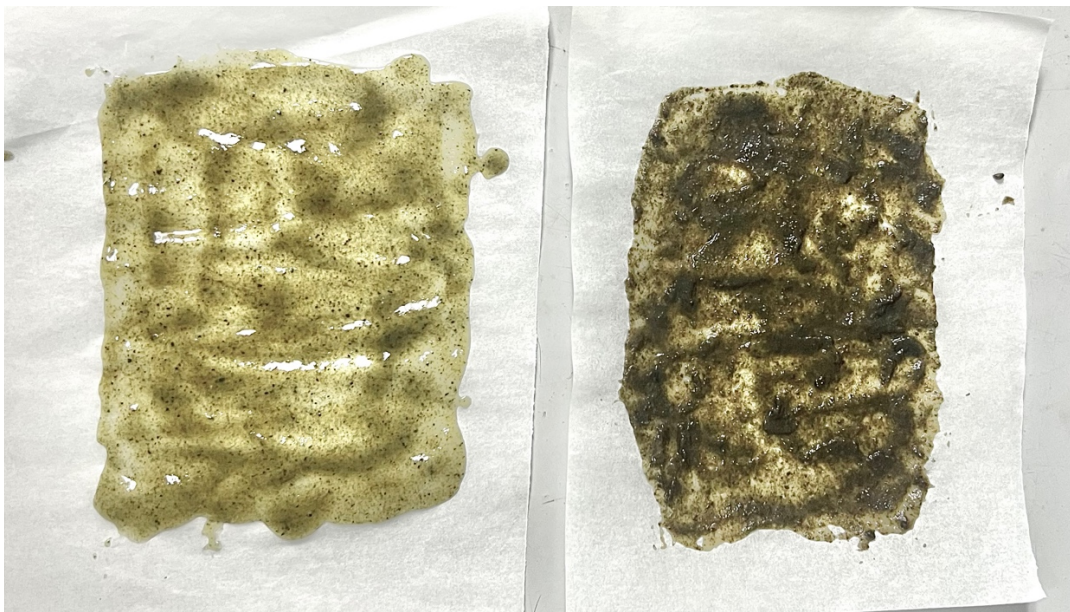
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 31. Molienda de extracto de polisacárido con mortero y pistilo



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 32. Biopolímero producido mediante formulación 1 (malos resultados por lo que se busco variar los metodos)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 33. Pesaje para otras pruebas de extracción y formulación de biomaterial



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 34. Centrifugación por mayor tiempo, mayor revoluciones/minuto y lavados con agua destilada



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 35. Otro medio de secado: Frasco de vidrio



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 36. Polimerización (extracto de polisacárido adición de glicerina, ácido acético y agua)



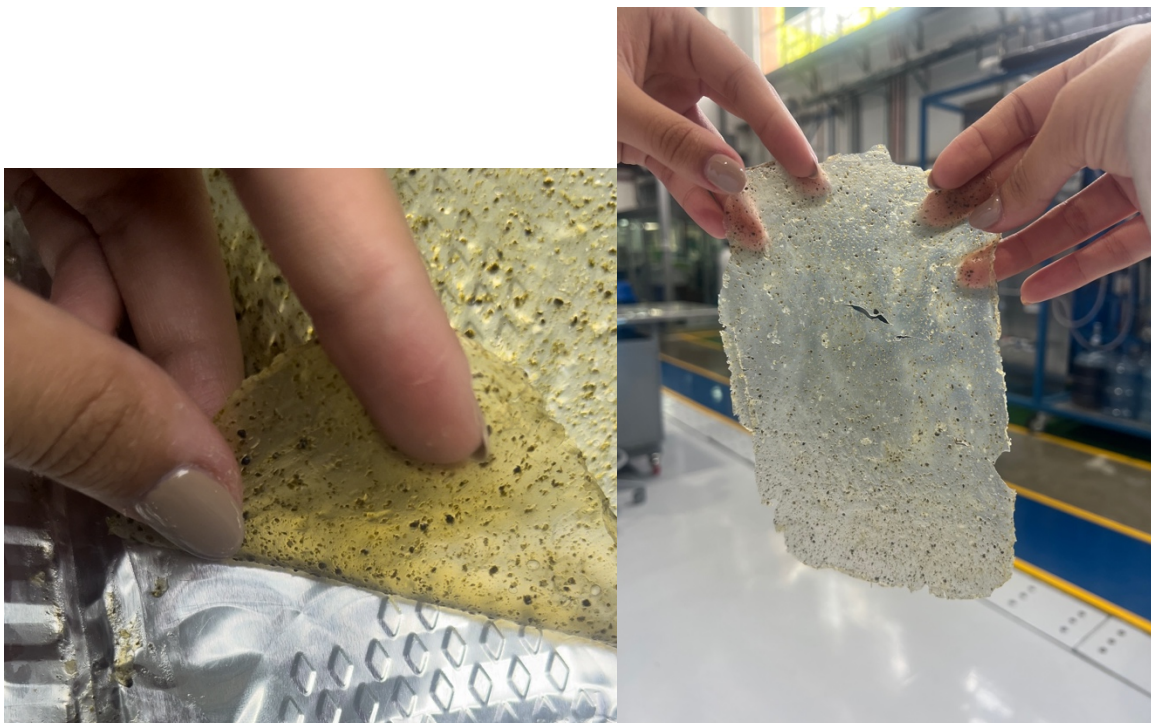
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 37. Secado de biopolímero producido empleando formulación 2 (el de la derecha fue despegado del molde para que el calor llegue a todas partes)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 38. Biopolímero seco producido mediante formulación 2 (Biopolímero se acerca a producto deseado)



