

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El bioplástico es un material sustituto del plástico, producto de la evolución de este último con la finalidad de disminuir las desventajas que trae la producción de este polímero al medio ambiente y a la humanidad. Este material biodegradable, se obtiene principalmente utilizando recursos renovables y en algunos casos sus características se asimilan con los plásticos provenientes del petróleo. (Pacheco Gina., 2014).

Los primeros plásticos derivaron de materiales orgánicos, aunque originalmente no fueron llamados bioplásticos. El pionero fue John Wesley Hyatt Jr. Quien 1869 creó un plástico derivado de celulosa de algodón como sustituto del marfil. Años más tarde se creó el celuloide, un material que aún se utiliza para fabricar películas fotográficas y de filmación. Otro plástico derivado de celulosa, el celofán creado en 1912, hoy en día también es utilizado. (Zeaplast ,2016).

En 1910, el científico ruso Sergéi Lébedev creó el primer polímero de caucho sintetizado a partir del butadieno y desde entonces los plásticos sintéticos han desplazado a los bioplásticos. Los plásticos derivados del petróleo eran más económicos y adecuados para una producción masiva, además tenían mejores propiedades mecánicas. Es así que en la primera mitad del siglo se crearon muchos de los plásticos que empleamos hoy en día. El primero de ellos fue el PVC (1936), luego el poliuretano (1937) y el poliéster insaturado o PET, el cual fue patentado en 1942 y que desde entonces se ha convertido la principal materia prima para elaborar botellas de plástico (Zeaplast 2016).

La producción creciente de derivados del petróleo y el aumento en el precio de este recurso no renovable, ha hecho que en los últimos siglos se demande un producto sustituto y menos contaminante, muchos estudios se han realizado para disminuir las consecuencias negativas del uso del plástico, desde alterar su composición hasta utilizar otros productos similares como nuevas alternativas de tratamiento y tecnología, es así como nacen los bioplásticos. (Pacheco Gina. 2014).

Existen distintos tipos de bioplásticos como: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos. (Pacheco Gina., 2014)

La cáscara de naranja puede convertirse en un material esencial para la elaboración de biopelículas debido a su contenido en fibras de celulosa, pectina y aceites esenciales. La composición de la cáscara de naranja varía de acuerdo a la especie y a las condiciones de su cultivo. (Ahmad, F.C. 2015.)

Producción de bioplástico en el Mundo

Europa dominó el mercado global de bioplásticos, con la mayor parte de la demanda proveniente de Alemania, seguida de Francia, Italia y el Reino Unido.

En Europa, Italia lidera el mercado en la producción de bioplásticos (incluidos los polímeros biodegradables), con numerosas pequeñas y medianas empresas (PYME) involucradas en su producción. Sin embargo, en términos de consumo, el país se perfila como el segundo mercado más grande de la región, después de Alemania.

La industria del embalaje de Italia es una de las industrias más grandes del mundo. Hay cerca de 7.000 empresas de embalaje mayores y menores activas en el país. La creciente importancia de la venta minorista de supermercados y los cambios en los hábitos de compra de los consumidores están aumentando la demanda de empaques en el país. Además, las exportaciones aumentan aún más la demanda de materiales de embalaje.

El Reino Unido se perfila como el cuarto mayor consumidor de plásticos en Europa. El país ha sido identificado como uno de los más innovadores y avanzados en términos de desarrollo de plásticos avanzados y modificados. Sin embargo, la atención del país se ha desviado hacia los bioplásticos, con una mayor conciencia sobre el impacto ambiental de los plásticos no biodegradables a base de petróleo.

Además, en julio de 2019, el Departamento de Estrategia Empresarial, Energética e Industrial (BEIS) del Reino Unido anunció una campaña para fomentar la innovación

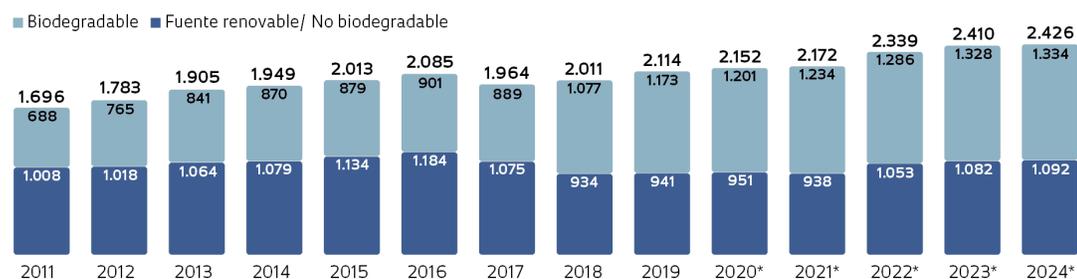
en bioplásticos (incluidos los polímeros biodegradables). Se espera que la inversión gubernamental de GBP 60 millones impulse enormemente el sector de investigación y desarrollo (I+D) del Reino Unido y genere aún más GBP 149 millones de empresas. En general, se espera que este crecimiento optimista de varias industrias de usuarios finales impulse el mercado del Reino Unido en los próximos años.

Por lo tanto, se espera que el escenario del mercado en la región impulse la demanda de bioplásticos durante el período de pronóstico

Figura 1 Capacidad instalada de la industria del bioplástico

Fuente: European Bioplastic

Capacidad instalada de la industria del bioplástico en el mundo, por tipo, entre 2011 y 2024 (en miles de toneladas)



Producción del bioplástico en Latinoamérica

En América Latina, Brasil y México son mercados emergentes que comparten un gran porvenir en la producción de bioplásticos, en comparación con las naciones de Europa y Estados Unidos.

Los bioplásticos están penetrando en segmentos como empaques para alimentos y plásticos de uso agrícola.

Sin embargo, se espera que la gran escala de producción provea una nueva dirección a este mercado en la región.

Las escalas de producción competitivas y una creciente demanda serán cruciales para hacer de los bioplásticos un mercado rentable y en crecimiento.

La legislación y los incentivos gubernamentales, ahora insuficientemente desarrollados para los bioplásticos, también son importantes en esta etapa de la industria, para respaldar a las pequeñas empresas locales que incursionen en este desarrollo.

El aprecio del usuario y cliente final por el mercado de los bioplásticos, mucho más bondadoso con el medio ambiente que los derivados del petróleo, será crucial para el éxito de los productos, especialmente teniendo en cuenta que actualmente sus precios son más altos que los plásticos derivados del crudo. (Juárez C,2010)

El mercado brasileño para bioplásticos tiene proyecciones de crecimiento promisorias para los próximos cinco años.

En 2009, este mercado estaba compuesto mayormente por PLA (ácido poliláctico), a partir de almidón, y resinas PHB (polibetahidroxibutirato), que representan volúmenes de mil 286 toneladas métricas, con ventas de 4.4 millones de dólares.

Los elementos competitivos para el mercado de los bioplásticos están fuertemente vinculados con la demanda del producto, investigación y desarrollo, infraestructura e incentivos.

“Los motores clave del mercado de los bioplásticos en Brasil incluyen la disponibilidad de materias primas y un foco en la huella de carbono entre los sectores de usuarios finales clave”, explica Alessandra Lancellotti, analista de investigación de Frost & Sullivan.

La promotora empresarial Frost & Sullivan anticipa que los plásticos de origen biológico y petroquímico coexistirán por unos años en el mercado.

En el corto y mediano plazos los bioplásticos no serán una amenaza comercial para los petroquímicos, ya que sus volúmenes corresponderán a menos de 5% de la demanda total de plásticos.

“Las restricciones incluyen las fluctuaciones de precio del petróleo crudo y los precios más altos en comparación con respecto a los plásticos convencionales”.

Los plásticos de petroquímica producidos en México el año pasado sumaron 4.6 millones de toneladas métricas, y el de los bioplásticos alcanzó mil 200 toneladas métricas.

El mercado mexicano de bioplásticos está en la etapa de crecimiento, con una tasa de expansión anual promedio mayor a 20%. La creciente preocupación por el medioambiente en Latinoamérica es un fuerte motor para este mercado.

El plástico fabricado a partir del maíz es el recurso más conocido en México, pero existen problemas importantes porque el país es el cuarto productor del mundo, y aún necesita importar de 5% a 10% para la demanda local de alimentos.

“Las empresas de producción de plástico convencional de México se resisten a comenzar la producción, ya que temen que la demanda sea baja”, advierte Lancellotti. “El mercado de los bioplásticos en México aún es emergente”.

Tanto Brasil como México, como importantes productores mundiales agropecuarios, son promisorios fabricantes de plásticos elaborados a partir de una base biológica y con costos competitivos. (Juárez C,2010)

Producción de Bioplástico en Bolivia

En cuanto a la producción de bioplástico en Bolivia se cuenta con la única empresa que fabrica bioplástico es Bioplast, la cual se encuentra en el departamento de Santa Cruz, produce bolsas biodegradables a partir de almidón que puede ser extraído de los desechos orgánicos que lo contengan. Este producto es biodegradable en aproximadamente 190 días.

Básicamente son bolsas similares a una bolsa de papel, pero con las mismas características de las bolsas plásticas comunes, por lo que utilizan la misma maquinaria para su producción. A diferencia de éstas se utiliza como materia prima al almidón el cual no es perjudicial para el ser humano, ya que, incluso, posee un alto contenido energético. Por ello el producto es asimilable sin ningún peligro por organismos vivos. El uso de biomasa renovable ayuda a combatir el cambio climático; el uso de plásticos

provenientes de combustibles fósiles genera cantidades masivas de gases de efecto invernadero.

Objetivos

Objetivo general

- Obtener un bioplástico a partir de cáscara de Naranja de la variedad Valencia Tardía.

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima.
- Obtener pectina a partir de la cáscara de naranja (variedad Valencia Tardía).
- Realizar la fase experimental del proceso de obtención de bioplástico de la cáscara de naranja.
- Calcular el rendimiento del proceso.
- Determinar el costo del bioplástico.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del Bioplástico obtenido.

Justificación

Justificación tecnológica

La creación del bioplástico a partir de cáscara de naranja deja abierta la implementación o creación de una industria de obtención de bioplásticos y pectina en el departamento de Tarija esta industria podría implementarse dentro de la planta de cítricos de Carapari lo cual originaria que la industria perciba más ingresos.

Justificación económica

Sabiendo que la materia prima del bioplástico es la pectina proveniente de la cáscara de naranja y tomando en cuenta que la producción de cítricos en Bolivia, particularmente en Tarija es alta, esto originaria mayor comercialización de naranja en la zona, por ende, generaría ingresos a la región.

Justificación ambiental

Con la producción de bioplástico a partir de la cáscara de naranja estaríamos reduciendo el impacto de los desechos de plásticos derivados del petróleo, también estaríamos reutilizando la cáscara de naranja que mayormente es desechada.

Justificación social

La elaboración del bioplástico tiene como objetivo establecer una visión de desarrollo con el propósito de reducir la adquisición de plásticos desechables, fomentando la producción en el departamento de bioplástico generando así nuevas fuentes laborales y oportunidades de emprendimiento.

CAPITULO I
MARCO TEORICO

Marco Teórico

1.1 Historia de la naranja

Su origen, con casi total certeza, se sitúa en las regiones tropicales y subtropicales de Asia y el archipiélago malayo. Desde allí, la expansión a zonas como el nordeste de la India o el centro y el norte de China fue sencilla gracias a la Ruta de la Seda. Algo más compleja fue al resto del mundo estando siempre ligada a grandes acontecimientos históricos.

El cidro (o primer cítrico, que sería el origen del naranjo) fue llevado por el faraón Tutmosis III a Egipto en el siglo XV-XVI a.C. Alrededor de diez siglos después, los ejércitos de Alejandro Magno lo introducirán en Grecia y de ahí su presencia en el tratado de plantas de Teofrasto, datado en el siglo IV a.C.

Aunque los romanos consideraban la naranja como un fruto exótico, pronto se familiarizaron con su cultivo y éste se extendió por sus áreas de control en el Mediterráneo. Años después, los árabes encuentran otro cítrico, lo que conocemos como naranjo amargo, en la India. Posteriormente, junto con su civilización, su cultivo se extiende al norte de África, Sicilia, Cerdeña y España, donde comienza a convivir diferentes especies de cítricos.

Una vez establecido su cultivo en Europa, la historia de la naranja y su llegada al Nuevo Mundo corre a cargo de los conquistadores portugueses y españoles. (Sunzest Fruits,2017)

1.2 La Naranja

La naranja es una fruta cítrica obtenida del naranjo dulce (*Citrus × sinensis*), del naranjo amargo (*Citrus × aurantium*) y de naranjos de otras variedades o híbridos, de origen asiático. Es un hesperidio carnoso de cáscara más o menos gruesa y endurecida y su pulpa está formada típicamente por once gajos u hollejos llenos de jugo, el cual contiene mucha vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Se cultiva como un antiguo árbol ornamental y para obtener fragancias de sus frutos. Es más pequeña y dulce que el pomelo o toronja y más grande, aunque menos perfumada que

la mandarina. Existen numerosas variedades de naranjas, siendo la mayoría híbridos producidos a especies Citrus máxima (pamplemusa), Citrus reticulata (mandarina) y Citrus médica (cidro).

Según la FAO, en 2014 la fruticultura mundial produjo unos 71 millones de toneladas de este cítrico, una cuarta parte proveniente de Brasil y el resto de China, India, México, Estados Unidos, España, Egipto, Indonesia, Turquía y otros países.

Tabla N°I-1 Valor nutricional de la naranja

Valor nutricional por cada 100 g (c. sinensis)	
Energía 47 kcal 197 kJ	
Carbohidratos	11,75 g
• Azúcares	9,365 g
• Fibra alimentaria	2,4 g
Grasas	0,12 g
• saturadas	0,015 g
• monoinsaturadas	0,023 g
• poliinsaturadas	0,025 g
Proteínas	0,94 g
Agua	86,75 g
Retinol (vit. A)	11 µg (1%)
• β-caroteno	71 µg (1%)
Tiamina (vit. B1)	0,087 mg (7%)
Riboflavina (vit. B2)	0,040 mg (3%)
Niacina (vit. B3)	0,282 mg (2%)
Ácido pantoténico (vit. B5)	0,250 mg (5%)
Vitamina B6	0,060 mg (5%)
Ácido fólico (vit. B9)	30 µg (8%)
Vitamina B12	0 µg (0%)

Vitamina C	53,2 mg (89%)
Vitamina D	0 µg (0%)
Vitamina E	0,18 mg (1%)
Vitamina K	0 µg (0%)
Calcio	40 mg (4%)
Hierro	0,10 mg (1%)
Magnesio	10 mg (3%)
Manganeso	0,025 mg (1%)
Fósforo	14 mg (2%)
Potasio	181 mg (4%)
Sodio	0 mg (0%)
Zinc	0,07 mg (1%)

Fuente: Naranja en la base de datos de nutrientes de USDA.

1.3 Producción

El número uno en exportación de cítricos en fresco es España.

En cuanto al origen del naranjo amargo existen distintas opiniones entre los expertos. Algunos autores afirman que el naranjo amargo pasó de Libia a Europa, otros, que los árabes lo trajeron de la India en el siglo X y lo aclimataron a todos los países, otros autores que en 1150 adornaba los jardines de Sicilia. Según otro autor el naranjo amargo procede de las regiones orientales de las Indias. La primera descripción del naranjo amargo que se conoce es la de Alberto Magno.

En cuanto a la procedencia del naranjo dulce también es poco clara para muchos. Unos dicen que pasó de Arabia a Grecia, desde Grecia a Italia, a España, a Francia, a Portugal, etc. Para otros parece claro que el naranjo dulce es oriundo de China meridional, Birmania y regiones de la India al sur del Himalaya.

Fueron los árabes quienes difundieron los agrios por España, propagándolos por jardines, parque y calles, utilizando sus flores en muchas celebraciones religiosas.

Estados Unidos había sido el líder de la producción mundial hasta ahora, pero Brasil ha tomado el relevo y está a la cabeza. La producción de estos dos países supone el 42% de la producción mundial. La mayor parte de la cosecha de naranjas en estos países, el 52% en Brasil y el 66% en Estados Unidos, se destina principalmente a zumo concentrado congelado. Países como España, Marruecos, Israel, Cuba y Sudáfrica destinan gran parte de sus cosechas a la exportación para dar salida a su enorme producción.

La producción de los países mediterráneos se destina en gran parte a abastecer el comercio en fresco del Hemisferio Norte, más concretamente de la Europa Occidental.

La producción de Estados Unidos va dirigida a Canadá y el Lejano Oriente, en particular a Japón y Hong-Kong. El principal exportador en el Hemisferio Sur es Sudáfrica.

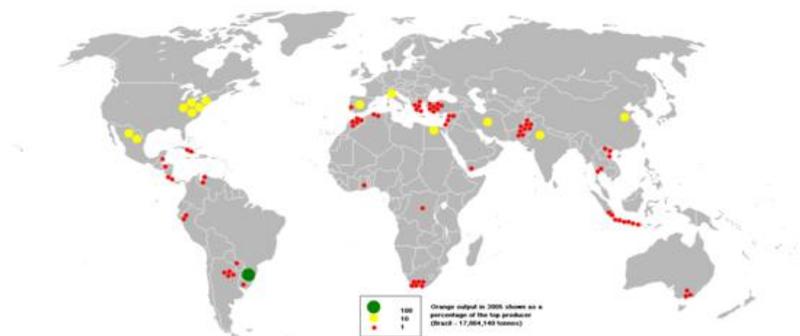
La producción mundial de naranjas viene reflejada en esta tabla:

Figura N°I-1 Producción de naranja en el mundo

País	Producción (miles de toneladas)		%
	1998	1999	
Africa	4.846	4.740	8
Asia	11.624	12.241	20
Europa	5.456	5.796	9
Norteamérica	17.194	13.246	21
Oceanía	455	483	1
Sudamérica	23.563	25.373	41
TOTAL	63.138	61.879	100

Fuente: Fresh Produce Desk Book (2001)

Figura N° I-2 Mayores Productores de Naranjas en el Mundo



Fuente: Wikipedia 2012

1.4 La naranja en Bolivia

En Bolivia los cítricos fueron introducidos por los españoles y árabes especialmente los comerciantes de la época colonial, éstos introdujeron a zonas como Tarija, Los Yungas (La Paz), parte del Chaco Chuquisaqueño (Huacareta, Rosario del Ingre, Monteagudo, San Juan del Piraí); de ahí se extendió a otros departamentos del país, a nivel Comercial se cultiva en los departamentos de Cochabamba (Chapare) y Santa Cruz (Yapacaní, Porongo y la Zona Sur de la Chiquitanía y otras comunidades). (Huayhua y Ticona, 2014)

En Bolivia los mayores productores de naranja son los departamentos de: La Paz (Yungas), Cochabamba (Chapare), Santa Cruz y Tarija, las variedades que son mayormente cultivadas a nivel nacional son: Criolla, Navel, Bahía Thompson, Washington Navel, Hamlin, Jaffa, Pera Bahianiana, Valencias, Late, Lue, Gin.

Existe poca disponibilidad de datos respecto a la producción y cuantificación de la producción de cítricos en el País. Se conoce actualmente que un 90% de la producción nacional de fruta fresca viene de los Yungas de La Paz, Chapare de Cochabamba y área norte de Santa Cruz y el restante porcentaje a la producción de otras zonas del departamento de Tarija, Chuquisaca, Beni y Pando. (Valle, 2016)

En el departamento de Tarija existen diferentes variedades de naranja.

Tabla N°-2 Las variedades que existen en mayor cantidad por zonas

Río Bermejo	Criolla, criolla injertada, Valencia tardía y tanjarina
Río Tarija	Criolla, jaffa, Valencia temprana
Yacuiba	Criolla, criolla injertada, pupula, Valencia temprana y tardía
Tariquia	Criolla
Villa montes	Criolla, criolla injertada
O`Connor	Criolla, criolla injertada

Fuente: (valle, 2016)

El Instituto Nacional de Estadística (INE), informó que durante el año agrícola 2016-2017 se produjeron 180 021 toneladas métricas de naranja en el país. (INE, 2019)

Tabla N°I-3 Producción por año de naranja en Bolivia (En toneladas métricas)

Descripción	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Naranja	162 264	162 642	168 185	170 434	179 722	181 902	185 093	180 021

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Figura N°I-3 Producción según macro regiones en Bolivia

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Tabla N°I-4. Producción por año de naranja en Tarija (En toneladas métricas)

Descripción	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017
Naranja	4 656	4 541	4 672	4 609	4 837	5 025	5 141	5 119

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

1.5 Variedades de naranjas

1.5.1 Valencia tardía

Pulpa dura y color naranja oscuro, semillas medianas y anchas, tamaño y color externo de la cáscara variado, forma más redondeada.

Es la variedad de naranja que tiene mayor demanda a nivel mundial y una de las más cultivadas en el país. Da frutos de tamaño mediano, corteza un tanto gruesa, dura y coriácea. Superficie lisa, ligeramente áspera, jugo abundante y menos de seis semillas por fruto. Se mantiene bien en el árbol después de madurar y si se riega puede llegar a reverdecer. Es de madures tardía y excelente para la industria de jugos. De todas las variedades comerciales, es la que posee el mayor rango de adaptación climática. (Valle, 2016)

1.5.2 Criolla injertada

Pulpa blanda de color naranja oscuro, al apretar la cáscara esta se desarma fácilmente, semillas medianas y delgadas, tamaño y color externo de la cáscara casi uniforme. (Valle, 2016)

1.5.3 Criolla

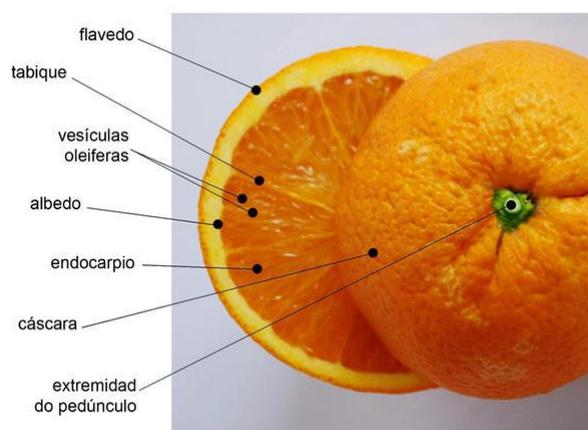
Semillas largas terminan en punta, tamaño muy variado, color externo de la cáscara casi uniforme, pulpa más dura que la criolla injertada, se caracteriza por tener la cáscara más gruesa que las demás variedades. (Valle, 2016)

Tabla N°I-5. Características de las variedades de naranja

Variiedad	Diámetro promedio (cm)	Espesor de la cáscara (mm)	Peso promedio (g)	Peso promedio de la corteza libre (g)
Valencia	6,1	5	496	139
	6,9	5		
	7,5	6		
Criolla injertada	6,6	6	598	182
	7,6	6		
	8,1	6		
Criolla	6	5	437	143
	6,8	6		
	7,2	7		
Jaffa temprana	6,3	4	489	149
	7	4		
	7,2	5		

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Figura N° I-4. Descripción partes del fruto de naranja



Fuente: Virreira y Góngora, 2014

1.6 Cáscara de naranja

La cáscara de naranja que está conformada por dos partes claramente visibles, el flavedo (parte externa de color amarillo) y el albedo (parte interna esponjosa de color blanco), este último es de interés dentro de los estudios de adsorción puesto que contiene pectina en su estructura y que junto con las manzanas y uvas se consideran como potenciales materiales sorbentes, pero además se considera que el fruto cítrico es la más promisoría entre las otras. (Soto, 2009)

Tabla N°I-6. Composición Química de la cáscara de naranja

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE NARANJA	
Nutrientes Mayores	
Humedad (g)	75,75
Ceniza (g)	0,44
Grasa (g)	1,7
Fibra. (g)	2,4
Carbohidratos (g)	11,75
Proteínas (mg)	940
Oligoelementos	
Potasio (mg)	181
Calcio (mg)	40
Fósforo (mg)	14
Magnesio (mg)	10
Hierro (mg)	1
Vitaminas	
Vitamina B1 (µg)	87
Vitamina B2 (µg)	40
Vitamina B3 (µg)	282
Vitamina B5 (µg)	250
Vitamina B6 (µg)	60

Vitamina E (μg)	0,18
Vitamina C (mg)	53,2
Vitamina A (UI)	225

Fuente: Cozar y Mucha, 2011

1.7 Los bioplásticos

Los bioplásticos son una especie de plástico que son fabricados a partir de cáscaras o materiales orgánicos, por lo tanto, son biodegradables.

Los plásticos que usamos a diario como bolsas de nylon, platillos desechables, cubiertos, etc., son fabricados generalmente con derivados del petróleo, tales como el polietileno, polipropileno, PET, estos plásticos obviamente no son biodegradables y por lo tanto causan un gran daño al medio ambiente, ya que su periodo de degradación es de muchos años, si bien en Bolivia existen campañas de reciclaje esto no frena el consumo excesivo de plásticos.

Por otra parte, el consumir bioplásticos no causa daños al medio ambiente ya que su periodo de degradación es muy corto, además que presenta características similares en cuanto a resistencia, dureza, permeabilidad, que los plásticos convencionales.

1.8 Cómo se producen los bioplásticos

Como ya mencionamos los bioplásticos son elaborados con materiales orgánicos, entre ellos cáscaras de frutas, vegetales, almidón de maíz, almidón de papa, almidón de yuca, entre otros vegetales, estos permiten obtener una sustancia que al enfriarse toma la forma de un plástico común y corriente.

Estos bioplásticos se fabrican a partir de plantaciones que se producen de forma expresa para tal fin. De este modo, en lugar de destilar petróleo para crear plástico, se cosechan diferentes plantas que, mediante procesos químicos en laboratorio, dan como resultado materias primas útiles para la fabricación de bioplásticos.

1.9 Por qué se investigan los bioplásticos

La implementación de bioplásticos es la solución a los grandes problemas que originan los plásticos convencionales. Si bien los plásticos comunes son resistentes esta cualidad es aprovechada netamente en productos que necesitan durar muchos años como sillas, mesas, recipientes, etc., en cambio esta cualidad es un problema en utensilios desechables como bolsas, cubiertos, cucharillas, esta basura causa daños irreparables en el medio ambiente.

En la actualidad encontramos diversas posibles soluciones a este problema, desde prescindir del uso de plásticos desechables hasta el reciclaje de plásticos. Sin embargo, estas soluciones son muy pocas aplicadas en la población ya que más del 70 % de los desechos van a parar a la tierra o a los ríos y mares.

Lamentablemente, las políticas y las campañas para reciclar y no utilizar plásticos desechables no han tenido los impactos necesarios en determinados segmentos de la población, lo que hace que la contaminación por plásticos siga aumentando cada año. De esta forma, una de las posibles soluciones para permitir que el 70% del plástico acabe en el medio ambiente sería utilizar materiales en los productos de consumo que no sean plásticos en absoluto.

Esta es la finalidad de los bioplásticos, sustituir a los plásticos convencionales, los restos de botellas y envases que acaban en los océanos del mundo se degradan de forma natural al contacto con el agua y los factores climáticos, autodestruyéndose y liberando moléculas orgánicas que no tienen efectos nocivos para el medio ambiente.

1.10 Tipos de Bioplásticos

El término bioplástico abarca una amplia gama de polímeros, cada uno de los cuales tiene diferentes atributos en cuanto a su impacto sobre el medioambiente. No existe un único sistema de clasificación para los bioplásticos. De forma general, la Asociación Europea de Bioplásticos, clasifica estos materiales en dos categorías principales:

Los denominados plásticos procedentes de biomasa (de recursos renovables). (European Bioplastics 2012)

Los polímeros biodegradables que cumplen con los criterios científicos recogidos en las normas de biodegradabilidad y compostabilidad que a nivel europeo son la EN 13432 y EN 14995, ISO 17088 y su contraparte americana la norma ASTM D-6400 (Zeaplast, 2012).

1.10.1 Bioplásticos procedentes total o parcialmente de fuentes renovables

Comprenden tanto los bioplásticos cuyos monómeros proceden de la biomasa (almidón y celulosa), como aquellos cuyos monómeros son producidos mediante la fermentación de recursos renovables, aunque el proceso de polimerización posterior sea por vía química convencional (Zeaplast, 2012).

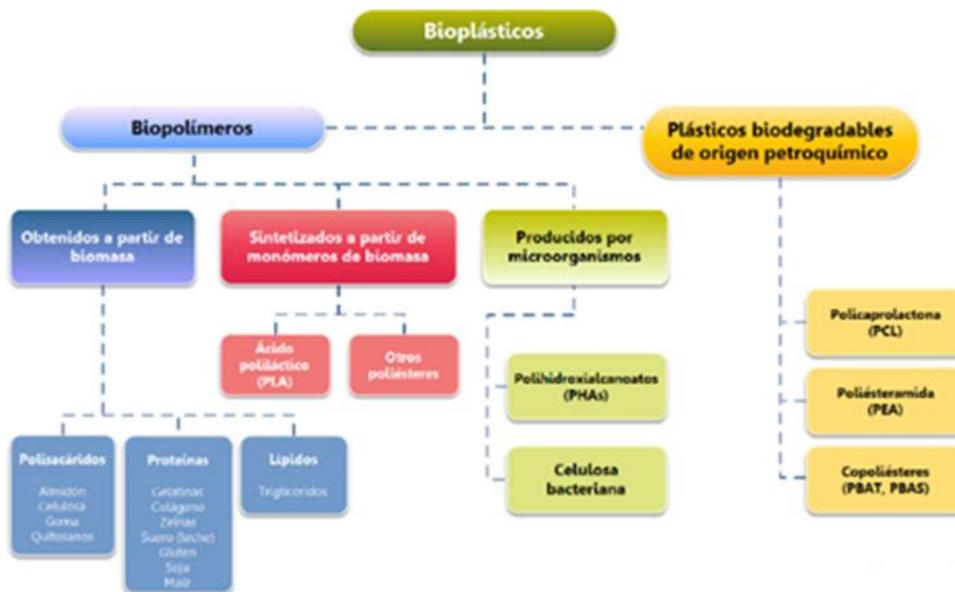
1.10.2 Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica

Existen dos vías biotecnológicas para la producción de bioplásticos. El primero consiste en la obtención biotecnológica de los monómeros y polimerización posterior por vía química (ácido poliláctico-PLA). Otra vía es la síntesis integral de los bioplásticos mediante procedimientos biotecnológicos, fundamentalmente por fermentación microbiana, aunque se están contemplando a más largo plazo otras tecnologías basadas en la utilización de plantas genéticamente modificadas. (Zeaplast,2012).

1.10.3 Polímeros biodegradables sintéticos (no procedentes de fuentes renovables)

Proceden de la polimerización de monómeros obtenidos de fuentes fósiles. Por su estructura son biodegradables según las normas de biodegradabilidad y compostaje (ASTM D6400 y EN13432). Ejemplo de este tipo de materiales lo constituyen el grupo de Poliésteres alifáticos y alifáticos-aromáticos (Zeaplast ,2012).

Figura N°I-5. Clasificación de bioplásticos



Fuente: Zeplast 2016

1.11 Ventajas y desventajas del plástico convencional frente al bioplástico

La baja densidad relativa de la mayoría de los plásticos tiene como consecuencia que el producto final sea ligero. También tienen propiedades excelentes de aislamiento térmico y eléctrico. Sin embargo, algunos pueden fabricarse para ser conductores de electricidad en caso de que se necesite. Son resistentes a la corrosión por muchas sustancias que atacan a otros materiales, y algunos son transparentes, lo que hace posible utilizarlos para óptica. También resultan fáciles de moldear con formas complejas, lo que permite la integración de distintos materiales y funciones. Y en el caso de que las propiedades físicas de un determinado plástico no se ajusten a los requisitos específicos, el equilibrio de sus propiedades puede modificarse añadiéndole o reforzándolo con cargas, colores, agentes que lo transformen en espuma, sustancias ignífugas, plastificantes, etc.; para satisfacer las demandas de una aplicación concreta. (Plastics Europe,2015)

Al ser materiales artificiales, no existen mecanismos en la naturaleza para su rápida degradación, lo cual constituye una importante desventaja a la hora de su disposición

final. El aumento desproporcionado en la generación de desechos sólidos está asociado a tres factores claves: crecimiento de la población, practica de un estilo de vida sin cuidado del medio ambiente y mejora en el poder adquisitivo de distintos estratos sociales. (Castellón, 2014)

La producción de plásticos derivados de recursos naturales implica un consumo menor de energía, así como menor emisión de gases tipo invernadero al ambiente. Además, los plásticos provenientes de biomasa implican independencia del petróleo. Sin embargo, hoy en día los costos de producción de estos plásticos de nueva generación están incrementando. Así mismo y ya que los bioplásticos se encuentran en desarrollo es importante pasar las barreras que limitan su uso, pues no todos los bioplásticos tienen las mismas propiedades mecánicas, de resistencia al agua y permeabilidad de gases que los plásticos tradicionales, es por ello que hoy en día la investigación sobre nuevos plásticos se encuentra en un momento importante. (Pacheco Gina, 2014)

1.12 Métodos para la obtención de plásticos

1.12.1 Extrusión

Es un método donde se moldea productos de manera continua, al empujar el material por un tornillo sinfín por medio de un cilindro que termina en una boquilla produciendo una tira de longitud indefinida. El cambio de la boquilla permite obtener Barras de distintos perfiles. Este procedimiento es empleado en la producción de tuberías, para el cual se inyecta aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal de la máquina. Mediante la regulación de la presión se puede obtener tubos de distinto espesor (Introducción a la química de polímeros, 2007).

1.12.2 Método brasileño

Un método de obtención de bioplástico a partir de harina de yuca, ha sido desarrollado en Brasil, pero que utiliza para la reacción de reticulación una solución de epiclorhidrina que es una sustancia con muy buenas propiedades reticulantes haciendo al material más resistente y que da mayor rigidez a las moléculas, ya que 40 forma enlaces cruzados, pero es una sustancia cancerígena, motivo por el cual no considero

que debería utilizarse ya que en muchos casos el bioplástico está en contacto con alimentos y dada la variedad de condiciones a las que son expuestas, existe el riesgo de contaminar, y como tal pierde la razón de ser del bioplástico que se quiere obtener (Tapia, 2011).

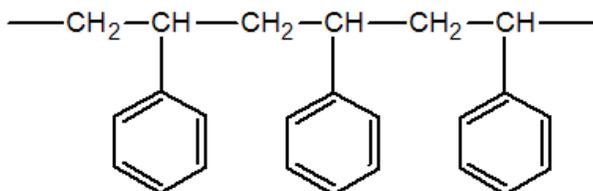
Cabe destacar que la reticulación es una reacción química presente en la química de los polímeros e implica la formación de una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas (Tapia, 2011).

1.13 Polímeros

Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Un polímero no es más que una sustancia formada por una cantidad finita de macromoléculas que le confieren un alto peso molecular que es una característica representativa de esta familia de compuestos orgánicos. Posteriormente observaremos las reacciones que dan lugar a esta serie de sustancias, no dejando de lado que las reacciones que se llevan a cabo en la polimerización son aquellas que son fundamentales para la obtención de cualquier compuesto orgánico. El almidón, la celulosa, la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales, entre los más comunes de estos y entre los polímeros sintéticos encontramos el nailon, el polietileno y la baquelita. (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

Figura N°I-6 Molécula del poliestireno



Fuente: (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

1.14 Propiedades

1.14.1 Propiedades eléctricas

Los polímeros industriales en general suelen ser malos conductores eléctricos, por lo que se emplean masivamente en la industria eléctrica y electrónica como materiales aislantes. Las baquelitas (resinas fenólicas) sustituyeron con ventaja a las porcelanas y el vidrio en el aparellaje de baja tensión hace ya muchos años; termoplásticos como el PVC y los PE, entre otros, se utilizan en la fabricación de cables eléctricos, llegando en la actualidad a tensiones de aplicación superiores a los 20 KV, y casi todas las carcasas de los equipos electrónicos se construyen en termoplásticos de magníficas propiedades mecánicas, además de eléctricas y de gran duración y resistencia al medio ambiente, como son, por ejemplo, las resinas ABS.

Para evitar cargas estáticas en aplicaciones que lo requieran, se ha utilizado el uso de antiestáticos que permite en la superficie del polímero una conducción parcial de cargas eléctricas.

Evidentemente la principal desventaja de los materiales plásticos en estas aplicaciones está en relación a la pérdida de características mecánicas y geométricas con la temperatura. Sin embargo, ya se dispone de materiales que resisten sin problemas temperaturas relativamente elevadas (superiores a los 200 °C).

Las propiedades eléctricas de los polímeros industriales están determinadas principalmente, por la naturaleza química del material (enlaces covalentes de mayor o menor polaridad) y son poco sensibles a la microestructura cristalina o amorfa del material, que afecta mucho más a las propiedades mecánicas. Su estudio se acomete mediante ensayos de comportamiento en campos eléctricos de distinta intensidad y frecuencia. Seguidamente se analizan las características eléctricas de estos materiales.

Los polímeros conductores fueron desarrollados en 1974 y sus aplicaciones aún están siendo estudiadas. (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

1.14.2 Propiedades físicas de los polímeros.

Estudios de difracción de rayos X sobre muestras de polietileno comercial, muestran que este material, constituido por moléculas que pueden contener desde 1.000 hasta 150.000 grupos CH₂ – CH₂ presentan regiones con un cierto ordenamiento cristalino, y otras donde se evidencia un carácter amorfo: a éstas últimas se les considera defectos del cristal. En este caso las fuerzas responsables del ordenamiento cuasi cristalino, son las llamadas fuerzas de Van der Waals. En otros casos (nylon 66) la responsabilidad del ordenamiento recae en los enlaces de H. La temperatura tiene mucha importancia en relación al comportamiento de los polímeros. A temperaturas más bajas los polímeros se vuelven más duros y con ciertas características vítreas debido a la pérdida de movimiento relativo entre las cadenas que forman el material. La temperatura en la cual funden las zonas cristalinas se llama temperatura de fusión (T_f) Otra temperatura importante es la de descomposición y es conveniente que sea bastante superior a T_f.

1.14.3 Las propiedades mecánicas

Son una consecuencia directa de su composición, así como de la estructura molecular tanto a nivel molecular como supramolecular. Actualmente las propiedades mecánicas de interés son las de los materiales polímeros y éstas han de ser mejoradas mediante la modificación de la composición o morfología, por ejemplo, cambiar la temperatura a la que los polímeros se ablandan y recuperan el estado de sólido elástico o también el grado global del orden tridimensional. Normalmente el incentivo de estudios sobre las propiedades mecánicas es generalmente debido a la necesidad de correlacionar la respuesta de diferentes materiales bajo un rango de condiciones con objeto de predecir el desempeño de estos polímeros en aplicaciones prácticas. Durante mucho tiempo los ensayos han sido realizados para comprender el comportamiento mecánico de los materiales plásticos a través de la deformación de la red de polímeros reticulados y cadenas moleculares enredadas, pero los esfuerzos para describir la deformación de otros polímeros sólidos en términos de procesos operando a escala molecular son más recientes. Por lo tanto, se considerarán los diferentes tipos de respuesta mostrados por

los polímeros sólidos a diferentes niveles de tensión aplicados; elasticidad, viscoelasticidad, flujo plástico y fractura. (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

1.15 Clasificación

Existen varias formas posibles de clasificar los polímeros, sin que sean excluyentes entre sí.

1.15.1 Polímeros naturales

Existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, los polisacáridos (como la celulosa y la quitina), el hule o caucho natural, la lignina, etc.

1.15.2 Polímeros semisintéticos

Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.

1.15.3 Polímeros sintéticos

Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nylon, el poliestireno, el Policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

1.15.4 Elastómeros

Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo, pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.

1.15.5 Plásticos

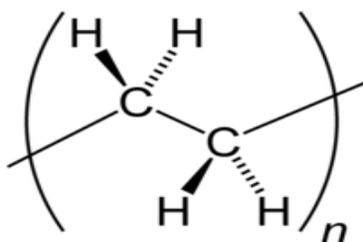
Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.

1.15.6 Termoplásticos

que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos. Su estructura molecular presenta pocos (o ningún) entrecruzamientos. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo PVC. (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

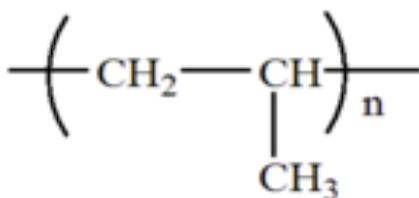
Polímeros comunes

Figura N°I-7 Polipropileno (PP)



Fuente: (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

Figura N°I-8 Poliestireno (PS)



Fuente: (Equipos y Laboratorios Colombia, 2022)

1.16 Pectina

La pectina se encuentra en frutas y verduras y, por lo tanto, abunda en los desechos agrícolas. Consiste en varias unidades de ácido poligalacturónico interrumpidas por enlaces cortos de ramnosa. Es altamente soluble en agua, y debido a su flexibilidad molecular, proporciona biopelículas con una amplia gama de deformaciones similares a las que se logran con algunos polímeros sintéticos, por ejemplo, las fibras de nylon y PET tienen valores de elongación que van del 10% al 10%. entre el 50%. Además, bajo ciertas condiciones, puede gelificarse.

La pectina se puede extraer industrialmente de otras frutas como la manzana, perón, membrillo y algunos cítricos, como el limón, toronja y lima; se escogerá la naranja debido a que es una de las frutas que más se producen en nuestro país.

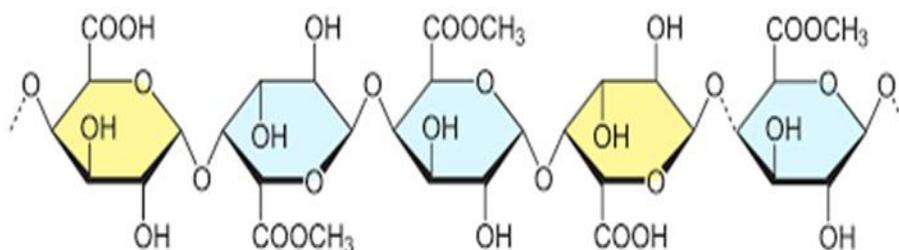
La pectina es soluble en agua y en ella se dispersa para dar soluciones muy viscosas, esta solubilidad disminuye cuando aumenta su tamaño molecular. En solución las pectinas presentan grandes áreas superficiales que están relacionadas con su carga eléctrica negativa.

La pectina también es soluble en alcohol, acetona, éter y casi todos los solventes orgánicos. Algunos electrolitos, como: cloruro de aluminio, sulfato de amonio, sulfato de cobre, cloruro férrico, sulfato de magnesio, sulfato de aluminio, pectina precipitan en solución, por debajo del pH apropiado. (Silvateam S.p.a.,2023)

1.17. Estructura Química de la Pectina

La pectina forma parte de un carbohidrato complejo, cuyo componente principal de su estructura está formado por ácido-galacturónico $C_6H_{10}O_7$, con al menos un 65% de unidades. En las pectinas las cadenas de su estructura están formadas por anillos de este ácido, en donde el número varia de unos cuantos centenares, hasta aproximadamente 1000 y con al menos 50 000 a 150 000 daltons en masas moleculares. Los anillos de sus cadenas poseen grupo carboxilo ($-COOH$), los cuales pueden esterificarse con metanol produciendo ésteres metílicos ($-COOCH_3$) los mismo que pueden neutralizarse por una base como se esquematiza en la siguiente figura:

Figura N°I-9. Estructura de las pectinas



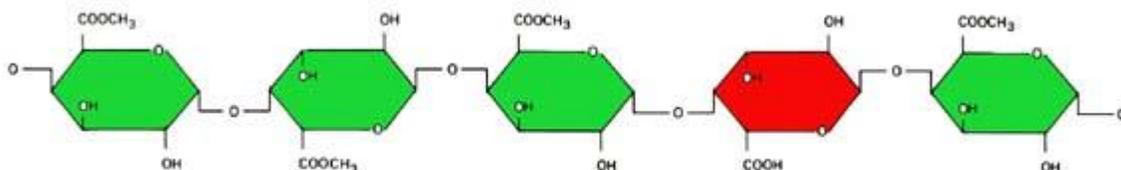
Fuente: Wikipedia 2015

El parámetro químico más importante para la clasificación de pectinas es el grado de esterificación (M), es decir, el número de funciones carboxilo afectadas por cada 100 grupos galacturónicos; Esto permite distinguir dos grupos de pectinas:

Pectinas fuertes metiladas (H.M. mayor 55%)

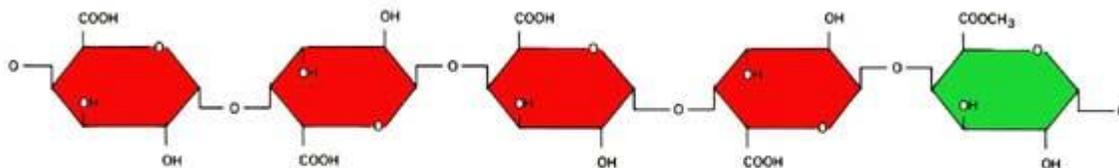
Pectinas débilmente metiladas (L.M. menor 45%)

Figura N°I-10. Pectinas fuertes metiladas



Fuente: (Calvo Miguel,2017)

Figura N°I-11 Pectinas débilmente metiladas



Fuente: (Calvo Miguel,2017)

1.18 Geles de pectina de alto metoxilo

La primera condición para obtener geles de pectina de alto metoxilo es que el pH sea bajo, Para que los grupos ácidos, minoritarios, se encuentren fundamentalmente en forma no ionizada, y no existan repulsiones entre cargas. A pH 3,5, aproximadamente la mitad de los grupos carboxilo del ácido galacturónico se encuentran ionizados, pero por debajo de pH 2 el porcentaje es ya muy pequeño. Las cadenas de pectinas de alto metoxilo pueden entonces unirse a través de interacciones hidrofóbicas de los grupos metoxilo o mediante puentes de hidrógeno, incluidos los de los grupos ácidos no ionizados, siempre que exista un material muy hidrófilo (azúcar) que retire el agua.

En consecuencia, las pectinas de alto metoxilo formarán geles a pH entre 1 y 3,5, con contenidos de azúcar entre el 55% como mínimo y el 85%. (Calvo, 2017).

El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades. En particular, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Por ejemplo, una pectina con un grado de esterificación del 75% es capaz de gelificar ya a temperaturas de 95°, y lo hace en muy pocos minutos a temperaturas por debajo de 85°C. Por esto se llaman "pectinas rápidas". Son, por ejemplo, las que se utilizan en la fabricación de gominolas, que, con una concentración muy elevada de azúcar, hasta el 80% de sólidos, forman geles que pueden desmoldearse al poco tiempo. (Calvo, 2017)

En cambio, una pectina con un grado de esterificación del 65% no gelifica a una temperatura de 75°C, y tarda alrededor de media hora en hacerlo a 65°C. Es lo que se llama una "pectina lenta". Además, las pectinas con un grado de esterificación mayor forman geles que son irreversibles térmicamente, mientras que los geles formados por pectinas de grado de esterificación menor son reversibles. (Calvo, 2017)

Para cada tipo de pectina con un grado de metoxilación concreto existe una combinación óptima de concentración de azúcar y pH, aunque se pueden obtener geles dentro de un cierto rango de pH.