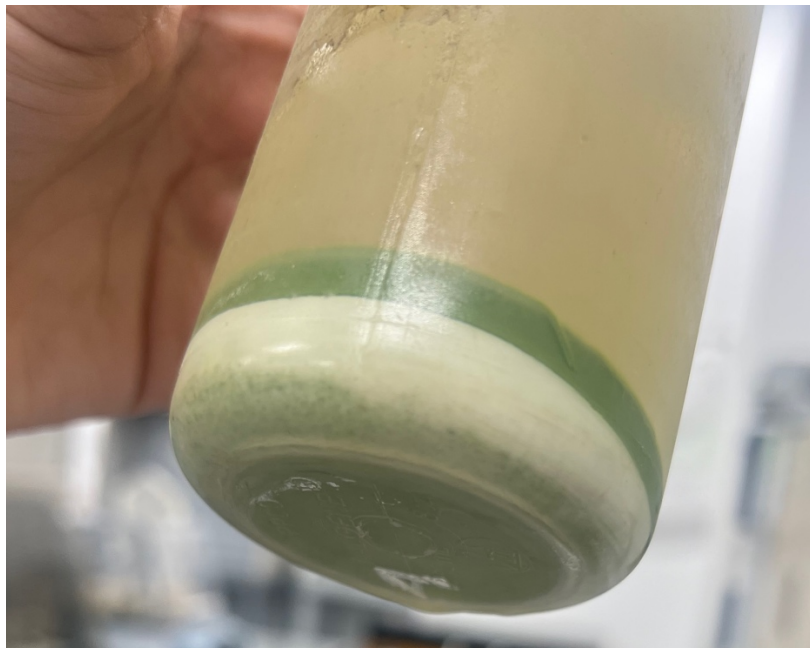
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 39. Método de extracción de polisacárido final efectuando variantes a partir de errores de metodos anteriores



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 40. Centrifugación por mayor tiempo y mayor velocidad (rpm) en método de extracción final (4)



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 41. Extracto de polisacárido obtenido mediante método 4 seco



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 42. Incorporación de proceso de tamizaje para mejorar textura de biopolímero producido



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

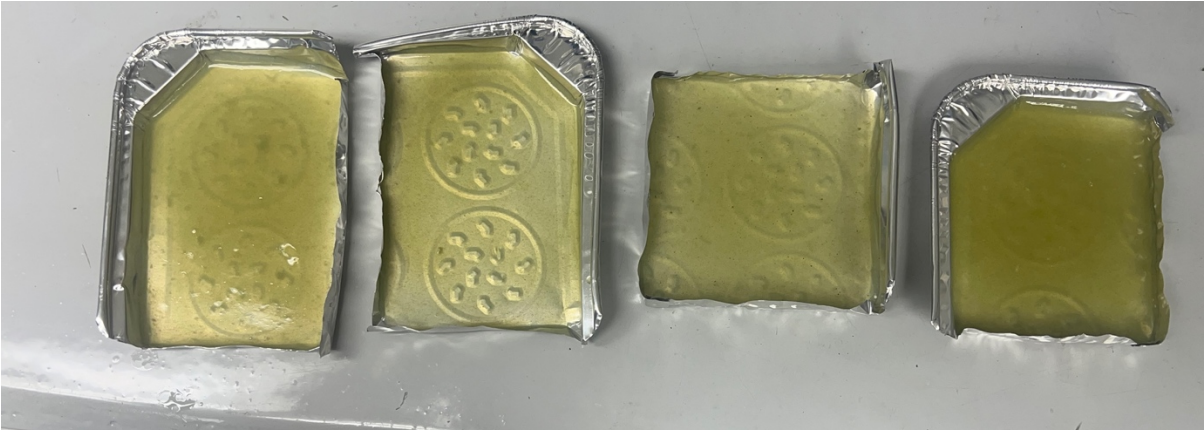
Figura 43. Proceso de formulación 3



(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 44. Biopolímero húmedo previo al secado producido mediante el método de extracción de polisacárido 4 y la formulación 3





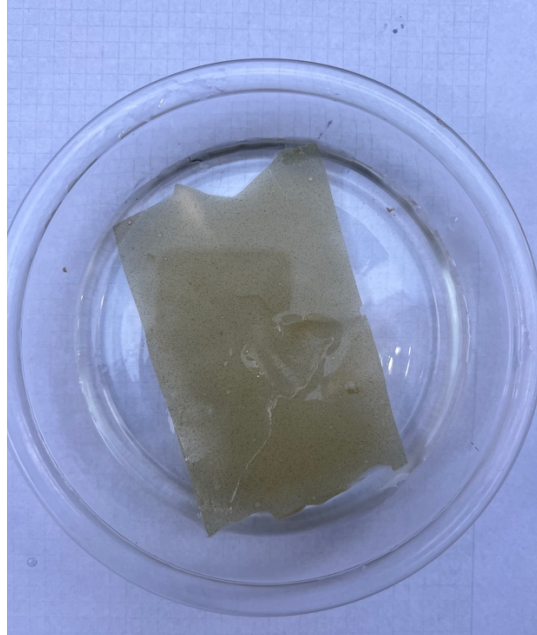
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 45, Biopolímero seco producido mediante el método de extracción de polisacárido 4 y la formulación 3



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 46. Pruebas mecánicas y de solubilidad del biomaterial producido



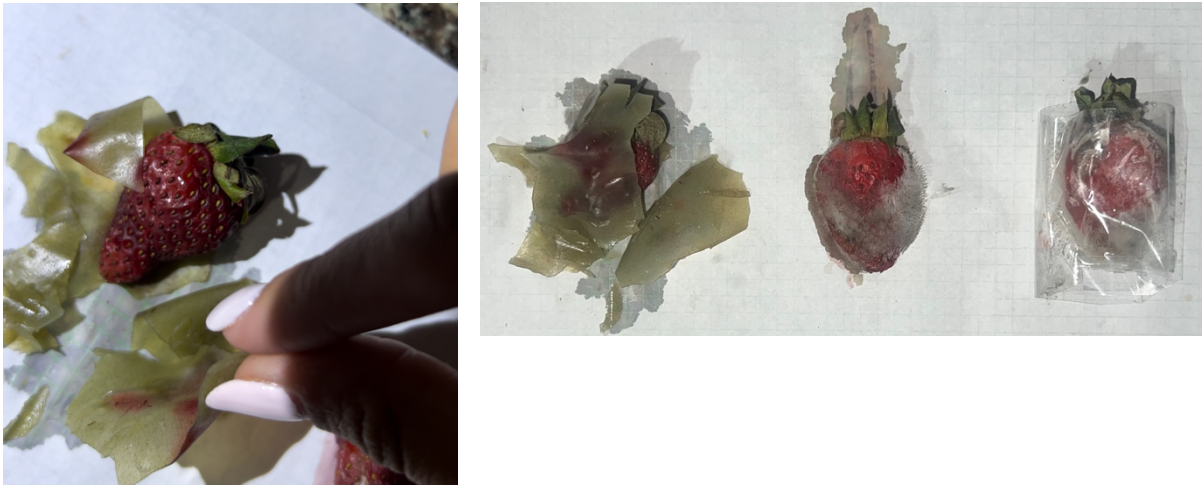
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 47. Determinación de la masa de biopolímero producido