1.19 Geles de pectina de bajo metoxilo

En el caso de las pectinas de bajo metoxilo, el mecanismo de formación de geles es totalmente distinto, ya que la unión entre cadenas se produce a través de iones de calcio, que forman puentes entre las cargas negativas. La estructura es semejante a la "caja de huevos" de los geles de alginato, pero algo menos ordenada, dada la presencia de grupos esterificados entre los galacturónicos sin esterificar. La concentración de calcio es importante hasta llegar a una cierta cantidad, que depende de cada tipo concreto de pectina, y que se conoce como "saturación de calcio". Suele estar en torno a las 500 ppm. Por encima, una mayor cantidad de calcio no tiene efecto, o incluso en algunos casos puede llegar a debilitar el gel. Esto no sucede en el caso de otros geles de este

tipo, como es el de alginato. Las pectinas de bajo metoxilo forman geles de consistencia máxima con cantidades de calcio que oscilan de 20 a 100 mg de por gramo de pectina. La presencia de azúcar reduce mucho la cantidad de calcio necesaria. Consecuentemente, a menor cantidad de azúcar presente en el producto, es necesario utilizar pectinas de metoxilo menor para obtener la misma consistencia (Calvo ,2017)

1.20 Pectinas amidadas

Las pectinas amidadas se obtienen mediante procesos químicos, formando amidas con amoníaco en algunos de los grupos carboxilo de pectinas de bajo metoxilo. Forman geles en presencia de calcio, y tienen como ventaja una mayor tolerancia frente a la concentración de este ion, en comparación con las pectinas de bajo metoxilo convencionales. A mayor grado de amidación, la temperatura de formación de geles es también mayor. (Calvo, 2017)

1.21 Las pectinas como estabilizantes

las pectinas se comportan muy bien como estabilizantes de las caseínas frente a los tratamientos térmicos a pH ácido. Dado que a pH por encima de 3,5 las pectinas tienen carga negativa, son capaces de unirse a las regiones con carga positiva de las micelas, formando una "bola peluda" que se mantiene en suspensión. (Calvo 2017).

Las pectinas, como muchos otros polisacáridos, se hinchan muy rápidamente con el agua, y por eso cuando se añaden de golpe, y especialmente si se añade agua sobre el sólido, forman agregados difíciles de disolver. La solución es separar las partículas cuando se mezcla el polisacárido con el agua, con sistemas mecánicos o mezclándolo previamente con otro material no acuoso. son relativamente inestables desde el punto de vista químico, especialmente a temperaturas elevadas. Su máxima estabilidad está en torno a pH 4. (Calvo, 2017)

1.22. Propiedades físicas de la pectina

1.22.1. Longitud de cadenas

“Determina la consistencia del gel y está por lo tanto íntimamente relacionada con el poder gelificante” (Cabarcas, Guerra, & Henao, 2012).

1.22.2. Peso molecular

El peso molecular de las pectinas varía de acuerdo a la materia prima, condiciones de extracción, y procedimientos de purificación. En base a viscosimetría, el peso molecular de las pectinas comerciales normalmente se encuentra dentro del rango de 50 000 a 150 000 Dalton. que también se le conoce como unidad de masa atómica unificada, es una unidad estándar de masa empleada en física de partículas y bioquímica, corresponde a la doceava (1/12) parte de la masa de un átomo de Carbono-12 y equivale a $1.660\ 538\ 921\ (73) \times 10^{-27}$ kg. (Gómez, y otros, 2001)

1.22.3. Peso equivalente

Depende del grado de esterificación y puede ser definido como el número de gramos de ácido poligalacturónico puro por equivalente de grupos carboxilo libres” (Nizama, 2015).

1.23 Propiedades Fisicoquímicas de las Pectinas

1.23.1 Solubilidad

El agua es el mejor solvente para las pectinas, aunque también es soluble en formamida, dimetilformamida y glicerina caliente. La pectina es además insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes; estos agentes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones después de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima. (Salomón Ferreira Ardila 2007).

1.23.2. Acidez

Las sustancias pépticas son neutras en su estado natural, en solución tienen carácter ácido el cual depende del medio y del grado de esterificación. El pH de las soluciones

de pectina varía entre 2,8 y 3,4 como función del grado de esterificación. La pectina tiene una constante de disociación aparente de $0,1$ a $10,0 \times 10^{-4}$ a 19°C y la del ácido mono galacturónico es de $3,25 \times 10^{-4}$ a 19°C . (Salomón Ferreira Ardila 2007).

1.23.3. Rotación óptica

Las soluciones de pectina son ópticamente activas. La rotación específica de las pectinas es de $+230^\circ$ pero se ha encontrado que la pureza aumenta este valor; así el pectato de naranja con el 95,5% de pureza tiene una rotación óptica de $+300^\circ$ y el pectato con el 92,5% de pureza tiene $+277^\circ$ de rotación específica (Salomón Ferreira Ardila 2007).

1.23.4. Viscosidad

Las pectinas forman soluciones viscosas en agua, esta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. En las pectinas con alto grado de esterificación la viscosidad por efecto de su presencia aumenta al aumentar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución. (Salomón Ferreira Ardila 2007).

1.24 Pectina en Bolivia

Bolivia importa pectina de países como México, Suiza, Dinamarca, Brasil; en el año 2014 la importación de pectina en Bolivia ascendió a 32 toneladas, generando altos costos por concepto de importación. La pectina es utilizada principalmente en la industria alimentaria, es un aditivo necesario en la elaboración de un gran número de productos a base de fruta, también es utilizada para mejorar la consistencia y la estabilidad de las pulpas en bebidas en base a jugos y actúa como estabilizante de las proteínas en ambiente ácido, además, tiene aplicaciones en el sector farmacéutico y cosmético.

1.25 Métodos de Obtención de Pectina

1.25.1. Hidrólisis ácida

La extracción de pectinas por hidrólisis ácida se lleva a cabo a altas temperaturas, bajo pH. La presencia del ácido en medio acuoso a temperaturas elevadas ayuda a un rápido

y brusco rompimiento de las paredes celulares de la corteza del fruto y la pectina se separa de los desechos de diferentes frutos mediante la acidificación. Comercialmente las pectinas se extraen a altas temperaturas al hidrolizar la protopectina usando ácidos tales como HCl, HNO₃, C₆H₈O₇ y H₂SO₄. (Morales ,2019)

Los polisacáridos tienen la particularidad de hidrolizarse a compuestos más simples mediante una sustitución nucleofílica provocada por la adición de un ácido capaz de donar el protón necesario para favorecer la fragmentación la cadena de la molécula por la acción del agua.

Posteriormente al pretratamiento se procede a agregar el ácido y cierta cantidad de agua para someter a calentamiento a reflujo constante, las condiciones experimentales se deben ajustar de acuerdo al material a tratar, pudiéndose modificar el tipo de ácido utilizado, las concentraciones de este en la solución, la temperatura de calentamiento y el tiempo al que se someterá. (Morales,2019)

1.25.2 Hidrolisis Acida asistida por microonda

La pectina es un polisacárido, componente de la pared celular de algunas plantas, especialmente de frutas y verduras y presenta propiedades hidrocoloidales, gelificantes, estabilizantes, emulsionantes y espesantes. Las principales fuentes son las cáscaras de cítricos y el orujo de manzana, y se obtiene industrialmente mediante un método convencional de extracción por hidrólisis ácida utilizando ácidos minerales como solvente que presenta desventajas como pérdida de algunos compuestos volátiles, la degradación de compuestos valiosos presentes en los materiales vegetales, los ácidos son corrosivos y el tratamiento de los residuos implica un mayor costo. (Morales ,2019)

Tabla N°I-7. Ventajas y desventajas de métodos de obtención de pectina

Proceso	Ventajas	Desventajas
<p>Hidrólisis Ácida Común</p>	<p>Disponibilidad de equipos en LOU</p> <p>Costo bajo de inversión</p> <p>Reactivos accesibles y económicos HCl y C₂H₄OH para la extracción de pectina.</p> <p>No genera desechos peligrosos para el medio ambiente y pueden ser reutilizables.</p> <p>Se obtiene una pectina de buena calidad que servirá para un bioplástico de mejor calidad.</p>	<p>El tiempo de extracción es más largo.</p> <p>Mayor consumo de energía por el uso del calentador y agitador magnético.</p> <p>Dificultad para conseguir HCl por ser precursor</p>
<p>Hidrólisis Ácida asistida por microonda</p>	<p>El tiempo de extracción es más corto.</p> <p>Menos consumo de energía.</p> <p>Reactivos accesibles</p> <p>Se obtiene una pectina de buena calidad servirá para un bioplástico de mejor calidad.</p>	<p>No se cuenta con el equipo necesario en LOU.</p> <p>Costo de inversión inicial elevado (tendría que adquirirse el microondas).</p> <p>El proceso es poco habitual para la obtención de pectinas que debido a su alto costo económico.</p>

Fuente: Elaboración Propia

1.26 Gelificantes

Los gelificantes son las sustancias con la capacidad de crear geles. Un gel está compuesto por dos fases (sólido-líquido) que les aportan una densidad similar a los líquidos, sin embargo, su estructura se asemeja más a la de un sólido. Las sustancias gelificantes se usan desde hace mucho tiempo en la cocina y son principalmente el almidón (y sus derivados) y la gelatina (de origen animal o vegetal).

La gelificación básica (gelatinas) comenzó en la cocina clásica a través de las colas de pescado, por las que se obtenía gelatina fría, con el tiempo se empezaría a desarrollar gelatinas a base de extractos de algas (especialmente algas rojas). Estos extractos mezclados con el líquido nos dan diferentes texturas de gelatina como, por ejemplo: gelatina caliente. (Gadgets&Cuina,2022).

La evolución de los gelificantes ha sido una pieza clave en la denominada cocina molecular. La esferificación, la técnica más representativa de la cocina molecular, se basa en la gelificación de un líquido que, sumergido en gotas en una mezcla de agua y cloruro de calcio, se convierte en esferas gelatinosas. (Gadgets&Cuina,2022).

1.27 Almidón de Yuca Natural

Es un polvo fino natural obtenido de la molienda de la yuca. El almidón es un carbohidrato, compuesto por amilosa y amilopectina. El cual es usado en productos industriales, alimenticios y/o farmacéuticos, como excipiente, gelificante, texturizante, retenedor de agua. (Vargas ,2021)

Figura N°I-12 Almidón de Yuca



Fuente: (Vargas ,2021)

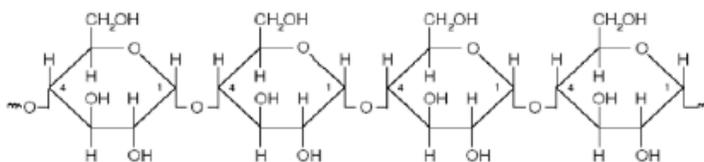
1.28 Composición Química del Almidón

La naturaleza del almidón es heterogénea, tiene dos componentes, un componente menor denominado AMILOSA que tiene esencialmente una estructura lineal y un componente mayor denominado AMILOPECTINA con una estructura ramificada. (Vargas ,2021)

La amilosa y amilopectina difieren en muchas de sus propiedades.

Las diferencias son debidas principalmente a la presencia de un 4% a 5% de enlaces entre las cadenas de las moléculas ramificadas de amilopectina. (Vargas ,2021)

Figura N°I-13 Estructura de molécula de amilosa



Fuente: (Vargas ,2021)

Tabla N° I-8 Ventajas del Almidón de Yuca frente a otros tipos de almidones

Tipo de Almidón	Ventajas	Desventajas
Almidón de Yuca	<ul style="list-style-type: none"> - Alto nivel de pureza. - Excelentes características espesantes. - Un sabor neutro (suave). - Características texturales deseables. - Tiene una temperatura de gelatinización baja entre 60°C-65°C. - Costo económico bajo. - Fácil de conseguir. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene una resistencia mecánica media. - Puede adquirir humedad más fácilmente que los otros tipos de almidones

Almidón de Maíz	<ul style="list-style-type: none"> - Es un excelente espesante. - Es de mayor uso alimenticio. - La maicena se utiliza como agente anti aglomerante para prevenir la formación de grumos, especialmente durante la preparación de la masa de tortas y pasteles. - Tiene diferentes usos en el área de la medicina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene una resistencia mecánica media. - Costo económico más elevado que el almidón de yuca. Tiene una temperatura de gelatinización alta entre 75°C-80°C.
Almidón de Papa	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades gelificantes superiores con mayor elasticidad y fusión limpia - Desarrollo de alta viscosidad para ahorro de energía y calidad del producto alimenticio. - Excelente capacidad de retención de agua de los gránulos de almidón grandes, lo que permite una mayor viscosidad. Tiene una temperatura de gelatinización alta entre 58°C-65°C. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene una resistencia mecánica media. - Costo económico más elevado que el almidón de yuca y que el almidón de maíz. - Dificultad para conseguir el producto.

Fuente: Elaboración Propia

Observando las características de los diferentes tipos de almidones presentadas en la Tabla N° I-8 podemos concluir que el almidón de yuca presenta mejores condiciones frente a los demás almidones, esto sirvió para la elección de este en el presente proyecto de grado, contribuyendo a obtener un bioplástico con buenas cualidades.

1.29 Gelatinización del Almidón de yuca

Se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua, con muy poca o ninguna ocurrencia de despolimerización.

La gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperaturas que varía dependiendo de la fuente del almidón. El almidón de yuca gelatiniza en agua a temperaturas entre los 60 °C y 67 °C, lo que consiste en un hinchamiento de las moléculas de almidón debido a que el agua penetra en su estructura molecular. (Stevens S, E. S. 2002)

La movilidad térmica de las moléculas y la disolución debida al hinchamiento generan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular se fragmenta casi por completo. La viscosidad de esta mezcla depende de la concentración y de la absorción de agua por parte del almidón. Cuando ocurre la gelatinización, los gránulos hinchados del almidón ocupan los espacios vacíos. La viscosidad aumenta con la temperatura hasta la fragmentación de los gránulos, que se desintegran y se disuelven generando un decrecimiento en la viscosidad (Stevens, E. S. 2002).

Pero en condiciones de alta concentración de almidón, como suele suceder cuando se pretende obtener un almidón termoplástico, el comportamiento es diferente. Mientras más rigidez haya, se da una mayor resistencia debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que genera una alta viscosidad. (Stevens, E. S. 2002)

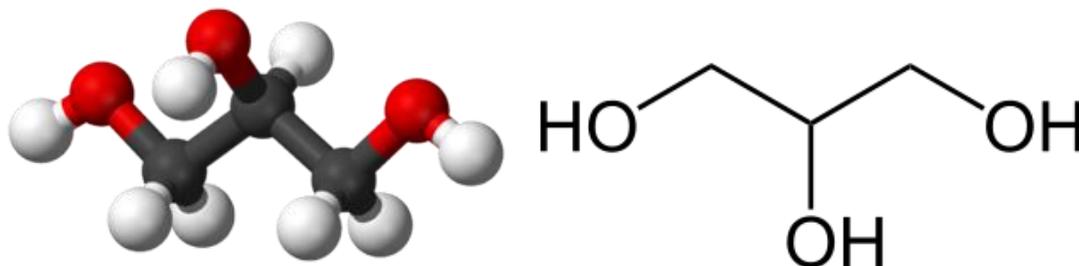
En estas condiciones, cuanto más calor se adiciona, el agua retenida desintegra la estructura ordenada de los gránulos, y la amilosa comienza a difundirse formando un gel que finalmente soporta los gránulos compuestos ante todo por amilopectina. (Stevens, E. S. 2002)

1.30 Glicerina

El propano-1,2,3-triol, glicerol o glicerina ($C_3H_8O_3$) (del griego glykos, dulce) es un alcohol con tres grupos hidroxilos ($-OH$). Se trata de uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos, paso previo para el ciclo de Krebs y también aparece como un producto intermedio de la fermentación alcohólica. Además, junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de lípidos como los triglicéridos y los fosfolípidos. Se presenta en forma de líquido a una temperatura ambiental de 25 °C

y es higroscópico e incoloro. Posee un coeficiente de viscosidad alto y tiene un sabor dulce como otros polialcoholes. (Kerton, Francesca, 2009)

Figura N°I-14 Estructura de la Glicerina



Fuente: Kerton, Francesca 2009

1.31 Estructura

Aunque se trate de un compuesto aquiral, el glicerol o glicerina es proquiral con respecto a las reacciones de uno de sus dos alcoholes primarios. Por lo tanto, en los derivados del glicerol (por sustitución), la numeración estereo específica etiqueta la molécula con un prefijo antes de la raíz de la molécula. (Kerton, Francesca 2009)

Propiedades Físicas de la glicerina

Tabla N°I-9 Propiedades físicas de la glicerina

Apariencia	Incoloro
Densidad	1261 kg/m ³ ; 1,61 g/cm ³
Masa molar	92,09382 g/mol
Punto de fusión	291 K (18 °C)
Punto de ebullición	563 K (290 °C)
Viscosidad	1.5 Pa·s
Índice de refracción (nD)	1,66

Fuente: Wikipedia 2011

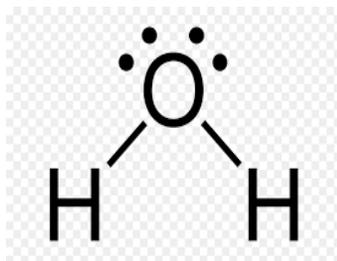
1.32 Agua Destilada

El agua destilada es el agua (H₂O) que ha sido sometida a procedimientos de destilación para retirarle los contaminantes disueltos y llevarla a un estado de máxima

pureza. Este proceso se puede realizar de múltiples maneras, pero, en general, la destilación consiste en la vaporización y condensación selectivas (según el punto de ebullición de cada componente) para separar cualquier fase sólida o líquida que se encuentre disuelta en el agua.

Es utilizada comúnmente como un plastificante para lograr la desestructuración del almidón en las mezclas utilizadas para obtener almidones termoplásticos. Es el plastificante natural más económico, y por este motivo es el de más fácil acceso. Es un plastificante efectivo del almidón por su compatibilidad (Shanks& Kong, 2008)

Figura N°I-15 Estructura del agua destilada



Fuente: (Shanks& Kong, 2008)

1.33 Definición de Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos (DOE) puede definirse como un proceso que consiste en plantear los pasos necesarios que se deben seguir, así como el orden de estos, para una recolección y posterior análisis de la información que requiere estudiar un problema de investigación. Su objetivo es el de obtener el máximo de información requerida por el experimento con el mínimo coste y la máxima eficiencia. Un buen diseño es aquel que es capaz de proporcionar exactamente el tipo de información que se busca, con precisión, y es más eficiente cuando proporciona esta información con un número menor de datos. Sin embargo, para esto es necesario saber que se está buscando, lo cual parece obvio, pero no siempre es así. (Fernández Bao ,2020)

1.34 Experimentos con un solo factor: Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza es utilizado para verificar si existen diferencias estadísticas significativas entre la media de más de dos muestras o grupos de muestras en un mismo

planteamiento. El procedimiento que utiliza este método es comparar estos valores basados en la varianza global de las muestras a comparar. Típicamente se utiliza este análisis para asociar una probabilidad a la conclusión de que las medias de dos o más poblaciones son distintas. El objetivo del análisis se basa en la descomposición de variabilidad total en dos partes, una debida a la variabilidad entre las distintas poblaciones y otra parte a la variabilidad intrínseca de las observaciones. (Fernández Bao ,2020)

1.35 Modelo Estadístico

El modelo estadístico para este diseño experimental considera la interacción entre los factores involucrados en el análisis, la ecuación para este modelo se muestra a continuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

μ es la media general del experimento.

α_i el efecto debido al i-ésimo nivel del factor A.

β_j es el efecto del j-ésimo nivel del factor B.

γ_k es el efecto del k-ésimo nivel del factor C.

$\alpha\beta_{ij}$ representa el efecto de interacción de la combinación ij.

$\alpha\gamma_{ik}$ representa el efecto de interacción de la combinación ik.

$\beta\gamma_{jk}$ representa el efecto de interacción de la combinación jk.

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$ representa el efecto de interacción de la combinación ijk

ϵ_{ijk} el error aleatorio que, se supone, sigue una distribución normal con $\mu=0$

y $\sigma^2=$ Constante, además de que son independientes entre sí. Para establecer la influencia de los factores analizados en la variable de respuesta será necesario probar las siguientes hipótesis de trabajo:

Para los efectos del factor A:

$$H_0: \alpha_i = \alpha_j = 0$$

$$H_1: \alpha_i \neq \alpha_j \neq 0$$

Para los efectos del factor B:

$$H_0: \beta_i = \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq \beta_j \neq 0$$

Para los efectos del factor C:

$$H_0: \gamma_i = \gamma_j = 0$$

$$H_1: \gamma_i \neq \gamma_j \neq 0$$

1.36 Modelo 2^3

Se introduce un breve resumen de este modelo. Supongamos que se tienen tres factores binarios A, B y C. El número de posibles combinaciones es 8, y con n repeticiones se tiene un total de 8n observaciones. Para calcular los efectos se puede usar la siguiente tabla o matriz de diseño:

Tabla N°I-10 Matriz del Modelo 2^3

Efecto Factorial	1	a	b	ab	c	ac	bc	abc
I	+	+	+	+	+	+	+	+
A	-	+	-	+	-	+	-	+
B	-	-	+	+	-	-	+	+
AB	+	-	-	+	+	-	-	+
C	-	-	-	-	+	+	+	+
AC	+	-	+	-	-	+	-	+
BC	+	+	-	-	-	-	+	+
ABC	-	+	+	-	+	-	-	+

Fuente: Elaboración Propia

La primera fila es la identidad y cualquier fila multiplicada por ella permanece invariante. El resto de filas tiene el mismo número de signos + y signos -. Se pueden obtener los contrastes y los efectos sustituyendo los signos + por 1 y los - por -1, como se ve a continuación.

Por otro lado, se pueden obtener las distintas filas a partir del producto entre ellas, por ejemplo:

$$A \cdot B = AB,$$

$$(AB) \cdot (B) = A \cdot B^2 = A,$$

$$(AC) \cdot (BC) = A \cdot C^2 \cdot B = AB$$

1.37 Estimación de los efectos

Los efectos medios se calculan a partir de los contrastes indicados en la tabla anterior partidos entre 4n:

$$A = \frac{1}{4n} [a - (1) + ab - b + ac - c + abc - bc]$$

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$AB = \frac{1}{4n} [(1) + ab + c + abc - a - b - ac - bc]$$

$$AC = \frac{1}{4n} [(1) + b + ac + abc - a - ab - c - bc]$$

$$BC = \frac{1}{4n} [(1) + a + bc + abc - b - ab - c - ac]$$

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc + a + b + c - ab - ac - bc - (1)]$$

Las sumas de los cuadrados son, en cada caso, de manera semejante al diseño 2^2 ,

$$SCE_{fec} = \frac{\text{contraste}^2}{8n}$$

1.38 Dominio Experimental

Existen varios factores que pueden afectar en mayor o menor proporción al proceso de obtención de pectina y del bioplástico, entre ellos se encuentran: temperatura de hidrólisis, pH y el tiempo de hidrólisis para la pectina y volumen de glicerina, pH y

cantidad de agua para el bioplástico que pueden afectar el rendimiento del proceso y las propiedades fisicoquímicas del producto. A continuación, se muestra el dominio experimental con los valores mínimos y máximos de las variables independientes en la siguiente tabla:

Tabla N°I-11 Dominio experimental Para la pectina

Factores	Unidad de Medida	Dominio Experimental	
		Nivel Min.	Nivel Max.
Temperatura	Grados Celsius (°C)	60	80
pH	Concentración (H ⁺)	1,5	2,5
Tiempo de Hidrolisis	Tiempo (minutos)	60	80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°I-12 Dominio Experimental para el bioplástico

Factores	Unidad de Medida	Dominio Experimental	
		Nivel Min.	Nivel Max.
Cantidad de Pectina de Naranja	Gramos(g)	3,5	5
Cantidad de Almidón de Yuca	Gramos(g)	2,5	5
Volumen de Glicerina	Mililitros (ml)	2	4

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Descripción y análisis de materias primas

En la actualidad del País la utilización de la cáscara de naranja es casi nula, por lo cual no se la aprovecha como se debería, desperdiciando las diversas propiedades que tiene esta, esta sería la razón por la cual se propone la presente investigación como una alternativa para generar ingresos económicos y de la misma forma reducir el impacto de los deshechos aparte de utilizar materias primas de costo accesible.

Se analiza la materia prima (cáscara de naranja) para conocer las diversas propiedades que tiene esta, este análisis se realizara en Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS.

2.2. Descripción del método de investigación

El proceso de elaboración de bioplástico a base de cáscara de naranja esta dividido en dos subprocesos, el primero es el procedimiento para la obtención de la pectina y el segundo sub proceso es el procedimiento para la obtención del Bioplástico.

En el subproceso de obtención de pectina se realizará la extracción partiendo de la variedad de Naranja Citrus sinensis (Valencia Tardía), se elige esta variedad ya que es una de las naranjas más comercializadas y consumidas en el departamento de Tarija, por lo tanto, existe mayor cantidad de deshechos (cáscaras) de esta.

En el subproceso de obtención del bioplástico se partirá de la pectina obtenida en el proceso anterior para posteriormente realizar el procedimiento, más adelante descrito se pretende obtener un bioplástico con buenas características.

Es importante recalcar también el desarrollo del diseño experimental donde se manejan las variables manipulables y variable fija del proceso para la elaboración del bioplástico.

2.3 Diseño Experimental

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea un diseño factorial de 2K, donde 2 son los niveles y 3 factores, se plantea dos diseños factoriales para esta

investigación, uno para el proceso de obtención de la pectina y otro para el proceso de obtención del bioplástico.

Tabla N°II-1 Variables independientes para la obtención de la pectina

N°	Variable	Clase	Unidad
1	Temperatura	Independiente	°C
2	pH	Independiente	H*
3	Tiempo	Independiente	min

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°II-2 Variables dependientes para la obtención de la pectina

N°	Variable	Clase	Unidad
1	Rendimiento	Dependiente	%

Fuente: Elaboración Propia

El diseño factorial del presente estudio para la extracción experimental de pectina a partir de la cáscara de naranja pertenece al modelo 2^k , donde k corresponde al número de factores que intervienen en el proceso y 2 son los niveles.

Modelo de diseño factorial = 2^k

N° variables= 3

Subniveles = 2

N° de experimentos= $2^3= 8$

Tabla N°II-3 Variables independientes para la obtención del bioplástico

N°	Variable	Clase	Unidad
1	Cantidad de Pectina de Naranja	Independiente	g
2	Cantidad de Almidón	Independiente	g
3	Volumen de Glicerina	Independiente	ml

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°II-4 Variables dependientes para la obtención del bioplástico

N°	Variable	Clase	Unidad
1	Tensión	Dependiente	N/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

El diseño factorial del presente estudio para la obtención del bioplástico pertenece al modelo 2^k , donde k corresponde al número de factores que intervienen en el proceso y 2 son los niveles.

Modelo de diseño factorial = 2^k

N° variables= 3

Subniveles = 2

N° de experimentos= $2^3 = 8$

2.4 Selección de variables del proceso experimental

2.4.1 pH

Es una variable independiente de la investigación, en medio ácido los valores de pH utilizados para la extracción varían según la materia de la cual se extraen. Por lo tanto, se estudia el efecto del pH en sus dos niveles (pH: 1,5 y pH: 2.5) sobre la variable rendimiento.

2.4.2 Tiempo de hidrólisis

Es el tiempo en la etapa de hidrólisis ácido, es también una variable independiente que se estudiará para determinar su efecto en el rendimiento de pectina extraída. Los rangos de tiempo de hidrólisis están en un rango de 60 a 80 min.

2.4.3 Temperatura de hidrólisis

En el presente trabajo de investigación se utilizó un rango de temperatura de extracción entre 60 y 80 °C. Cabe resaltar que la temperatura de la hidrólisis ácida, en investigaciones preliminares, fue una variable de estudio estadísticamente significativa para el rendimiento en la extracción de pectina.

2.4.4 Cantidad de Pectina de naranja

Se utilizó pectina desde 3,5 a 5 g, la pectina mejora las características de resistencia de la película de bioplástico.

2.4.5 Cantidad de almidón de Yuca

En el trabajo realizado se trabajó con dosis desde 2,5 g a 5 gr de almidón, el almidón se usará para reforzar propiedades como la elasticidad del bioplástico.

2.4.6 Volumen de Glicerina

Se trabajo con rangos de 2 a 4 ml de glicerina, la glicerina sirve de plastificante para mejorar el aspecto del bioplástico.

2.5 Determinación de propiedades Fisicoquímicas de la pectina de naranja

2.5.1 Determinación del peso Equivalente y Acidez libre

Se valoró una mezcla de pectina de 0,5 g de pectina con 5 ml de alcohol Etílico y 100 ml de agua destilada, se añadieron unas gotas de rojo fenol y se tituló con Hidróxido de Sodio hasta viraje de color amarillo (punto final), persistiendo 30 segundos (Ferreira, 2007).

2.5.2 Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico

Con la solución utilizada en la determinación del peso equivalente se desesterificó el metoxilo con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,25 N, se dejó tapado y después de 30 minutos se neutralizó la soda con HCl 0,25 N, posteriormente se tituló con una solución con NaOH hasta obtener un pH superior a 7 evidenciado por un cambio de color (Ferreira, 2007).

2.6 Determinación de las Propiedades Mecánicas y Fisicoquímicas del Bioplástico obtenido

2.6.1 Determinación de la Tensión y Modulo Tensil del bioplástico obtenido.

Las propiedades expresan la resistencia de un material a la elongación y a la ruptura, cuando se somete a tensión, el módulo de elasticidad indica cuan rígido es un material (Oliveira et al. 1996). El alargamiento a la rotura y módulo de elasticidad se determinó basado en el método D 828-95a de la ASTM 1995 con adaptaciones

Las probetas fueron sometidas a fuerzas de tracción tiradas de ambos bordes de estas, dichas probetas se cortaron en piezas de 14 mm de ancho y 19 mm de largo y un espesor de 1 mm. para esto se fue añadiendo pesos desde 20 gramos fuerza (gf) hasta un peso promedio aproximado de 2895 gramos fuerza (gf) por lado, donde se puede observar un cambio en el material tratado, (ruptura del bioplástico).

Las fotos de las pruebas de tensión y módulo de elasticidad son presentadas en el **ANEXO 3**.

2.6.2 Determinación de la solubilidad del bioplástico obtenido.

Para la obtención de este parámetro se realizaron 3 ensayos en los cuales se cortó el bioplástico en las medidas de 2,5 x2,5cm y se secaron hasta peso contante en la estufa a 105°C durante 2h, luego se colocaron en 100 ml de agua desionizada con agitación constante durante 2 horas. Se retiraron las muestras y se llevaron a estufa a 40 °C hasta que está seca y seguidamente a 105 °C hasta peso constante.

2.6.3 Resultado de la biodegradación del bioplástico obtenido.

Para determinar la biodegradabilidad, se empleó un método gravimétrico, en un periodo de tiempo de 20 días, evaluando la pérdida de peso cada 5 días en condiciones aeróbicas, para esto se cortaron láminas de 2,5cm x 2,5 cm.

Se realizó el ensayo con tierra proveniente de la quebrada del Barrio Tejar de la Ciudad de Tarija con coordenadas geográficas de 21°32'47.9"S 64°43'29.3"W, esta tierra presentó un pH de 6,80.

2.7 Equipos, materiales y reactivos necesarios

2.7.1 Equipos

Los equipos utilizados para la elaboración del bioplástico son los citados a continuación, las especificaciones de estos se encuentran en el (Anexo 3).

- Balanza analítica.
- Calentador-agitador magnético.
- pH-metro.
- Estufa
- Bomba de vacío.
- Tamiz

2.7.2 Materiales de laboratorio

Los materiales utilizados para la obtención del bioplástico de cáscara de naranja, son los siguientes:

Tabla N°II-5 Materiales utilizados para la elaboración del Bioplástico

Material	Tipo	Capacidad/Tamaño	Cantidad
Vasos de Precipitado	Vidrio borosilicato	1 000 ml, 600 ml.	2
Probetas	Vidrio borosilicato	50 ml, 25 ml.	2
Embudo Büchner	Porcelana	Grande	1
Espátula	Metal	Mediana	1
Matraz Erlenmeyer	Vidrio borosilicato	250 ml	1
Matraz Kitasato	Vidrio borosilicato	1000 ml	1
Varilla	Vidrio Pirex	Mediano	1
Cuchillo de Acero	Acero Inoxidable	Mediano	1
Termómetro de Alcohol	Vidrio	-10 a 100 °C	1
Papel filtro	Papel	Mediano	24
Placas de vidrio	Vidrio	Medianos	4

Fuente: Elaboración Propia

2.7.3 Reactivos empleados

Los reactivos usados para la obtención del bioplástico son:

- Ácido clorhídrico Concentrado.
- Alcohol Etilico al 96 %.
- Glicerina
- Pectina de Naranja.
- Almidón de yuca
- Agua destilada.

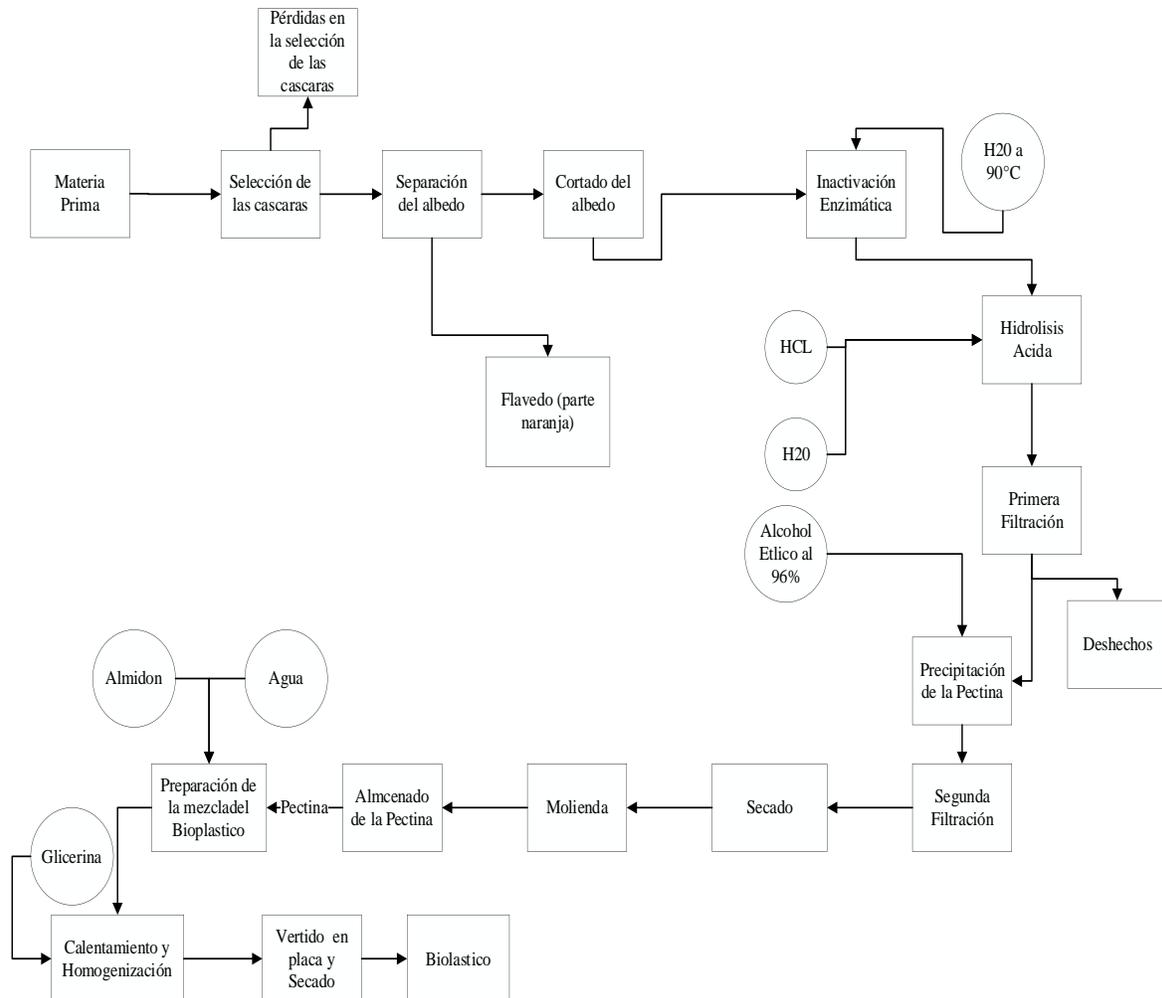
Los reactivos que se emplearon para la caracterización fisicoquímica de la pectina son los siguientes:

- Indicador rojo de fenol.
- Hidróxido de sodio 0,25 N.
- Hidróxido de sodio 0,1 N.
- Ácido clorhídrico 0,25 N.

2.8 Descripción del proceso seleccionado

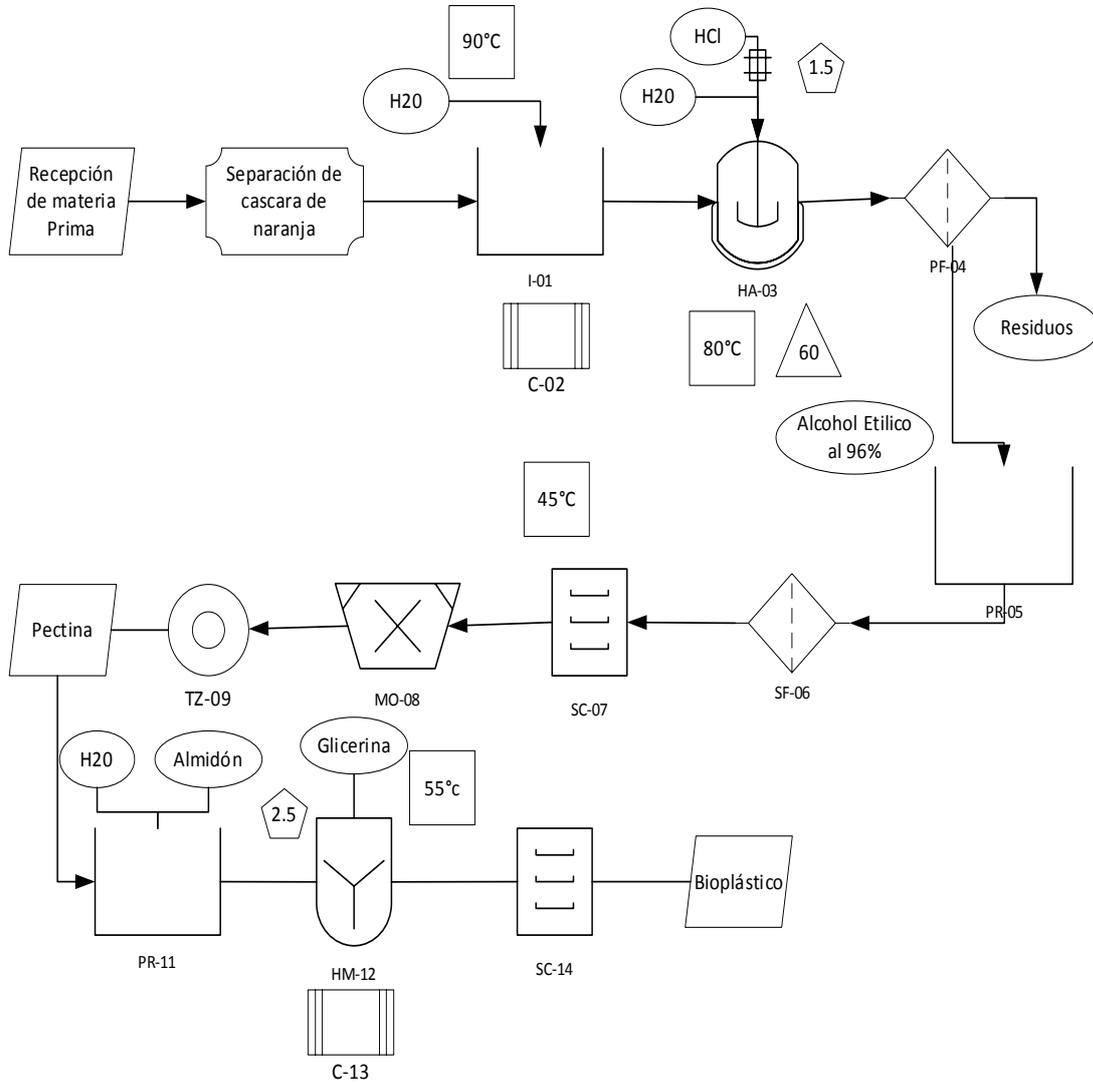
El proceso que se utilizó para obtención de bioplástico de cáscara de naranja se muestra en las siguientes figuras:

Figura N°II-1 Proceso de Obtención del Bioplástico



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°II-2 Diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico



Fuente: Elaboración Propia

Temperatura	Tiempo	Concentración
□	△	⬠

Tabla N° II-6 Simbologías utilizada en el diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico

Abreviatura	Significado
I-01	Inactivación Enzimática
C-02	Calentador
HA-03	Hidrolisis Acida
PF-04	Primera Filtración
PR-05	Precipitación
SF-06	Segunda Filtración
SC-07	Secado
MO-08	Molienda
TZ-09	Tamizado
AC-10	Almacenado
PR-11	Preparado de mezcla
HM-12	Homogenización de la Mezcla
C-13	Calentador
SC.14	Secado

Fuente: Elaboración Propia

2.9 Procedimiento para la obtención de la pectina

2.9.1 Recepción de la materia prima (cáscara de naranja)

Se obtiene la cáscara de naranja proveniente de los deshechos de la población Tarijeña y de los deshechos de la planta de cítricos del municipio de Carapari.

Fotografía 3-1 Cáscara de Naranja



Fuente: Elaboración Propia

2.9.2. Selección de la materia prima

La corteza no debe presentar magulladuras y partes en estado de descomposición, se recomienda elegir las cáscaras más verdes puesto que estas contienen mayor concentración de sustancias péptidas esto permite tener un buen rendimiento y buena calidad de pectina.

2.9.3. Separación y lavado

Se separó el albedo de la epidermis de la cáscara este proceso se debe realizar con mucha precisión, una vez realizado este se procede a retirar las posibles partículas de pulpa que se pueden haber quedado en el albedo. Este proceso es determinante en el rendimiento de la pectina.

Fotografía 3-2 Separación de la cáscara de naranja



Fuente: Elaboración Propia

2.9.4. Pesaje

Se procede a pesar la materia prima (albedo de cáscaras) previamente seleccionadas. El pesaje se realizó en una balanza analítica, previo al pesado se realiza el tarado de la balanza para tener un resultado más exacto.

Se efectuó el pesado con las puertas cerradas de la sala de pesaje del LOU, esto para aumentar el nivel de precisión en el pesado.

Fotografía 3-3 Pesado de albedo de naranja



Fuente: Elaboración Propia

2.9.5. Inactivación Enzimática

Se necesita inactivar las enzimas pépticas para esto tenemos que hervir los albedos en concentraciones cercanas a 100 gramos por 400 ml. de agua, con esto se logrará eliminar toda suciedad y presencia de microorganismos en los albedos.

El proceso de la inactivación enzimática juega un papel importante a la hora de mejorar las condiciones del albedo de naranja. Su propósito es inhibir la pectina esterasa involucrada en la reacción de desmetoxilación, produciendo pectinas de bajo metoxilico.

Fotografía 3-4 Inactivación Enzimática del albedo



Fuente: Elaboración Propia

2.9.6 Hidrólisis ácida

Se adicionó la misma cantidad de agua que en el proceso anterior al vaso precipitado en el cual están los albedos, seguido a esto se debe agregar HCl a la solución hasta obtener un pH entre 1,5 y 3. Calentar la solución 60 -80 minutos a partir del punto de Ebullición.

Fotografía 3-5 inicio de H. Acida



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3-6 Final de H. Acida



Fuente: Elaboración Propia

2.9.7. Filtrado

Se procede a filtrar la solución con papel filtro en vacío durante un periodo de una hora aproximadamente. Se utilizó un Kitasato con un embudo Büchner conectado a una bomba de vacío.

En este proceso se separa la materia sólida es decir el albedo, de la solución hidrolizada esta solución contiene la pectina.

Fotografía 3-7 Primera Filtración



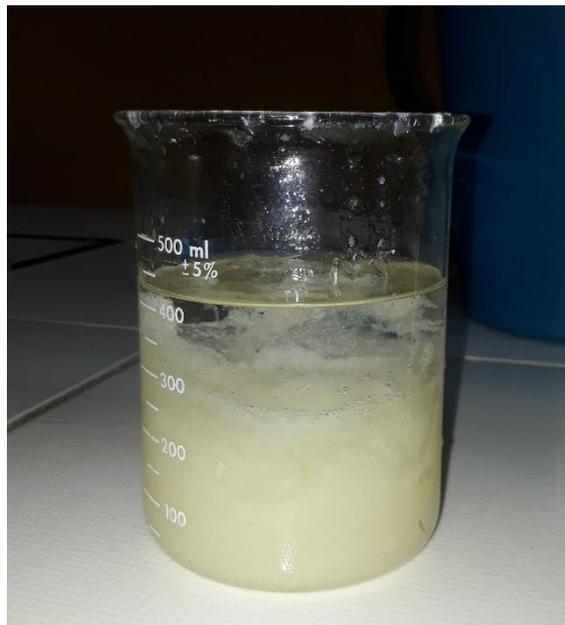
Fuente: Elaboración Propia

2.9.8. Precipitación

La mezcla se precipitó con etanol al 96% empleando un volumen de alcohol equivalente al 80% de la solución a precipitar, se dejó precipitar la solución durante 15 horas.

Se observa que a medida que se le va añadiendo el alcohol a la mezcla, esta va presentado un estado gelatinoso.

Fotografía 3-8 Mezcla precipitada



Fuente: Elaboración Propia

2.9.9 Segunda filtración

Se procedió a filtrar por segunda vez la pectina precipitada en forma de gel, para lo se utilizó un tamiz simple esto para eliminar la sustancia que no precipitó y reservar el gel para el posterior secado.

Fotografía 3-9 Segunda filtración del gel de pectina



Fuente: Elaboración Propia

2.9.10. Secado

El proceso de secado de la pectina húmeda se realizó en una estufa de convección forzada a una temperatura constante de 45 °C, al secar se observó que el color de la pectina se oscurece.

El secado es un proceso complejo en el cual se tiene que garantizar las condiciones de temperatura para que las características fisicoquímicas de la pectina no sean afectadas.

Fotografía 3-10 Secado de la Pectina



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3-11 Pectina Secada



Fuente: Elaboración Propia

2.9.11 Molienda de la pectina

Se redujo el tamaño de la pectina triturándola en un mortero, para mejorar su apariencia.

Fotografía 3-12 Pectina Molida



Fuente: Elaboración Propia

2.9.12 Tamizado

Se tamizó la pectina obtenida utilizando la malla N°60 ASTM esto sirvió para homogenizar nuestra pectina. Se utiliza la malla N°60 ya que esta es recomendada para pectinas cítricas.

Fotografía 3-13 Pectina Tamizada



Fuente: Elaboración Propia

2.10. Procedimiento para la obtención del Bioplástico

2.10.1. Preparación de la mezcla para el bioplástico

Se pesaron 5 g. de almidón de yuca y 5 g. de pectina en la balanza analítica y se agregaron en un vaso precipitado.

El pesaje se debe realizar a puertas cerradas para aumentar el nivel de precisión del pesado.

Fotografía 3-14 Preparación de la mezcla para el bioplástico

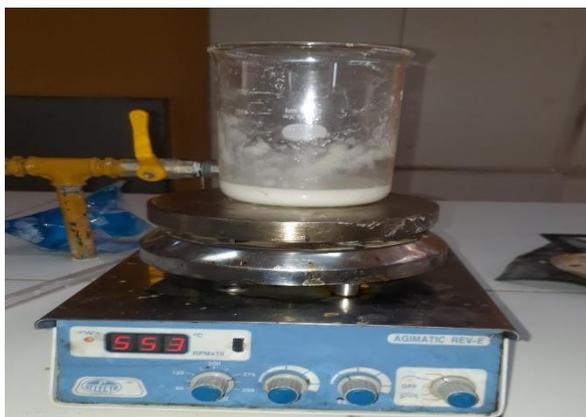


Fuente: Elaboración Propia

2.10.2. Homogenización de la Mezcla

Se añadió 70 ml de agua destilada al vaso precipitado hasta homogenizar la mezcla durante 5 minutos aproximadamente hasta alcanzar un pH de 2,5, seguido a esto se añadió 4 ml de glicerina, la glicerina es un plastificante que aportará flexibilidad al bioplástico.