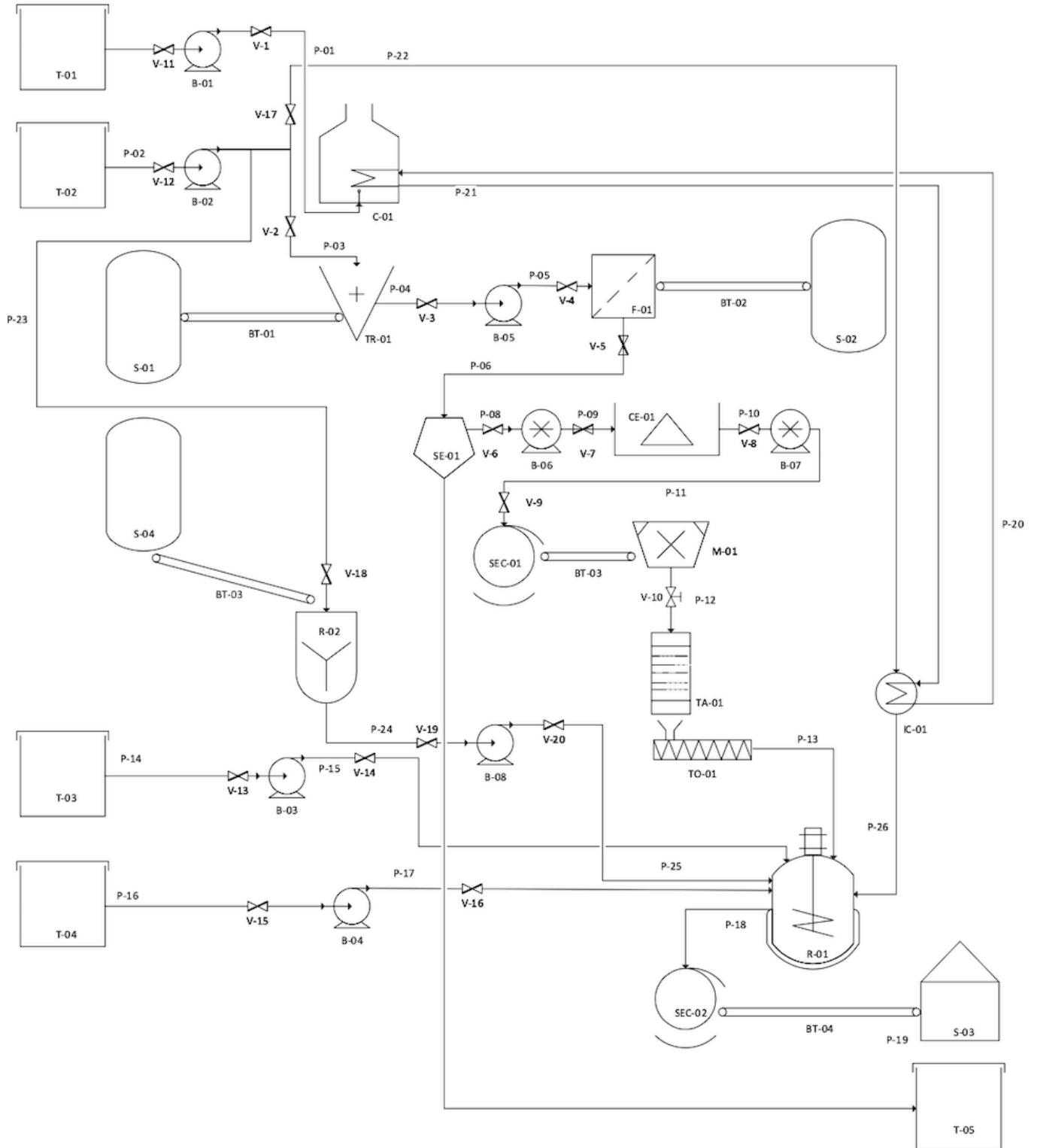
(Fuente: Elaboración propia en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala)

Figura 48. Prueba de propuestas de aplicación con valor comercial (embalaje de alimentos)



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 49. Diagrama de proceso propuesta para futuro escalamiento



Fuente: Elaboración propia desarrollado en Software VISIO

F. GLOSARIO

- **Ácido acético:** Componente químico utilizado para la modificación del almidón en la producción de biopolímeros. Actúa en la esterificación del almidón, mejorando sus propiedades mecánicas.
- **Almidón:** Polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina. Es una de las principales fuentes de carbohidratos en plantas y se utiliza como base para la producción de biopolímeros.
- **Amilopectina:** Componente ramificado del almidón que aporta características de viscosidad y capacidad de retención de agua a los biopolímeros.
- **Amilosa:** Componente lineal del almidón que contribuye a su capacidad de formar películas y geles. Es crucial en la creación de biopolímeros con propiedades mecánicas particulares.
- **Biodegradabilidad:** Propiedad de un material para descomponerse de manera natural por microorganismos. Los biopolímeros tienen la ventaja de ser biodegradables, a diferencia de los plásticos tradicionales.
- **Biopolímero:** Polímero biodegradable producido a partir de materiales biológicos, como los polisacáridos. Se utilizan como alternativas sostenibles a los plásticos convencionales debido a su capacidad de biodegradarse en el ambiente.
- **Centrifugación:** Técnica utilizada para separar componentes en una mezcla a través de la rotación a alta velocidad. Se emplea para purificar el polisacárido extraído.
- **Esterificación:** Reacción química entre un ácido (como el ácido acético) y un alcohol (como la glicerina) que modifica las propiedades del almidón, haciéndolo más útil en la formación de biopolímeros.
- **Gelatinización:** Proceso mediante el cual el almidón se disuelve en agua caliente, formando un gel. Este proceso es importante en la producción de biopolímeros a partir de polisacáridos.
- **Glicerina (glicerol):** Compuesto orgánico utilizado como plastificante para incrementar la flexibilidad de los biopolímeros. Reduce la rigidez del material final.
- **Molienda:** Proceso mecánico que reduce el tamaño de partícula del material seco, permitiendo una mayor homogeneidad en el producto final.

- **Modificación química:** Proceso mediante el cual se alteran las propiedades físicas y químicas del polisacárido mediante la adición de reactivos, como el ácido acético y la glicerina.
- **NaOH (Hidróxido de Sodio):** Compuesto químico utilizado para neutralizar el ácido acético después de la esterificación. Se disuelve en agua y se emplea en procesos de saponificación o ajuste de pH.
- **Pisum sativum:** Especie vegetal conocida como arveja o guisante, que contiene polisacáridos como el almidón y la celulosa. Se utiliza como materia prima para la extracción de biopolímeros.
- **Plastificante:** Sustancia añadida a los polímeros para aumentar su flexibilidad, reduciendo la rigidez. En tu estudio, se usa glicerina como plastificante.
- **Polimerización:** Proceso químico mediante el cual las moléculas pequeñas (monómeros) se unen para formar cadenas más grandes (polímeros). Esto ocurre durante la transformación del extracto de polisacárido en biopolímeros.
- **Polisacárido:** Carbohidrato complejo formado por largas cadenas de monosacáridos. El almidón es un ejemplo de polisacárido utilizado en la producción de biopolímeros.
- **Secado:** Proceso mediante el cual el material húmedo (polisacárido) se elimina de su contenido de agua. Se realiza en este estudio con una estufa a 60°C.
- **Sedimentación:** Proceso físico donde las partículas sólidas se asientan en el fondo de un líquido. En el estudio, se utiliza para la separación de almidón durante su extracción.
- **Tamizado:** Proceso de separación de partículas de diferentes tamaños utilizando mallas con tamaños de poro específicos (mesh). Este proceso se usa para mejorar la textura del biopolímero producido.
- **Viscosidad:** Propiedad física que mide la resistencia de un fluido al movimiento. En el contexto de biopolímeros, la viscosidad es crucial para evaluar la facilidad de procesamiento del material.