Fotografía 3-14 Homogenización de la mezcla



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3-15 Agregado de la glicerina a la mezcla



Fuente: Elaboración Propia

2.10.3. Secado de la mezcla.

Se procede a verter la mezcla en placas de vidrio para ser secadas en la estufa de convección forzada para posteriormente ser desmoldeadas y obtener el bioplástico.

Fotografía 3-16 Secado del bioplástico



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3-17 Bioplástico final



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la caracterización de la cáscara de naranja variedad valencia tardía

Los parámetros fisicoquímicos de la cáscara de plátano son determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la UAJMS, en la tabla N.º III-1 se muestran los resultados.

Tabla N.º III-1 Caracterización del albedo de cáscara de naranja

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	1,05
Humedad	%	68,93
pH	H+	3,44

Fuente: CEANID 2022

Presentación de los resultados de producto extraído

3.2 Resultados de rendimiento del proceso

En relación al diseño factorial planteado, se trabajó a partir de 100 g de albedo de cáscara de naranja con parámetros de entre 60-80 °C, 60-80 minutos de extracción y pH entre 1,5 -2,5, con estos parámetros se obtuvo pectina en diferentes proporciones o rendimientos los cuales son detallados en la tabla N.ºIII-2.

Para determinar el rendimiento del proceso de extracción de pectina a partir de la cáscara de naranja se basa en la relación entre la cantidad de pectina extraída como producto final y la cantidad de materia prima utilizada para la extracción.

Tabla N.ºIII-2. Rendimiento de las pectinas obtenidas

Muestras	Parámetros			Rendimiento(g) Replica 1	Rendimiento(g) Replica 2	Rendimiento
	Temperatura	Ph	Tiempo			
Pectina 1	60	1,5	60	3,858	3,691	3,7745
Pectina 2	80	1,5	60	4,698	4,402	4,55
Pectina 3	60	2,5	60	1,420	1,491	1,4555
Pectina 4	80	2,5	60	1,733	1,501	1,617
Pectina 5	60	1,5	80	2,784	2,842	2,813
Pectina 6	80	1,5	80	2,936	2,689	2,8125
Pectina 7	60	2,5	80	1,576	1,766	1,671
Pectina 8	80	2,5	80	1,770	1,824	1,797

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados observados en la tabla N° III-2 podemos concluir que los parámetros adecuados para la extracción de pectina son los parámetros de la muestra 2, es decir 80°C, Ph 1,5 y 60 minutos de extracción lo cual genera 4,698 g de pectina obtenida.

3.3 Resultados de la caracterización Físicoquímica de la pectina extraída

Tomando en cuenta los resultados plasmados en la tabla N°III-2 podemos argumentar que los parámetros de la muestra N°2 sirven para obtener un mayor rendimiento de pectina, con estos parámetros procedimos a obtener una pectina para llevarla a analizar al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS en la tabla III-3 se muestra el detalle de los resultados

Tabla N°III-3 Caracterización de la pectina obtenida

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	0,88
Humedad	%	10,60
pH	H+	2,91

Fuente: CEANID 2023

3.4 Resultado de acidez libre y peso equivalente

Se realizaron dos replicas en la primera replica se gastó 0,445 miliequivalentes de NaOH, en la segunda réplica se gastó 0,457 miliequivalentes de NaOH estos resultados fueron obtenido por titulación ácido base.

Tabla N°III-4 Caracterización de la pectina obtenida

Muestra N°2	Acidez Libre	Peso Equivalente
Réplica 1	0,89	1123,59
Réplica 2	0,914	1094,091
Promedio	0,902	1108,840

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico

Para la muestra de pectina N°2 se obtuvieron los siguientes valores, los que se detallan en la tabla N.º III-4, Por otro lado, se considera una pectina de alta metoxilización cuando el porcentaje de metoxilo sea superior al 6,7%

Para la determinación del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico se realizaron dos réplicas, en el cual se gastó en la primera replica 1,653 ml de NaOH y en la segunda réplica se gastó 1,670 ml de NaOH En la tabla III-5 se muestran los resultados.

Tabla N°III-5 Caracterización de la pectina obtenida

Muestra N°2 Pectina	Contenido de metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)	Ácido anhídrido galacturónico (%)
Réplica 1	10,248	78,789	69,388
Réplica 2	10,354	78,514	69,146
Promedio	10,301	78,6515	69,267

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados obtenidos, porcentaje de metoxilación de la pectina obtenida es 10,301% el grado de metoxilación es la relación entre los grupos metoxilados y aquellos ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina, de acuerdo a estos resultados podemos concluir que obtuvimos una pectina de alta metoxilación.

El grado de metoxilación es un parámetro importante en la industria alimentaria, ya que las pectinas de alto metoxilo requieren presencia de azúcar, entre 60-65% y pH ácido, entre 2 a 3,5, para formar geles en la elaboración de mermeladas y postres, principalmente, con texturas más rígidas, que aquellas con menor grado de metoxilación.

El grado de esterificación obtenido es de 78,6515% por tanto se asemeja al valor de las pectinas comerciales las cuales tienen un grado de esterificación mayor a 60%,

podemos decir también que, a mayor grado de esterificación de la pectina, mayor es la viscosidad, clasificándose dentro del grupo de pectinas de gelificación rápida.

El valor del porcentaje de Ácido anhídrido galacturónico de la pectina obtenida es 69,267% este parámetro además de determinar la pureza de la pectina obtenida, es una variable fundamental en la estructura de este producto de valor agregado, ya que permite determinar la cantidad de pectina presente en el producto obtenido, el resultado obtenido nos indica que tenemos una pectina de media- alta de pureza.

Comparación entre la pectina extraída a partir de la cáscara de Naranja y la pectina comercial

Tabla N°III-6 Comparación entre la pectina extraída a partir de la cáscara de Naranja y la pectina comercial

Parámetro	Unidad	Pectina comercial (Corona M, Díaz)	Pectina de Naranja obtenida
pH	H ⁺	2,8 – 3,60	2,91
Humedad	%	8,51 ± 1,95	10,60
Cenizas	%	3,77 ± 3,39	0,88
Acidez Libre	meq/g	0,78 ± 0,46	0,902
Peso Equivalente	mg/meq	1 775,46 ± 1 143,78	1108,840
Contenido de Metoxilo	%	6,93 ± 3,22	10,301
Grado de Esterificación	%	74,71 ± 3,32	78,6515
Ácido anhídrido galacturónico	%	68,29 ± 13,39	69,267
Color		Marrón Claro a blanco crema	Amarillo Claro

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Resultados del secado de la pectina

El tiempo de secado de la pectina fue de 25 horas en la estufa de convección forzada.

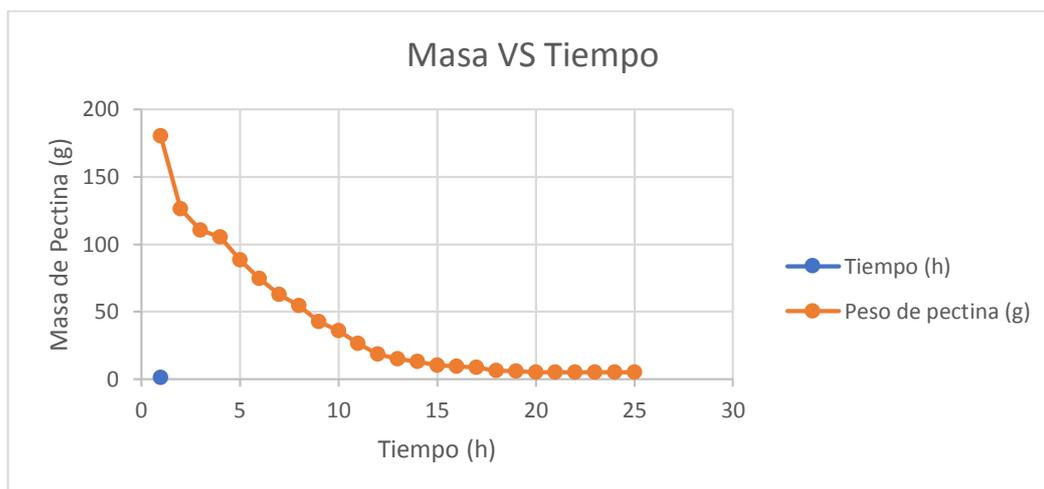
Los resultados son presentados a continuación en la tabla N°III-7.

Tabla N°III-7 Datos del secado de la pectina

Tiempo (h)	Masa de Pectina (g)
1	180,224
2	126,476
3	110,374
4	105,264
5	88,352
6	74,382
7	62,674
8	54,392
9	42,623
10	35,663
11	26,242
12	18,356
13	14,782
14	12,887
15	10,345
16	9,234
17	8,436
18	6,374
19	5,638
20	5,189
21	4,956
22	4,890
23	4,858
24	4,850
25	4,850

En la tabla N°III-7 podemos observar la pérdida de masa en el secado de la pectina este proceso se realizó en 25 horas a 45°C en una estufa de convección forzada.

La pectina se empezó a secar con una masa de 180,224 g y terminó con una masa de 4,850 g.

Figura N° III-1 Curva de secado de la pectina obtenida

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-1 observamos la curva de secado de la pectina expresada como pérdida de masa de la pectina frente al tiempo en horas.

3.7 Determinación de las propiedades fisicoquímicas del Bioplástico

3.7.1 Tensión mecánica

La obtención de bioplástico se realiza a partir de 5 g de pectina de cáscara de naranja, los resultados de la prueba mecánica, para la tensión se muestra en la tabla N° III-8

Tabla N°III-8 Resultados para la prueba de tensión aplicada al bioplástico

Parámetros			Tensión N/cm ²			Tensión Promedia
Pectina de Naranja (g)	Glicerina (ml)	Almidón de Yuca(g)	Probeta	Ensayo 1	Ensayo 2	
3,5	2	2,5	Bplast-1	84,057	110,675	97,366 N/cm ²
3,5	4	2,5	Bplast-2	115,578	102,129	108,854 N/cm ²
3,5	2	5	Bplast-3	140,095	117,400	128,747 N/cm ²
3,5	4	5	Bplast-4	229,756	244,466	237,111 N/cm ²
5	2	2,5	Bplast-5	250,764	237,461	244,113 N/cm ²
5	4	2,5	Bplast-6	312,412	311,711	312,062 N/cm ²
5	2	5	Bplast-7	316,615	320,818	318,716 N/cm ²
5	4	5	Bplast-8	420,285	402,773	411,529 N/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados obtenidos que se observan en la tabla N° III-8, el bioplástico que presenta mayor tensión es el Bplast-8(411,529 N/cm²) el cual tiene los siguientes parámetros 5 g de pectina, 5g de almidón, 4 ml de glicerina y 70 ml de agua.

Cabe recalcar que la tensión es la variable respuesta del diseño factorial en este caso.

3.7.2 Módulo tensil

Las propiedades expresan la resistencia de un material a la elongación y a la ruptura, cuando se somete a tensión, el módulo de elasticidad indica cuán rígido es un material (Oliveira et al. 1996). El alargamiento a la rotura y módulo de elasticidad se determinó basado en el método D 828-95a de la ASTM 1995 con adaptaciones

Las probetas fueron sometidas a fuerzas de tracción tiradas de ambos bordes de estas, dichas probetas se cortaron en piezas de 14 mm de ancho y 19 mm de largo y un espesor de 1 mm. para esto se fue añadiendo pesos desde 20 gramos fuerza (gf) hasta un peso promedio aproximado de 2895 gramos fuerza (gf) por lado, donde se observar un cambio en el material tratado, (ruptura del bioplástico).

Tabla N° III-9 Resultados para el módulo tensil del bioplástico

Parámetros			Módulo tensil Mpa			
Pectina de Naranja (g)	Glicerina (ml)	Almidón de Yuca (g)	Muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
3,5	2	2,5	Bplast-1	15,305	15,507	15,406
3,5	4	2,5	Bplast-2	12,828	12,662	12,745
3,5	2	5	Bplast-3	14,182	14,136	14,159
3,5	4	5	Bplast-4	21,729	21,938	21,834
5	2	2,5	Bplast-5	20,983	20,759	20,871
5	4	2,5	Bplast-6	19,105	19,102	19,103
5	2	5	Bplast-7	18,485	18,579	18,532
5	4	5	Bplast-8	17,302	17,228	17,265

Fuente: Elaboración Propia

El resultado que reporta menor módulo tensil es el de la probeta 3 se muestra en la tabla N° IV-5 con un valor de **14,159** Mpa. con parámetros de 3,5 g de pectina 5 g de almidón y 2 ml de glicerina, por otra parte, la probeta 4 es la que presenta mayor modulo tensil con **21,834** Mpa con los siguientes parámetros 3,5 g de pectina, 5 g de almidón, 4 ml de glicerina.

Los cálculos de las pruebas y fotografías para determinar el módulo tensil y tensión se encuentran detallados en el **Anexo 2 y 3**.

3.8 Resumen de propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido

Tabla N° III-10 Propiedades del Bioplástico obtenido en base a los rangos establecidos

Parámetros	Bioplástico de Cáscara de Naranja	Rango Estándar	Norma
Tensión Mecánica Mpa	4,057851	0,50 – 25,6	(Trujillo, 2014, pp. 93-108)
Módulo de Elasticidad Mpa	21,834	0,1710 – 211,638	
%Elongación	23,684	20,7 – 121	
Densidad (g/cm ²)	1,26	1,2 – 1,35	

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados observados en la tabla N°III- 10 podemos concluir que el bioplástico obtenido cumple con los límites de referencias de las normas INEN 2542, FAO 1999 y de investigaciones ejecutadas por Trujillo, 2014 y Guamán, 2019.

3.9 Resultado de la solubilidad de los Bioplásticos

Para la obtención de este parámetro se realizaron 3 ensayos en los cuales se cortó el bioplástico en las medidas de 2.5 x 2.5 cm y se secaron hasta peso contante en la estufa a 105°C durante 2h, luego se colocaron en 100 ml de agua desionizada con agitación constante durante 2 horas. Se retiraron las muestras y se llevaron a estufa a 40 °C hasta que está seca y seguidamente a 105 °C hasta peso constante.

Los resultados son presentados en la tabla N°III-10

Tabla N° III-11 Propiedades Solubilidades de los bioplásticos obtenidos

Muestra	Solubilidad %			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Bplast-1	30,769	33,333	27,778	30,627
Bplast-2	31,803	27,586	29,530	29,640
Bplast-3	54,545	47,059	54,167	51,924
Bplast-4	35,714	29,630	24,528	29,957
Bplast-5	50,000	51,538	55,918	52,486
Bplast-6	35,829	36,782	40,331	37,647
Bplast-7	31,737	47,674	37,805	39,072
Bplast-8	41,325	45,092	38,907	41,775

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° III-11 logramos apreciar el porcentaje de solubilidad de las diferentes muestras de bioplástico, para esto se realizaron 3 ensayos, dando como resultado la muestra Bplast-2 con menor porcentaje de solubilidad 29,640%, y la muestra Bplast-5 con mayor porcentaje de solubilidad 52,486%.

3.10 Resultado de la biodegradación del Bioplástico

Para determinar la biodegradabilidad, se empleó un método gravimétrico, en un periodo de tiempo de 20 días, evaluando la pérdida de peso cada 5 días en condiciones aeróbicas, para esto se cortaron láminas de 2,5cm x 2,5 cm.

Se empleo la siguiente fórmula:

$$\% \text{pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso final seco}} * 100$$

Tabla N° III-12 Porcentajes de degradación de los bioplásticos obtenidos

		Pesos (g)	Días					Biodegradación %
			1	5	10	15	20	
Bplast-1	Ensayo 1	Pesos (g)	0,15	0,136	0,106	0,103	0,102	47,058
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,165	0,148	0,124	0,114	0,109	51,376
Bplast-2	Ensayo 1	Pesos (g)	0,306	0,28	0,268	0,22	0,214	42,99
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,296	0,275	0,24	0,21	0,198	49,494
Bplas-3	Ensayo 1	Pesos (g)	0,223	0,21	0,18	0,174	0,167	33,532
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,286	0,256	0,24	0,236	0,22	30,000
Bplast-4	Ensayo 1	Pesos (g)	0,279	0,22	0,18	0,174	0,167	67,065
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,261	0,218	0,176	0,163	0,154	69,480
Bplast-5	Ensayo 1	Pesos (g)	0,3	0,28	0,24	0,184	0,177	69,491
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,341	0,326	0,268	0,216	0,204	67,156
Bplast-6	Ensayo 1	Pesos (g)	0,187	0,183	0,163	0,159	0,157	19,108
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,193	0,184	0,166	0,164	0,163	18,404
Bplast-7	Ensayo 1	Pesos (g)	0,17	0,158	0,153	0,139	0,127	33,858
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,152	0,134	0,128	0,12	0,117	29,914
Bplast-8	Ensayo 1	Pesos (g)	0,312	0,283	0,268	0,245	0,224	39,285
	Ensayo 2	Pesos (g)	0,305	0,264	0,248	0,228	0,219	39,269

Fuente: Elaboración Propia

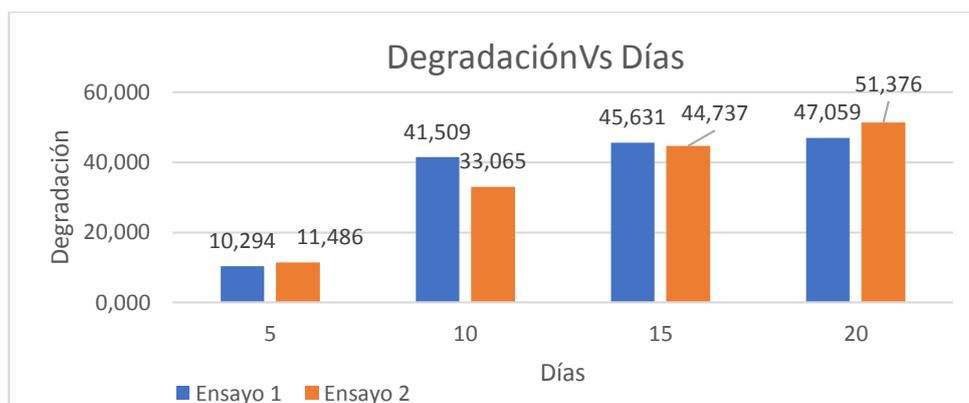
Tabla N° III-13 Porcentajes de degradación por día

		Degradación % en los días			
		5	10	15	20
Bplast-1	Ensayo 1	10,294	41,509	45,631	47,058
	Ensayo 2	11,486	33,064	44,736	51,376
Bplast-2	Ensayo 1	9,285	14,179	34,210	42,990
	Ensayo 2	7,636	23,333	40,952	49,494
Bplas-3	Ensayo 1	6,190	23,888	28,160	33,532
	Ensayo 2	11,718	19,166	21,186	30
Bplast-4	Ensayo 1	26,818	55	60,344	67,065
	Ensayo 2	19,724	48,295	60,122	69,480
Bplast-5	Ensayo 1	7,142	25	63,043	69,491
	Ensayo 2	4,601	27,238	57,870	67,156
Bplast-6	Ensayo 1	2,185	14,723	17,610	19,108
	Ensayo 2	4,891	16,265	17,682	18,404
Bplast-7	Ensayo 1	7,594	11,111	22,302	33,858
	Ensayo 2	13,432	18,75	26,666	29,914
Bplast-8	Ensayo 1	10,247	16,417	27,346	39,2857
	Ensayo 2	15,530	22,983	33,771	39,269

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas N°III-12 y N°III-13 se aprecian las pérdidas de peso de las 8 muestras de bioplástico, podemos concluir que la muestra Bplast-6 fue la que presentó más resistencia a la degradación con un porcentaje de 18,404%, por otra parte, la muestra Bplast-5 fue la que presentó mayor porcentaje de degradación con un 69,491%.

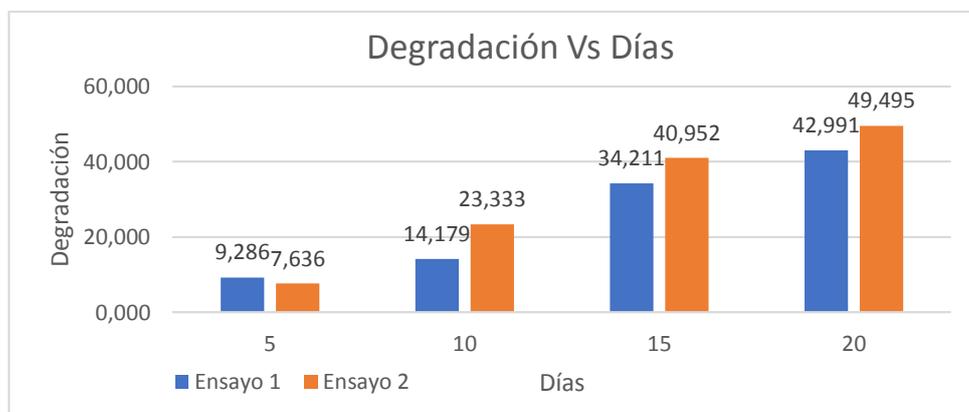
Figura N° III-2 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST1.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-2 podemos observar la degradación de la muestra BPLAST-1 en el transcurso de 20 días, para esto se realizaron dos ensayos paralelamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 47,059% de degradación para el ensayo 1 y un 51,376 % degradación para el ensayo 2.

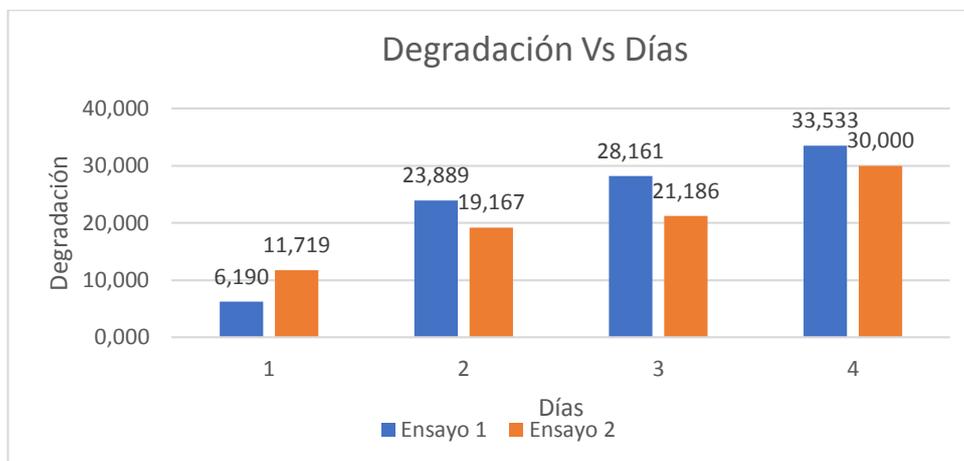
Figura N°III-3 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST2.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-3 observamos la degradación de la muestra BPLAST-2 en el transcurso de 20 días, se realizaron dos ensayos simultáneamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 42,991% de degradación para el ensayo 1 y un 49,495 % degradación para el ensayo 2.

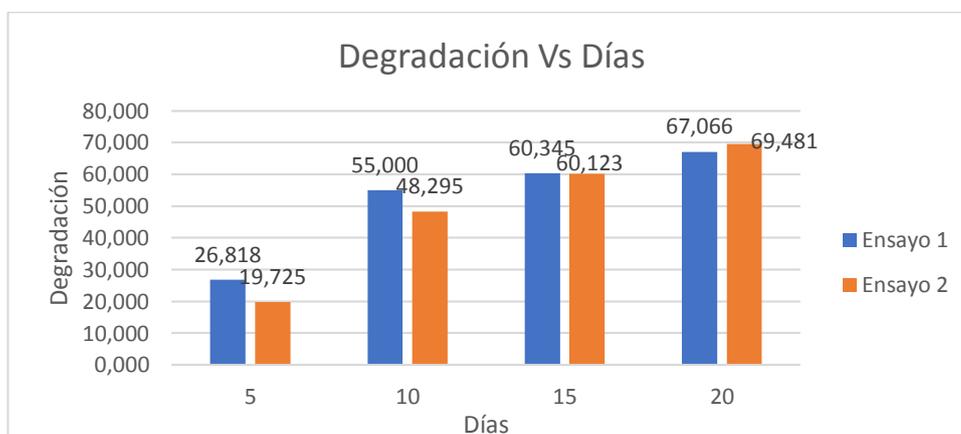
Figura N° III-4 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-3.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-4 podemos apreciar la degradación de la muestra BPLAST-3 en el lapso de 20 días, se realizó dos ensayos simultáneamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 33,533% de degradación para el ensayo 1 y un 30 % degradación para el ensayo 2.

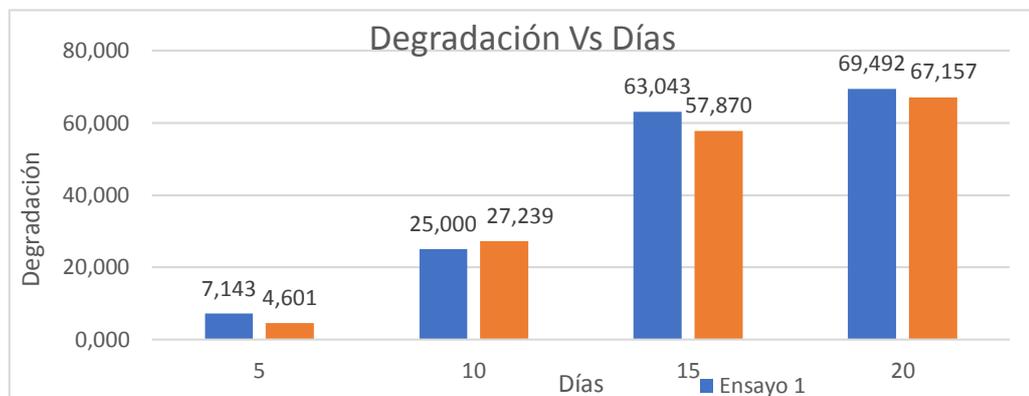
Figura N° III-5 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-4.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-5 se observa la degradación de la muestra BPLAST-4 en el transcurso de 20 días, para esto se realizaron dos ensayos simultáneamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 67,066% de degradación para el ensayo 1 y un 69,481 % degradación para el ensayo 2.

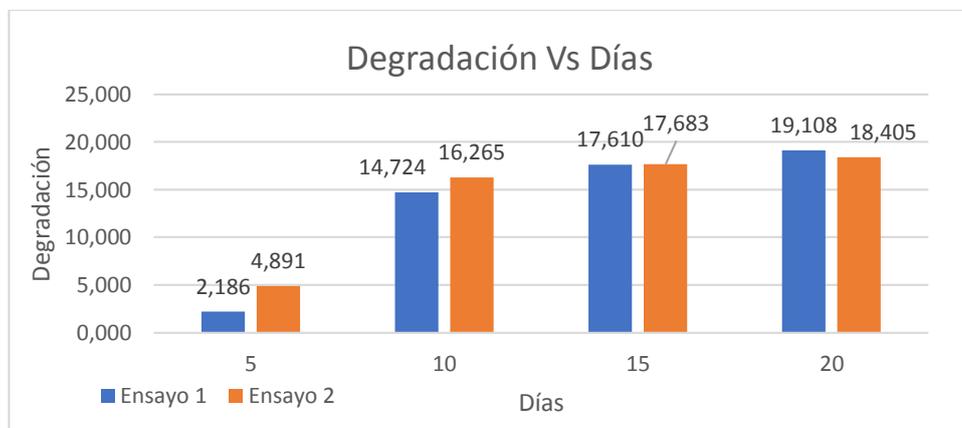
Figura III-6 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-5.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-6 observamos la degradación de la muestra BPLAST-5 en el transcurso de 20 días, para esto se realizaron dos ensayos paralelamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 69,492% de degradación para el ensayo 1 y un 67,157 % degradación para el ensayo 2, siendo estas muestras las que más se degradan en relación a las otras muestras.

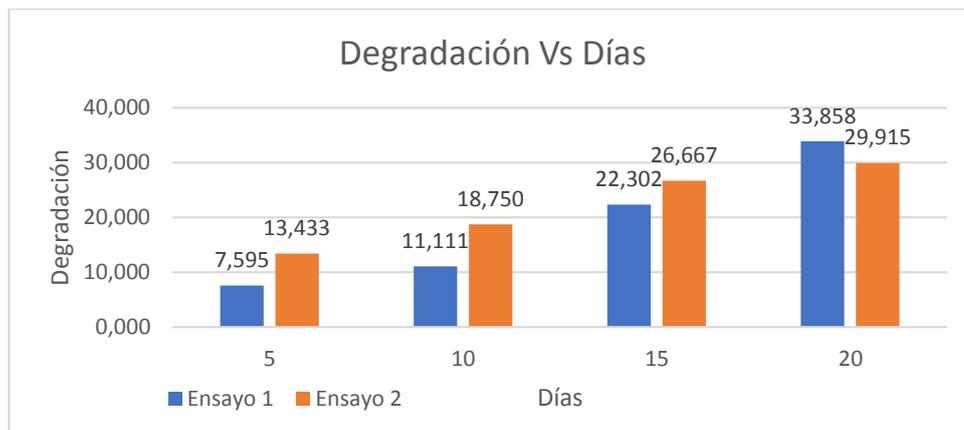
Figura III-7 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-6.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-7 podemos contemplar la degradación de la muestra BPLAST-6 en el lapso de 20 días, se realizaron dos ensayos a la par, dando como mayor resultado un porcentaje de 19,108% de degradación para el ensayo 1 y un 18,405% degradación para el ensayo 2, esta muestra de bioplástico es la que menos se degrada en comparación a las demás muestras.

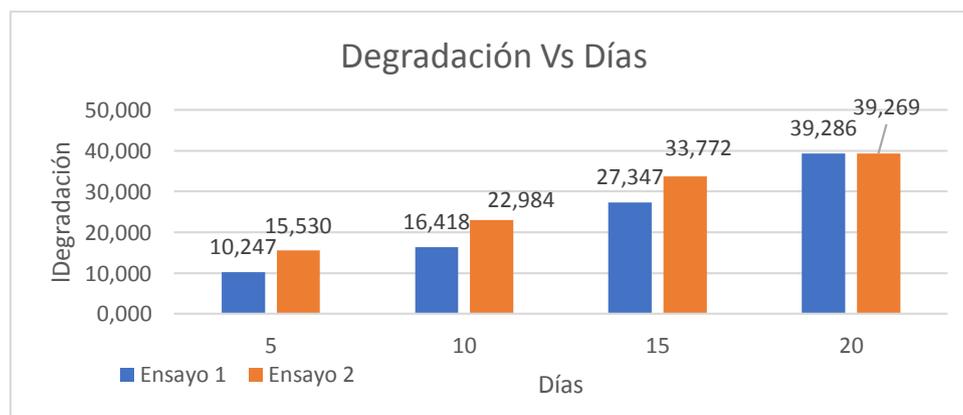
Figura III-8 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-7.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-2 podemos notar la degradación de la muestra BPLAST-7 en el lapso de 20 días, para esto se realizaron dos ensayos paralelamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 33,858 % de degradación para el ensayo 1 y un 29,915 % degradación para el ensayo 2.

Figura III-9 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-8.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°III-9 observamos la degradación de la muestra BPLAST-8 en el transcurso de 20 días, para esto se realizaron dos ensayos simultáneamente, dando como mayor resultado un porcentaje de 39,286% de degradación para el ensayo 1 y un 39,269 % degradación para el ensayo 2.

3.11 Curva de Secado del Bioplástico

El bioplástico se secó en una estufa de convección forzada por el lapso de 6 horas (360 min)

Tabla N° III-14 Datos del secado del bioplástico obtenido

Tiempo (min)	Masa de Bioplástico (g)
0	65,362
20	54,274
40	50,457
60	46,343
80	42,435
100	38,676
120	33,672
140	26,581
160	24,672
180	19,345
200	16,362
220	15,345
240	14,254
260	13,223
280	12,545
300	12,326
320	12,289
340	12,27
360	12,27

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N°III-13 podemos observar la pérdida de masa en el secado del bioplástico este proceso se realizó en 6 horas 60°C en una estufa de convección forzada. El bioplástico se empezó a secar con una masa de 65,362 g y terminó con una masa de 12,27g.

Figura III-10 Curva de secado del bioplástico obtenido

En la figura N°III-10 observamos la curva de secado del bioplástico expresada como pérdida de masa del bioplástico frente al tiempo en horas.

Se controló el peso cada 20 minutos determinando que a los 340 y 360 minutos se obtuvo un peso constante. Podemos concluir que la curva del secado del bioplástico se asemeja a una curva isotérmica.

3.12 Comparación entre el bioplástico obtenido a partir de pectina de cáscara de Naranja (Valencia Tardía) y un plástico de bolsa convencional.

Tabla N°III-15 Comparación de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido en laboratorio frente a un plástico de bolsa convencional

Parámetros	Plástico para bolsa Convencional	Bioplástico de Naranja Obtenido
Tensión Mecánica Mpa	1400-2750	4,057851
Módulo de Tensión Mpa	2941,995	21,834
%Elongación	66	23,684
Tiempo de Degradación (días)	54750	51

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N°III-14 podemos observar las notables diferencias entre un plástico convencional de bolsa y el bioplástico obtenido, claramente el plástico convencional presentará mejores características que un bioplástico sin embargo el

daño medioambiental ocasionado por un plástico convencional es inmenso comparado al de un bioplástico.

3.13 Resultados del análisis estadístico

Análisis estadístico para la Pectina de Cáscara de Naranja

La varianza es una medida de dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de los mismo.

Mediante el análisis de varianza (ANOVA) podremos medir el nivel de significancia de las principales variables independientes que afectan a la variable respuesta del diseño factorial del proyecto. Para la realización de análisis estadístico para la obtención de un bioplástico a partir de la cáscara de naranja se utilizó el programa Minitab Versión 18.

Tabla N°III-16 Análisis de la varianza para determinar el rendimiento de la pectina obtenida

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	18,089	2,5841	148,86	0
Lineal	3	15,3339	5,1113	294,43	0
temperatura	1	0,2822	0,2822	16,26	0,004
pH	1	13,7252	13,7252	790,62	0
tiempo de hidrolisis	1	1,3265	1,3265	76,41	0
Interacciones de 2 términos	3	2,618	0,8727	50,27	0
temperatura*pH	1	0,0594	0,0594	3,42	0,101
temperatura*tiempo de hidrolisis	1	0,1646	0,1646	9,48	0,015
pH*tiempo de hidrolisis	1	2,394	2,394	13,9	0
Interacciones de 3 términos	1	0,1371	0,1371	7,9	0,023
temperatura*pH*tiempo de hidrolisis	1	0,1371	0,1371	79	0,023
Error	8	0,1389	0,0174		
Total	15	18,2279			

Fuente: Minitab 18

El análisis de varianza muestra la variación de la respuesta en este caso el rendimiento, en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego nos muestra la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental. Los efectos principales de

temperatura (A), pH(B) y tiempo de hidrólisis (C). Los efectos principales como ser: temperatura (A), pH(B) y tiempo de hidrólisis (C) y los efectos combinados como Temperatura*Tiempo de hidrólisis, Ph*Tiempo de hidrólisis, Temperatura*Ph*Tiempo de hidrólisis son muy influyentes y determinantes para obtener pectina de cáscara de naranja puesto que los valores P de estos son menores a 0,05 (valor de significancia). Podemos observar también en la tabla que el modelo tiene una significancia de 0. Lo que significa que es un modelo correcto para el diseño factorial. La interacción temperatura*pH tiene un valor de P mayor a 0,05 por tanto no es significativa.

Tabla N°III-17 Resumen del modelo variable respuesta rendimiento

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,13176	99,24%	98,57%	96,95%

Fuente: Minitab 18

En la tabla III-16, R-cuad. nos indica que el modelo explica el 99,24 % de la variabilidad en el rendimiento de pectina extraída a partir de la cáscara de naranja. El estadístico R-cuad. (ajustado) es 98,57 %, por lo tanto, es muy prometedor para predecir la variable respuesta en posteriores experimentos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuales es de 0,13176.

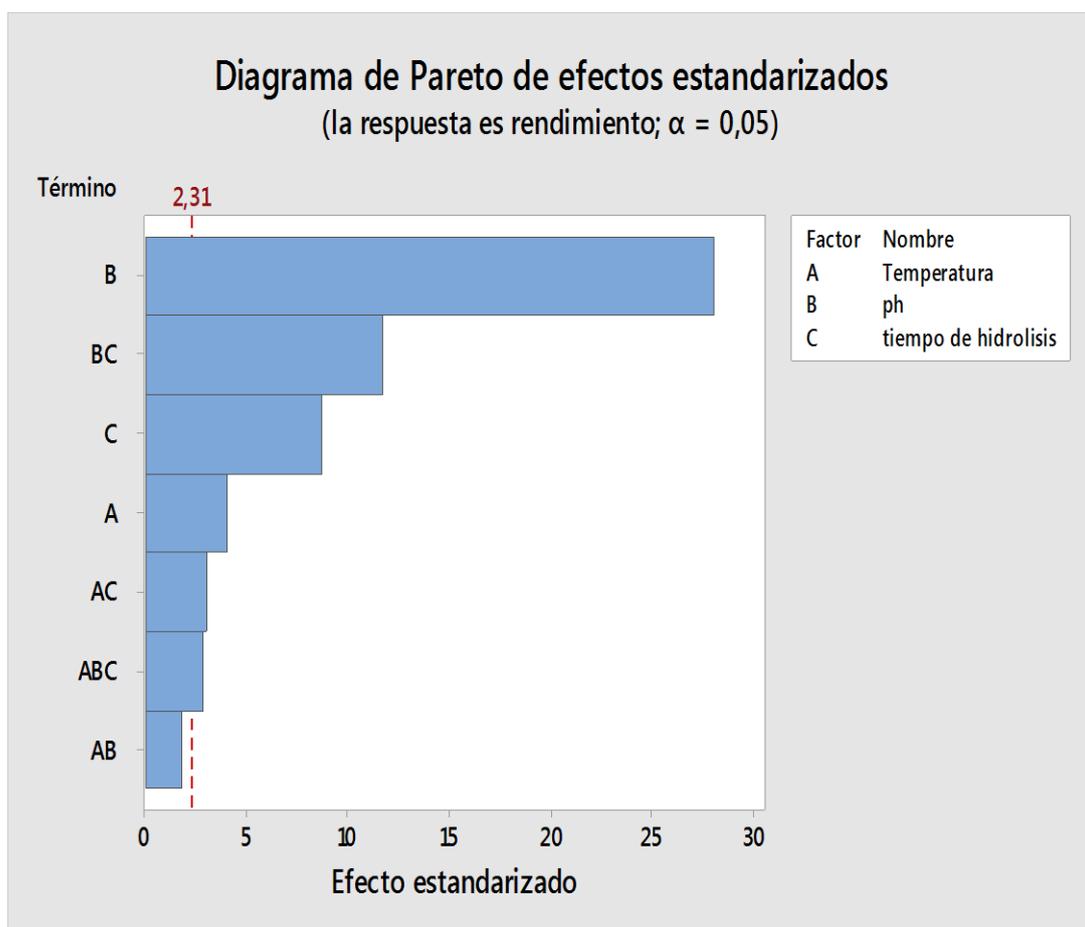
Diagrama de Pareto

Tabla N°III-18 Estructura de alias

Variable	Descripción	Tipo de Efecto
A	Temperatura	Principal
B	pH	Principal
C	Tiempo de hidrólisis	Principal
AB	Temperatura*pH	Combinado
AC	Temperatura*Tiempo de hidrólisis	Combinado
BC	Ph*tiempo de hidrólisis	Combinado
ABC	Temperatura*pH*tiempo de hidrólisis	Combinado

Fuente: Minitab 18

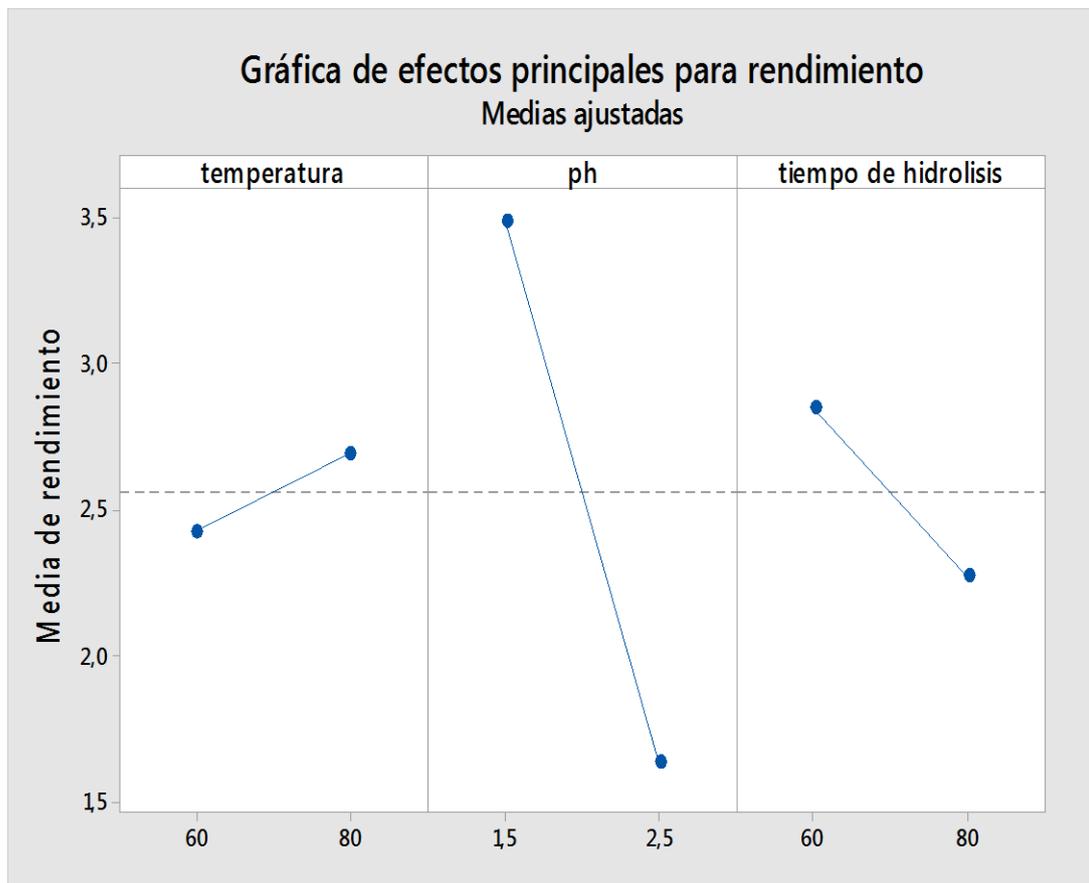
Figura N°III-11 Diagrama de Pareto



Fuente: Minitab 18

En la figura N°III-11 podemos observar el diagrama de Pareto el cual nos muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente, de acuerdo al diagrama los factores B y BC son los más significativos, donde el pH (B) es el factor más predominante, los factores A, C, BC son sumamente significativas crítica, la interacción ABC supera la línea crítica, la interacción AB no es significativa ya que no sobrepasan la línea crítica, es decir que tiene un valor de significancia mayor a 0,05.

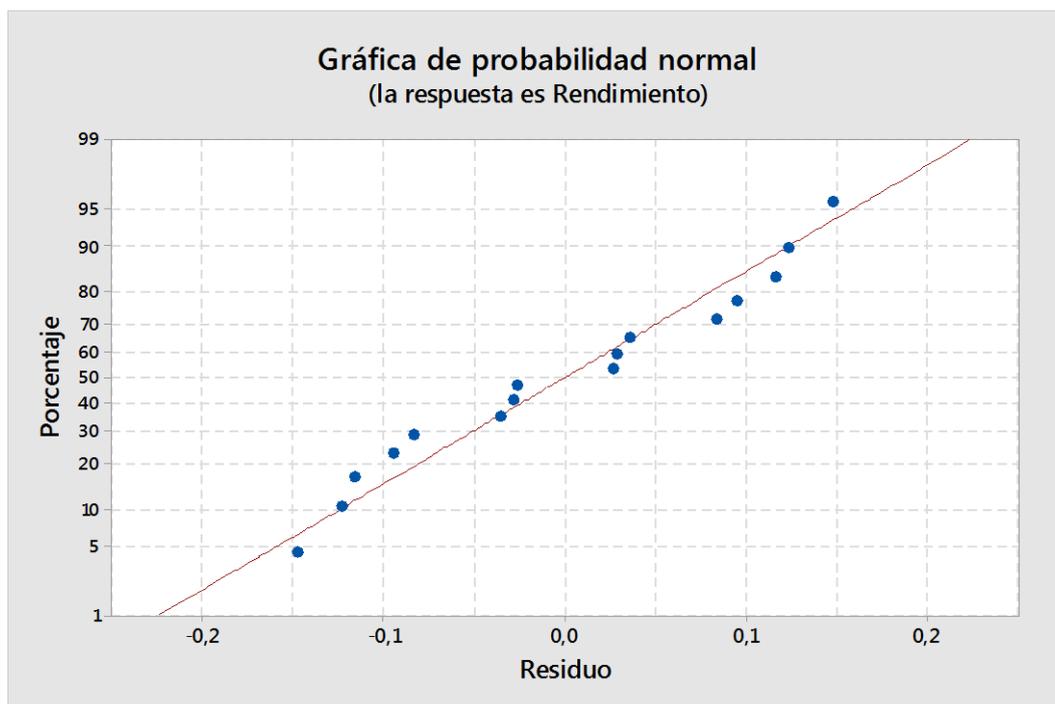
Figura N°III-12 Gráficas factoriales para el rendimiento



Fuente: Minitab18

La grafica de efectos principales para rendimiento nos muestra cómo cambia la variable respuesta en relación a los cambios de los niveles de factores. En nuestra figura podemos observar que los factores temperatura, pH y tiempo tienen gran efecto sobre el rendimiento, en mayor proporción el pH que de acuerdo a la gráfica podemos concluir que a un menor pH (1,5), se obtendrá mayor rendimiento, en cuanto a la temperatura y al tiempo podemos decir que a mayor temperatura (80°C) y a menor tiempo (60 min) se obtiene un mayor rendimiento. En resumen, el factor más predominante es el pH, seguido del tiempo de hidrólisis y finalmente la temperatura de extracción.

Figura N°III-13 Grafica de probabilidad normal



Fuente: Minitab 18

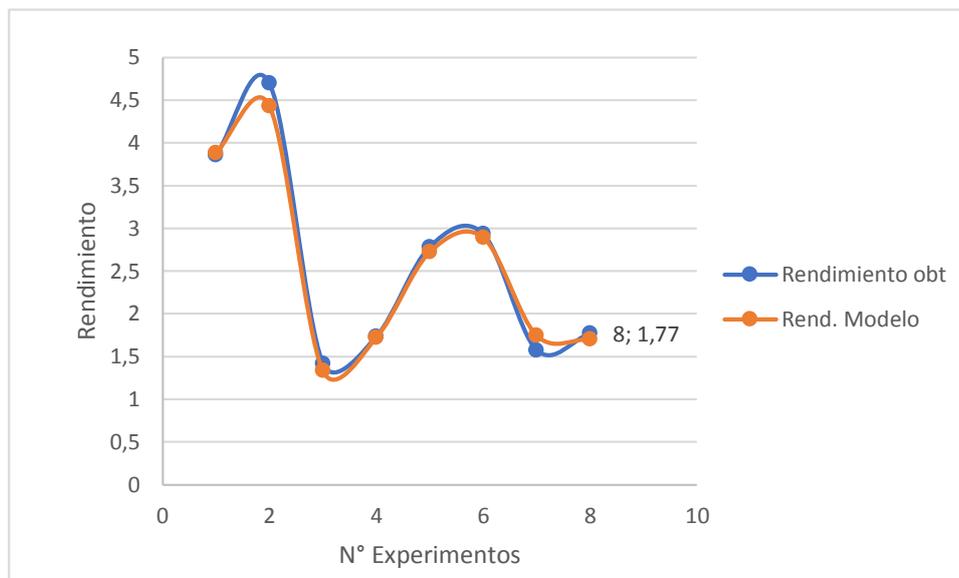
En la figura N° III-13 se puede observar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos alejados de la línea implican una distribución con valores atípicos, sin embargo, según el análisis ANOVA de la tabla III-14 no muestra gran significancia el desajuste, motivo por el cual el modelo escogido es correcto. Según el modelo lineal; se obtiene un ajuste, el que a continuación se gráfica junto al rendimiento que fue obtenido de cada experimento, para poder verificar el ajuste de la ecuación al modelo matemático.