G. FICHAS TÉCNICAS REACTIVOS

Hidróxido de sodio



1.37020.6025 Pellets de hidróxido de sodio EMSURE® EXPERT Ph Eur, BP, ChP, JP, NF

Especificación		
Ensayo (acidimetría, NaOH)	≥ 98.0	%
Ensayo (alcalinidad total cal, como NaOH)	98.0 - 100.5	%
Ensayo (Na)	54.0 - 59.8	%
Identificación	pasó prueba	
Apariencia de solución	pasó prueba	
Sustancias insolubles y orgánicas de interés	pasó prueba	
Carbonato (como Na ₂ CO ₃)	≤ 0.5	%
Cloruros libres (Cl)	≤ 0.015	%
Fosfato (PO)	≤ 0.001	%
Silicato (SiO ₂)	≤ 0.01	%
Sulfato (SO ₄)	≤ 0.010	%
Nitrógeno Total (N)	≤ 0.0005	%
Metales pesados (como Ag)	≤ 0.002	%
Metales pesados (como Pb)	≤ 0.0005	%
Al (Aluminio)	≤ 0.001	%
As (Arsenico)	≤ 0.0003	%
Ca (Calcio)	≤ 0.005	%
Cu (Cobre)	≤ 0.0005	%
Fe (Hierro)	≤ 0.0010	%
Hg (Mercurio)	≤ 0.00001	%
K (Potasio)	≤ 0.05	%
Mg (Magnesio)	≤ 0.002	%
Ni (Niquel)	≤ 0.001	%
Pb (Plomo)	≤ 0.00005	%
Zn (Zinc)	≤ 0.0025	%
Solventes residuales (ICH Q3C)	excluded by manufacturing process	
Endotoxinas	≤ 2.5	I.U./g

Las especificaciones de impurezas elementales se han establecido teniendo en cuenta la ICH Q3D (Directriz para impurezas elementales). No es probable que los elementos de clase 1 a 3 estén presentes por encima del límite de la opción 1 de CIH Q3D, a menos que se especifique e indique (*). Cumple con Ph Eur, BP, CHP, JP, FN

Dr. Dimitrij Ryvlin
Responsable del laboratorio de control de calidad

Este documento se ha producido electronicamente y es válido sin firma

Merck KGaA
Corporation with General Partners
Frankfurter Straße 250
64293 Darmstadt, Germany

The life science business of Merck KGaA, Darmstadt,
Germany operates as MilliporeSigma in the U.S. and
Canada.

Page 1 of 1

SALSA Version 1417549/000000000000// Date: 08.07.2024

Ácido acético



FICHA TÉCNICA ACIDO ACÉTICO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Ácido Acético
Formula Química	CH ₃ COOH
Peso molecular	60.053 g/mol.
Sinónimos	Ácido acético glacial catalítico Ácido del vinagre Ácido metanocarboxílico, Ácido etanoico

2. DESCRIPCIÓN

Líquido incoloro con olor acre (penetrante, picante).
La sustancia es moderadamente ácida, volátil y cristaliza a baja temperatura.
Es completamente soluble en agua, alcohol, éter glicerina y benceno; e insoluble en sulfuro de carbono

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Pureza	99.5 % mín.
Sulfatos	0.0003 % max
Acido fórmico	0.05 % max
Acetaldehído	0.05 % max
Hierro	10 ppm max

Otras

Plomo	1.0 ppm max
Cloruros	1 ppm max
Material no volátil	0.003 % max

4. PROPIEDADES

Apariencia:	líquido incoloro, transparente
Humedad (Método de Karl Fischer):	0.50% máx.
Densidad relativa (20/20°C):	1.052+0.003
Color (Unidades APHA):	10 máx.
Olor:	Característico

FECHA	REALIZO	REVISO	ACTUALIZO
2010/07/27	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Doria Maria Naranjo	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11 Fax: 285 64 74
iospina@dqisa.com Medellín - Colombia.

Glicerina USP



Alifarma S.A. de C.V.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS GLICERINA USP/QP

LOTE: 2201100423

FECHA DE CADUCIDAD: MARZO 2026

<u>DETERMINACIONES</u>	<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>RESULTADO</u>
Residuo por ignición (%)	0.01 máx.	0.001
Pureza (%)	99.5 min	99.90
Cloruros (ppm)	10 máx.	3.1
Esteres y A. grasos (ml NaOH)	1.0 máx.	0.3
Gravedad específica 25° C	1.26 min	1.26
Sulfatos (ppm)	20 máx.	4
Olor	Característico	Característico
Humedad por Kart Fisher (%)	0.5 máx.	0.08
Metales pesados Pb ppm	<5	5
Color APHA	15 máx.	2.5
Compuestos clorados	30 ppm máx.	30 ppm

Ing Carlos Luna
Control de Calidad



Cda. de Colima No. 4 Col. Roma, Deleg. Cuauhtémoc, C.P. 06700
México, D.F. Tel.5525-5833 Fax. 5207-8195 alifarma@prodigy.net.mx