Ecuación de la regresión lineal de la variable respuesta rendimiento

Rendimiento=13,21 + 0,0843 Temperatura - 7,268 Ph - 0,1312 Tiempo de hidrólisis + 0,0867 Ph*tiempo de hidrolisis- 0,000747 temperatura*tiempo de hidrólisis - 0,000134 temperatura*Ph*tiempo de hidrólisis.

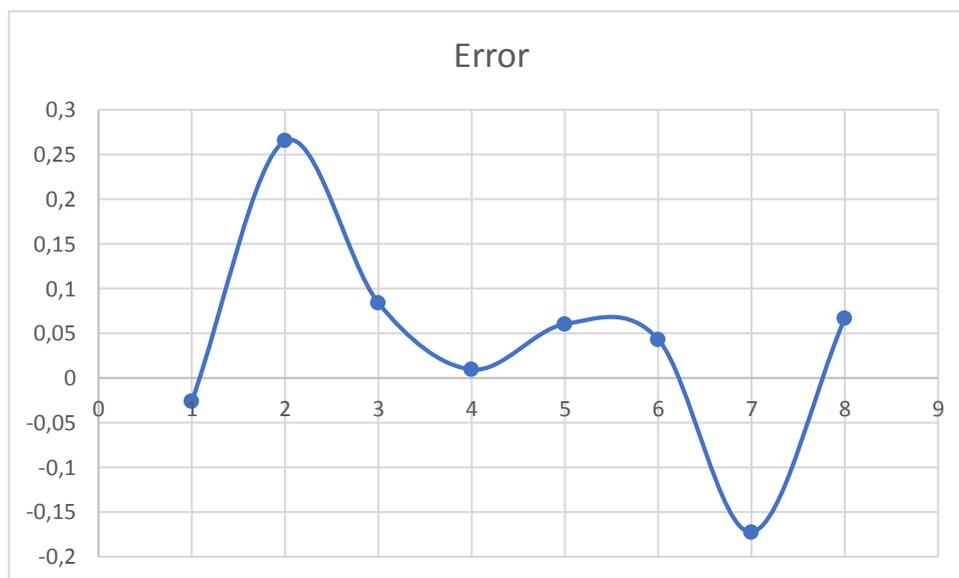
El modelo matemático que resulta del ajuste de todos los datos para variable respuesta rendimiento responde a la ecuación de regresión en unidades no codificadas:

Figura N°III-14 Diferencia entre el Rendimiento obtenido y el rendimiento del modelo matemático



En la figura N°III-14 podemos apreciar la diferencia entre el rendimiento obtenido y el rendimiento del modelo matemático, podemos concluir que en los experimentos 2 y 7 existe una mayor diferencia entre ambos rendimientos.

Figura N°III-15 Error Diferencia entre el rendimiento obtenido y rendimiento del modelo matemático



3.14 Análisis de varianza para el bioplástico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	180569	25796	194,44	0
Lineal	3	175097	58366	439,94	0
Pectina de Naranja	1	127571	127571	961,59	0
Almidón de Yuca	1	27840	27840	209,85	0
Glicerina	1	19686	19686	148,39	0
Interacciones de 2 términos	3	4176	1392	10,49	0,004
Pectina de Naranja*Almidón de Yuca	1	52	52	0,39	0,548
Pectina de Naranja*Glicerina	1	418	418	3,15	0,114
Almidón de Yuca*Glicerina	1	3705	3705	27,93	0,001
Interacciones de 3 términos	1	1296	1296	9,77	0,014
Pectina de Naranja*Almidón de Yuca*Glicerina	1	1296	1296	9,77	0,014
Error	8	1061	133		
Total	15	181631			

Fuente: Minitab 18

El análisis de varianza muestra la variación de la respuesta en este caso la tensión, en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego nos muestra la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental. Los efectos principales de pectina de naranja (A), almidón de Yuca(B) glicerina (C). Los efectos principales como ser: pectina de naranja (A), almidón de yuca(B) y glicerina (C) y los efectos combinados como Almidón de yuca* Glicerina y Pectina de Naranja*Almidón de Yuca*Glicerina son muy influyentes y determinantes para obtener el bioplástico de cáscara de naranja puesto que los valores P de estos son menores a 0,05 (valor de significancia). Podemos observar también en la tabla que el modelo tiene una significancia de 0. Lo que significa que es un modelo correcto para el diseño factorial.

Las interacciones Pectina de Naranja*Glicerina y Almidón de Yuca*Glicerina tienen un valor de P mayor a 0,05 por tanto no son significantes.

Tabla N°III-19 Resumen del modelo variable respuesta tensión

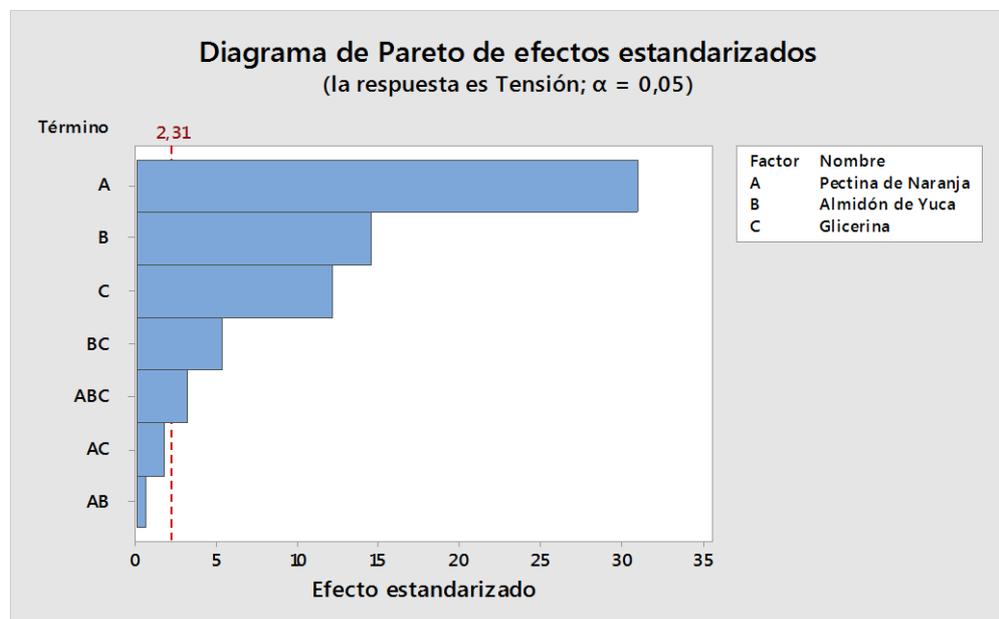
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
11,5181	99,42%	98,90%	97,66%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla III-19, R-cuad. nos indica que el modelo explica el 99,42 % de la variabilidad en el bioplástico a partir de la cáscara de naranja. El estadístico R-cuad. (ajustado) es 98,90 %, por lo tanto, es muy prometedor para predecir la variable respuesta en posteriores experimentos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuales es de 11,5181.

Diagrama de Pareto

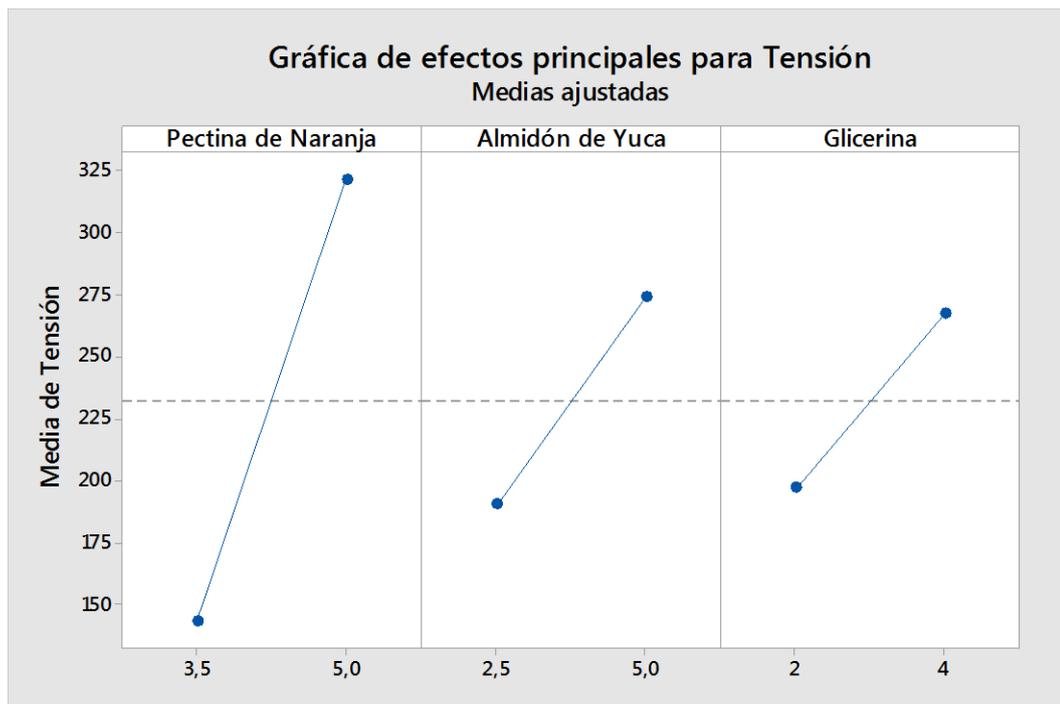
Variable	Descripción	Tipo de Efecto
A	Pectina de Naranja	Principal
B	Almidón de Yuca	Principal
C	Glicerina	Principal
AB	Pectina de Naranja *Almidón de Yuca	Combinado
AC	Pectina de Naranja *Glicerina	Combinado
BC	Almidón de Yuca*Glicerina	Combinado
ABC	Pectina de Naranja*Almidón de Yuca*Glicerina	Combinado

Figura N°III-16 Diagrama de Pareto

Fuente: Minitab 18

En la figura N°III-16 podemos observar el diagrama de Pareto el cual nos muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente, de acuerdo al diagrama los factores A y B son los más significativos, donde la pectina de naranja (A) es el factor más predominante, los factores C y la interacción BC, son sumamente significativas crítica, la interacción ABC supera la línea crítica, las interacciones AC y AB no son significativas ya que no sobrepasan la línea crítica, es decir que tiene un valor de significancia mayor a 0,05.

Figura N°III-17 Gráfica de efectos principales para la tensión

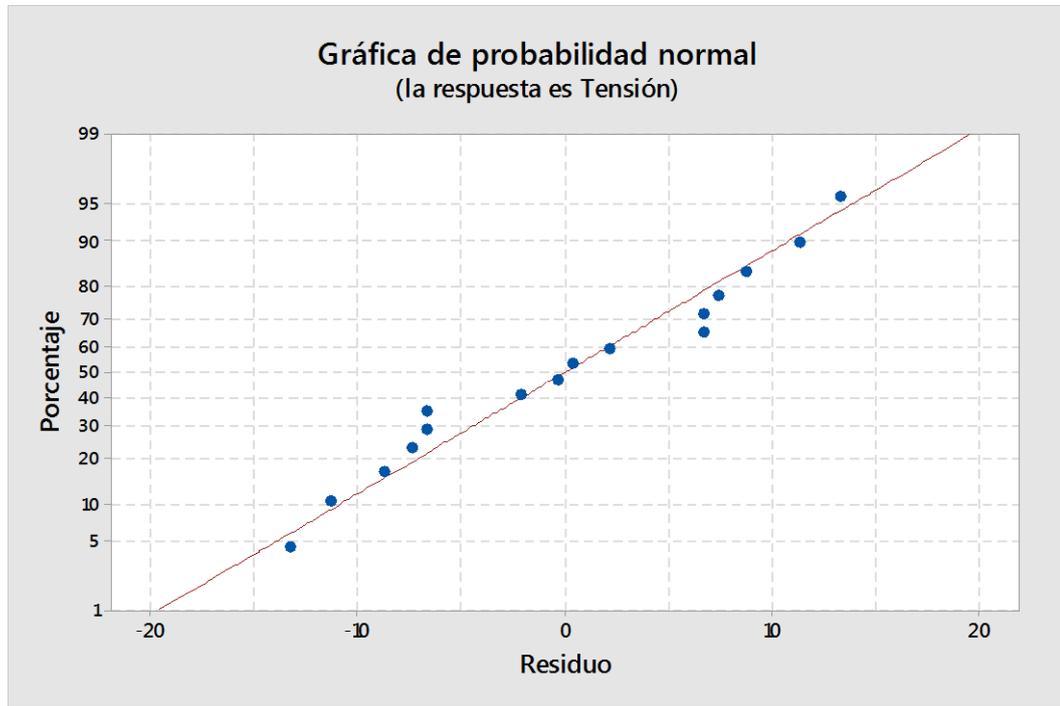


Fuente: Minitab 18

La gráfica de efectos principales para rendimiento nos muestra cómo cambia la variable respuesta en relación a los cambios de los niveles de factores. En nuestra figura podemos observar que los factores glicerina, almidón de yuca y pectina de naranja tienen gran efecto sobre la tensión, en mayor proporción la pectina de naranja que de acuerdo a la gráfica podemos concluir que a una mayor masa (5 g), se obtendrá mayor tensión, en cuanto al volumen de glicerina y cantidad de almidón podemos decir que a mayor volumen de glicerina (4 ml) y a mayor cantidad de almidón (5 gr) se obtiene una mayor tensión. En resumen, el factor más

predominante es la pectina de naranja, seguido del almidón de yuca y finalmente el volumen de glicerina.

Figura N°III-18 Gráfica de probabilidad normal



Fuente: Minitab 18

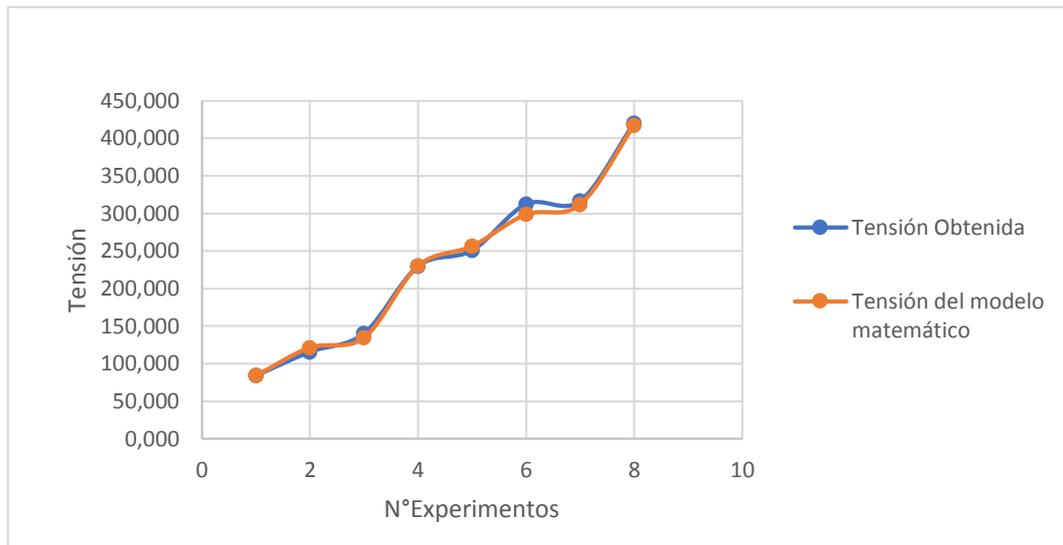
En la figura N° III-18 se puede observar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos alejados de la línea implican una distribución con valores atípicos, sin embargo, según el análisis ANOVA de la tabla III-15 no muestra gran significancia el desajuste, motivo por el cual el modelo escogido es correcto. Según el modelo lineal; se obtiene un ajuste, el que a continuación se gráfica junto al rendimiento que fue obtenido de cada experimento, para poder verificar el ajuste de la ecuación al modelo matemático

Ecuación de la regresión lineal de la variable respuesta tensión

Tensión=-335,5 + 0,66 almidón de yuca*glicerina*pectina de naranja+9,37*almidón de yuca *glicerina-10,6 glicerina-3,2 almidón de yuca+111,6 pectina de naranja.

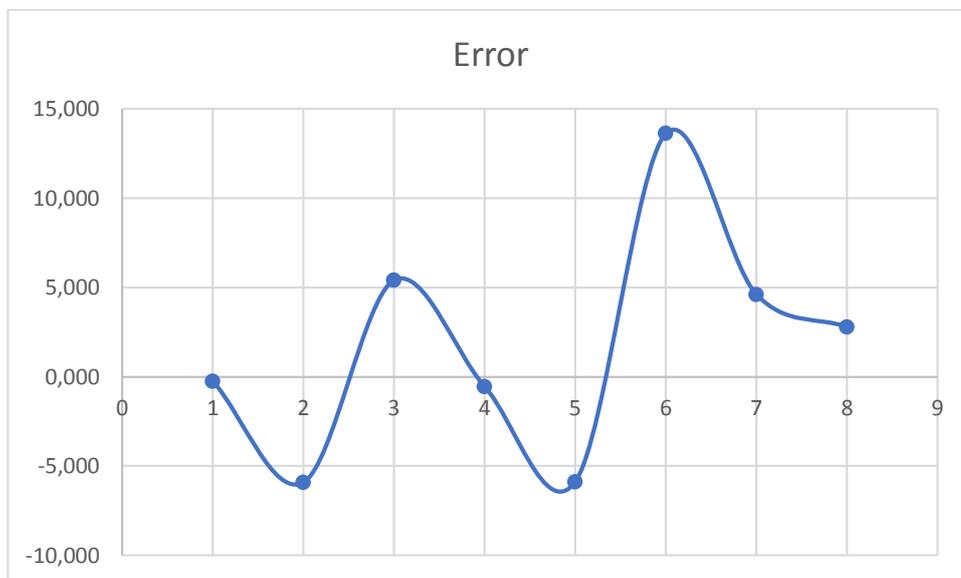
El modelo matemático que resulta del ajuste de todos los datos para variable respuesta tensión responde a la ecuación de regresión en unidades no codificadas.

Figura N°III-19 Diferencia entre la tensión obtenida y la tensión del modelo matemático



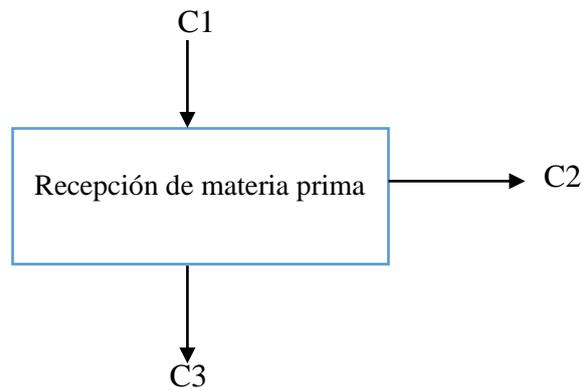
En la figura N°III-19 apreciamos la diferencia entre la tensión obtenida y la tensión del modelo matemático, podemos concluir que en los experimentos 2 y 6 existe una mayor diferencia entre ambas tensiones.

Figura N°III-20 Error Diferencia entre la tensión obtenida y la tensión del modelo matemático



3.15 Balance de materia para la obtención del bioplástico

3.15.1 Recepción de la materia prima (cáscara de naranja)



Donde

C1= Cáscaras de naranjas entrantes

C2= cáscaras de naranjas desechadas

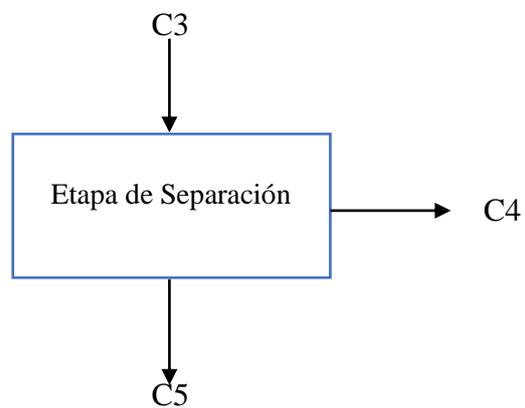
C3= cáscaras de naranjas seleccionadas

C1= 320 g

C2= 120 g

C3= 200

3.15.2 Etapa de separación



Donde:

C3= cáscaras de naranjas seleccionadas

C4= Flavedo de cáscara de naranja

C5=Albedo de cáscara de naranja

Balance Global

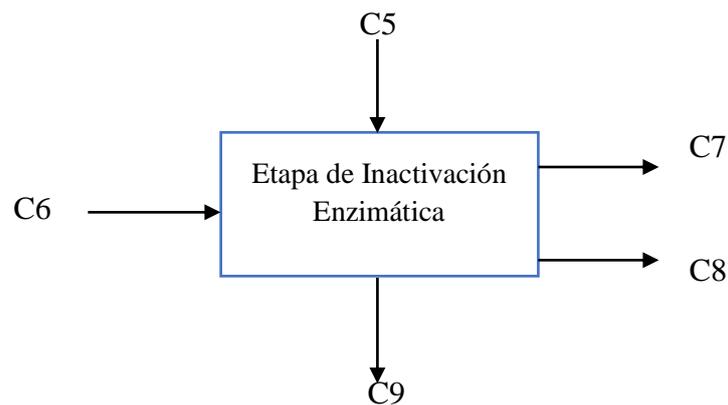
$$C3 = C4 + C5$$

$$C5 = C3 - C4$$

$$C5 = 200 - 100$$

$$C5 = 100 \text{ g}$$

3.15.3 Etapa de Inactivación Enzimática



Donde:

$$C5 = \text{Albedo} \quad C5 = 100 \text{ g}$$

$$C6 = \text{Agua} \quad C6 = 400 \text{ g}$$

$$C7 = \text{Agua Residual} \quad C7 = 277 \text{ g}$$

$$C8 = \text{Agua Evaporada} \quad C9 = 152,276 \text{ g}$$

$$C9 = \text{Albedo Inactivado}$$

Balance Global

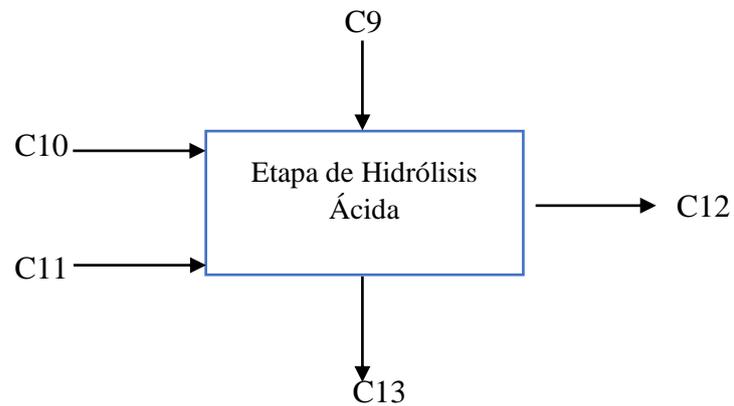
$$C5 + C6 = C7 + C8 + C9$$

$$C8 = C5 + C6 - C7 - C9$$

$$C8 = ((100 + 400) - 275 - 152,276) \text{ g}$$

$$C8 = 72,724 \text{ g}$$

3.15.4 Etapa de Hidrolisis Acida



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

$$m_{HCL} = 1,02 \frac{g}{ml} * 25 \text{ ml}$$

$$m_{HCL} = 25,5 \text{ g}$$

Donde:

C9= Albedo Inactivado

$$C9 = 152,276$$

C10= Masa de HCL para Hidrólisis

$$C10 = 25,5$$

C11= Masa de agua para Hidrólisis

$$C11 = 400$$

C12= Masa de solución evaporada

$$C13 = 470,760$$

C13= Masa de solución hidrolizada

Balance Global

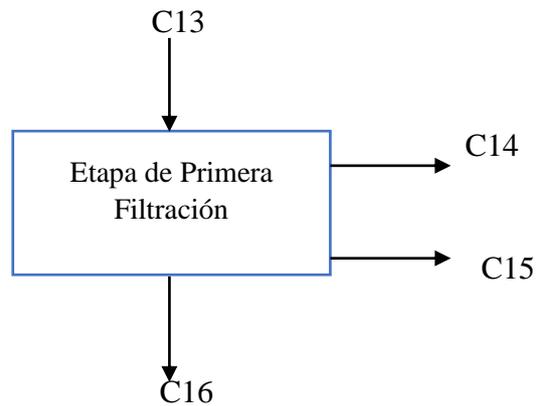
$$C9 + C10 + C11 = C12 + C13$$

$$C12 = C9 + C10 + C11 - C13$$

$$C12 = (152,276 + 25,5 + 400 - 470,760) \text{ g}$$

$$C12 = 107,016 \text{ g}$$

3.15.5 Etapa de Primera Filtración



Donde:

C13= Masa de Solución Hidrolizada C13=470,760

C14= Masa de Bagazo de Albedo C14=114,223

C15= Pérdidas por filtración C16=350,222

C16= Pectina diluida

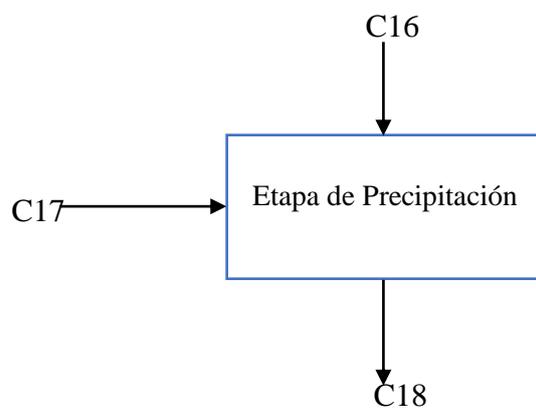
$$C13=C14+C15+C16$$

$$C15=C13-C14-C16$$

$$C15= (470,760-114,223-350,22) \text{ g}$$

$$C15=6,317 \text{ g}$$

3.15.6 Etapa de Precipitación



Etanol al 96% en relación a un 80 % de la solución

$$V_{C2H5OH} = V \text{ solución} * 0.8$$

$$V_{C2H5OH} = 350,222 * 0,8$$

$$V_{C2H5OH} = 280,0176 \text{ ml}$$

$$\rho_{C2H5OH} = \frac{m_{C2H5OH}}{V_{C2H5OH}}$$

$$m_{C2H5OH} = 0,808 \frac{g}{ml} * 280,017 \text{ ml}$$

$$m_{C2H5OH} = 226,254 \text{ g}$$

Donde:

C16= Masa de solución de pectina Diluida

$$C16=350,22$$

C17= Masa de Etanol para precipitar

$$C17=226,254$$

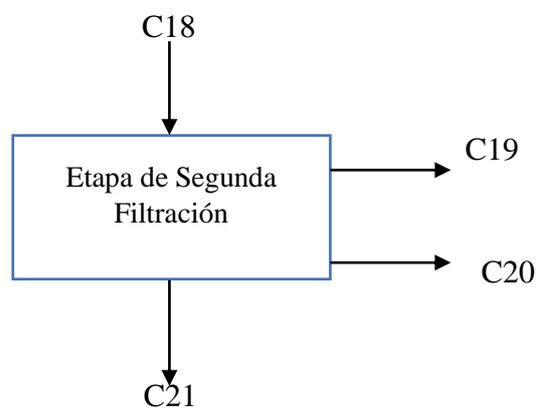
C18= Masa de gel (Pectina Húmeda) + solución ácida residual

$$C16+C17=C18$$

$$C18= (350,22 + 226,254) \text{ g}$$

$$C18=576,474 \text{ g}$$

3.15.7 Etapa de Segunda Filtración



Donde:

C18=Masa de pectina húmeda + ácido residual

$$C18=576,474$$

C19= Masa de Solución ácida Residual

$$C19=392,522$$

C20 = Masa de Pérdida por filtración

$$C21=180,224$$

C_{21} = Masa de Pectina Húmeda

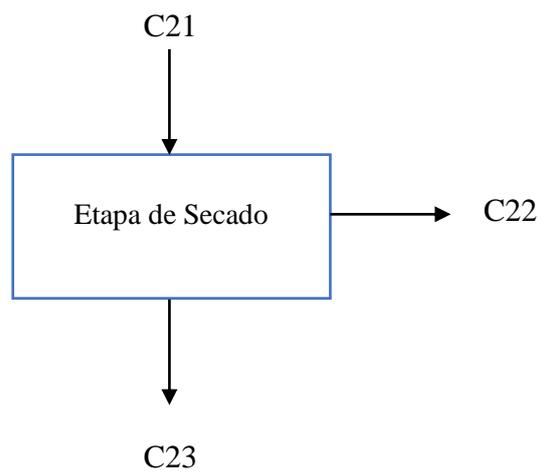
$$C_{18} = C_{19} + C_{20} + C_{21}$$

$$C_{20} = C_{18} - C_{19} - C_{21}$$

$$C_{20} = (576,474 - 392,522 - 180,224) \text{ g}$$

$$C_{20} = 3,728 \text{ g}$$

3.15.8 Etapa de Secado



Donde:

C_{21} = Masa de pectina Húmeda

$$C_{21} = 180,224 \text{ g}$$

C_{22} = Masa de agua Evaporada

$$C_{23} = 4,850 \text{ g}$$

C_{23} = Masa de pectina seca

Balance Global

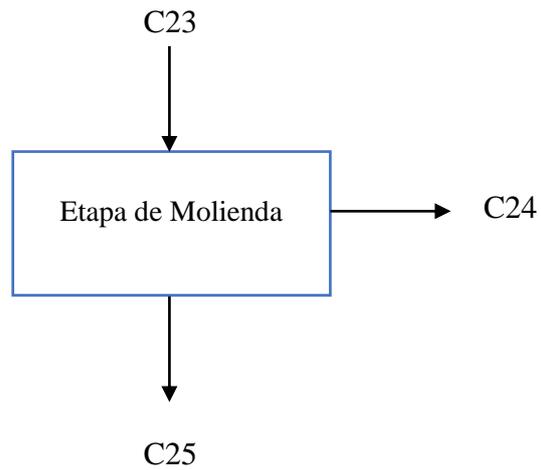
$$C_{21} = C_{22} + C_{23}$$

$$C_{22} = C_{21} - C_{23}$$

$$C_{22} = 180,224 - 4,850$$

$$C_{22} = 175,374 \text{ g}$$

3.15.9 Etapa de Molienda



Donde:

C23=Masa de pectina seca C23=4,850 g

C24=Masa de pérdida en la molienda C25=4,823 g

C25= Masa de pectina molida

Balance global

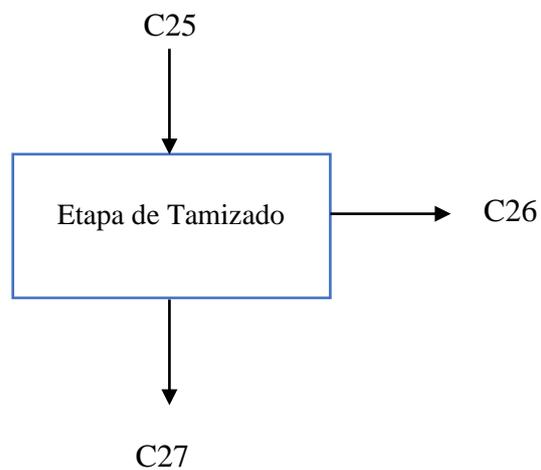
$$C23=C24+C25$$

$$C24= C23-C25$$

$$C24=4,850-4,823 \text{ g}$$

$$C24= 0,027 \text{ g}$$

3.15.10 Etapa de Tamizado



Donde:

C25=Masa de pectina molida C25=4,823 g

C26=Masa de pectina perdida en el tamizado C27=4,698g

C27= Masa de pectina tamizada

Balance global

$$C25=C26+C27$$

$$C26=C25-C27$$

$$C26=4,823-4,698$$

$$C26=0,125g$$

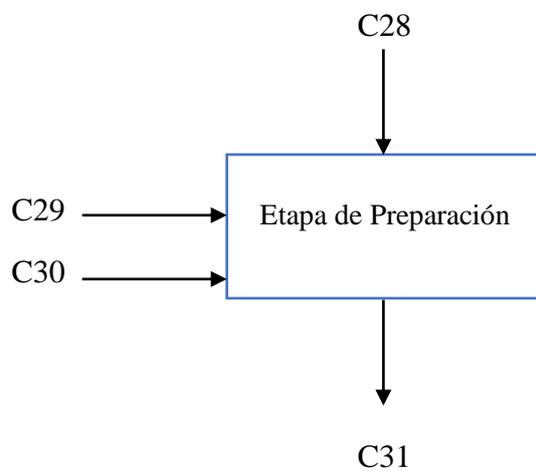
Rendimiento del proceso de la Pectina

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_{\text{pectina}}}{m_{\text{cáscara de naranja}}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{4,698g}{100g} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 4,698 \%$$

3.15.11 Etapa de Preparación de mezcla para el bioplástico



Se consideró la densidad del agua destilada de 1 g/ml

Donde:

Balance Global

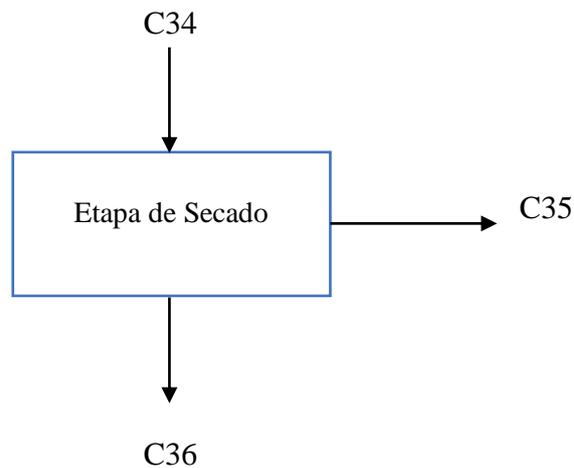
$$C31+C32=C33+C34$$

$$C33=C31+C32-C34$$

$$C33= (80+2,528-65,365) \text{ g}$$

$$C33=17,163\text{g}$$

3.15.13 Etapa de Secado



Donde:

C34=Masa de bioplástico húmedo

$$C34=65,365\text{g}$$

C35= Masa de agua evaporada

$$C36= 12,272\text{g}$$

C36= Masa de bioplástico seco

Balance Global

$$C34=C35+C36$$

$$C35=C34-C36$$

$$C35= (65,365-12,272) \text{ g}$$

$$C35=53,093\text{g}$$

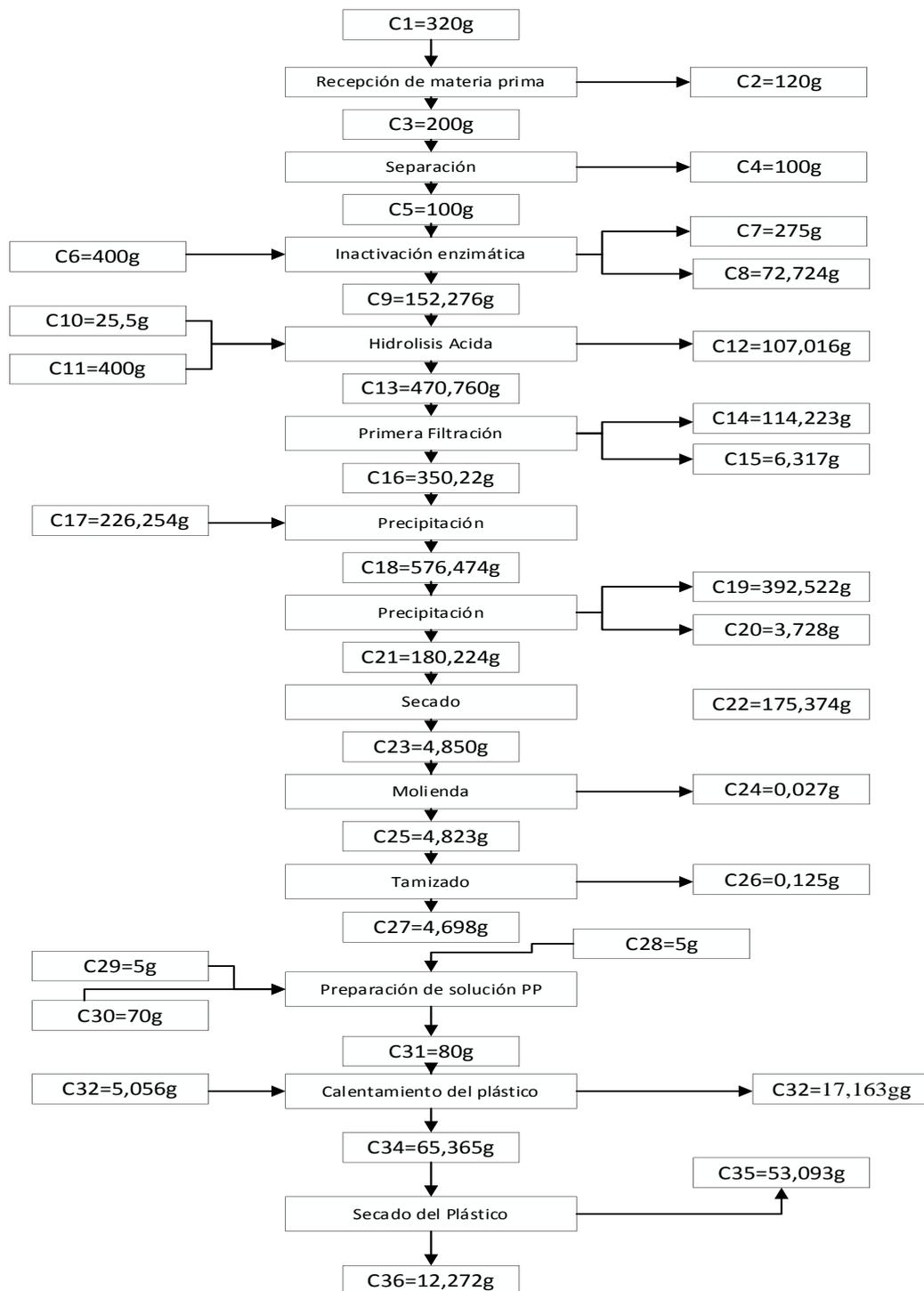
Rendimiento del Proceso del Bioplástico

$$\text{Rendimiento} = \frac{m \text{ Bioplástico obtenido}}{m \text{ cáscara de naranja}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{12,272\text{g}}{100\text{g}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 12,272 \%$$

Figura N°III-21 Resumen del balance de materia de la extracción de pectina



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al resumen del balance se concluye que se obtuvo un rendimiento en la extracción de pectina de 12,272 % similar el rendimiento obtenido por Aminta y Manrique (2004) con un rendimiento de 12.52 %.

3.16 Balance de energía para la obtención del bioplástico

3.16.1 Etapa de inactivación enzimática

En esta etapa se utilizó el calentador – agitador magnético a una temperatura de 90 \pm 2 por un tiempo de 30 minutos.

$$\text{Tiempo} = t = 0,50 \text{ h}$$

$$\text{Potencia del calentador} = 0,64 \text{ kW}$$

$$\text{Temperatura del calentador} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Energía del calentador

$$E \text{ Calentador} = P \text{ Calentador} * t$$

$$E \text{ Calentador} = 0,64 \text{ kW} * 0,50 \text{ h}$$

$$E \text{ Calentador} = 0,32 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en la etapa de inactivación enzimática en kJ es de:

$$E \text{ Calentador} = 0,32 \text{ kW} - \text{h} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW-h}}$$

$$E \text{ Calentador} = 1152 \text{ kJ}$$

3.16.2 Etapa de hidrólisis ácida

Esta etapa se realizó en el calentador – agitador magnético a una temperatura de 80 $^\circ\text{C}$ por un lapso de 60 min.

$$\text{Tiempo} = t = 1 \text{ h}$$

$$\text{Potencia del calentador – agitador magnético} = P \text{ Calentador} = 0,64 \text{ kW}$$

Energía del calentador – agitador magnético = E Calentador

$$E \text{ Calentador} = P \text{ Calentador} * t$$

$$E \text{ Calentador} = 0,64 \text{ kW} * 1 \text{ h}$$

$$E \text{ Calentador} = 0,640 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en la etapa de inactivación enzimática en kJ es de:

$$E \text{ Calentador} = 0,64 \text{ kW} - \text{h} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW-h}}$$

$$E \text{ Calentador} = 2304 \text{ kJ}$$

3.16.3 Etapa de primera filtración

En esta etapa se separó la solución hidrolizada del bagazo, se realizó empleando una bomba de vacío conectado a un Kitasato con un embudo Büchner por un lapso de 1 h.

$$\text{Tiempo} = t = 1 \text{ h}$$

$$\text{Potencia de la bomba de vacío} = P \text{ Bomba} = 0,23 \text{ kW}$$

Energía de la bomba de vacío

$$E \text{ Bomba} = P \text{ Bomba} * t$$

$$E \text{ Bomba} = 0,23 \text{ kW} * 1 \text{ h}$$

$$E \text{ Bomba} = 0,23 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en la etapa de la primera filtración en kJ es de:

$$E \text{ Bomba} = 0,23 \text{ kW} - \text{h} * 3\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW-h}}$$

$$E \text{ Bomba} = 828 \text{ kJ}$$

3.16.4 Etapa de secado

Esta etapa se realizó en la estufa de convección forzada a 45°C por un tiempo de 25 h, se realizó el secado hasta obtener un peso constante de la pectina.

$$\text{Tiempo} = t = 25 \text{ h}$$

$$\text{Potencia del secador de bandeja} = P \text{ Secador} = 2 \text{ kW}$$

Energía del secador de bandeja = E Secador

$$E \text{ Secador} = P \text{ Secador} * t$$

$$E \text{ Secador} = 2 \text{ kW} * 25 \text{ h}$$

$$E \text{ Secador} = 50 \text{ kW} - \text{h}$$

La energía consumida en la etapa de secado en kJ es de:

$$E \text{ Secador} = 50 \text{ kW} - \text{h} * 3\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{kW-h}}$$

$$E \text{ Secador} = 180\,000 \text{ kJ}$$

3.16.5 Etapa de calentamiento y homogenización de mezcla para el bioplástico

En esta etapa se utilizó el calentador – agitador magnético a una temperatura de 50 ± 2 °C por un tiempo de 5 minutos.

Tiempo= t = 0,083 h.

Potencia del calentador = 0,64 kW

Temperatura del calentador= 50 °C

Energía del calentador

E Calentador = P Calentador * t

E Calentador = 0,64 kW * 0,083 h

E Calentador = 0,053 kW – h

La energía consumida en la etapa de calentamiento y homogenización de mezcla para el bioplástico en kJ es de:

E Calentador = 0,053W – h * 3 600 $\frac{kJ}{kW-h}$

E Calentador = 190,8 kJ

Tabla N°III-20 Valores del consumo energético del balance de energía

Proceso y Equipo	Potencia (kW)	Tiempo(h)	Energía(kW/h)	Costo Global (Bs)
Inactivación enzimática Calentador-agitador	0,64	0,5	0,32	0,256
Hidrólisis ácida Calentador-agitador	0,64	1	0,64	0,516
primera filtración Bomba de vacío	0,23	1	0,23	0,185
Etapa de secado para ambos procesos Estufa de convección forzada	2	29	58	46,4
Calentamiento y homogenización de mezcla Calentador-agitador	0,64	0,083	0,053	0,042

Fuente: Elaboración Propia

3.17 Costos de Materias Primas y Reactivos

Para determinar el costo de producción del bioplástico, se trabajó con los datos utilizados en el balance de materia y energía, las siguientes tablas muestran el costo de materias primas y reactivos.

Tabla N°III-21 Valores de los costos para la obtención del bioplástico

Materia Prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo Global
Cáscara de Naranja	0,1	kg	0	0
Ácido Clorhídrico	0,025	l	175	4,375
Etanol al 96%	0,028	l	9	0,252
Agua Destilada	1,5	l	6	9
Almidón de yuca	0,005	kg	9	0,045
Glicerina	0,005	l	55	0,275
			Total	13,947

Fuente: Elaboración Propia

3.18 Costo de Energía Eléctrica

Tabla N°III-22 Valores de los costos de energía para la obtención del bioplástico

Proceso y Equipo	Potencia (kW)	Tiempo(h)	Energía(kW/h)	Costo Global (Bs)
Inactivación enzimática Calentador-agitador	0,64	0,5	0,32	0,256
Hidrólisis ácida Calentador-agitador	0,64	1	0,64	0,516
primera filtración Bomba de vacío	0,23	1	0,23	0,185
Etapa de secado Estufa de convección forzada	2	29	50	46,4
Calentamiento y homogenización de mezcla Calentador-agitador	0,64	0,083	0,053	0,042
			Total	47,399

Fuente: Elaboración Propia

3.19. Costos de análisis Físicoquímicos

Tabla N° III-23 Valores de los costos de análisis Físicoquímicos para la obtención del bioplástico

Ítem	Descripción	Valor Unitario (Bs)	Cantidad	Costo Global (Bs)
Cáscara de Naranja	Cenizas	20	1	20
	Humedad	20	1	20
	Ph	12	1	12
Pectina de Naranja	Cenizas	20	1	20
	Humedad	20	1	20
	Ph	12	1	12
			Total	104

El valor del costo total de producción del bioplástico de naranja es la suma de los costos de materias primas y reactivos y los costos de energía eléctrica:

Costo total = (13,947 + 47,399) Bs.

Costo total = 61,346 Bs.

La producción de 12,272 gramos de bioplástico de cáscara de naranja tiene un costo total de 61,346 Bs.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. Se utilizó cáscara de naranja variedad Valencia Tardía en estado verde-maduro en la obtención de bioplástico, procedente del departamento de Tarija. Los resultados de las propiedades físico-químicas determinados por el CEANID. de la UAJMS son: humedad 1,05%, cenizas 68,93% y pH 3,44.

2. Las variables estudiadas en el proceso de obtención de bioplástico a partir de cáscara de naranja (Valencia Tardía) son para el primer proceso (obtención de pectina) temperatura, pH y tiempo de extracción; para el segundo proceso (obtención del bioplástico) cantidad de pectina de naranja, cantidad de almidón de yuca y volumen de glicerina.

3. En el proceso de obtención de pectina se obtuvo un rendimiento de 4,698 g por 100 g de cáscara de naranja, los parámetros para obtener este rendimiento fueron temperatura 80°C, pH 1.5 y 60 minutos de tiempo de extracción.

4. La pectina obtenida tiene una acidez libre de 0,902 y un peso equivalente de 1108,840.

5. En el proceso de obtención del bioplástico se obtuvo un bioplástico que presenta una tensión de 420,285N/cm² (4,20 Mpa), cumple con los límites de referencias de las normas INEN 2542, FAO 1999 y de investigaciones ejecutadas por Trujillo, 2014 y Guamán, 2019.

6. La muestra de bioplástico Bplast-8 la cual presenta mejores características de tensión, tiene un porcentaje de degradación de 39,285%, por lo cual se estima que en 51 días se habrá degradado por completo, esto es una diferencia abismal contra la degradación de un plástico convencional que tiene un periodo de degradación de 150 años.

7. El costo estimado de la obtención experimental (de bioplástico a partir de cáscara de naranja (Valencia tardía) es de: 61,346 Bs por 12,272 gramos de bioplástico.

8. El bioplástico producido utilizando las proporciones ideales de pectina de naranja, almidón de yuca y glicerina exhibe características que se asemejan a las de

una bolsa de goma con una tensión de 4,202 Mpa y un módulo de tracción de 20,7380 Mpa.

9. Los resultados de la encuesta de satisfacción del bioplástico obtenido, son los siguientes: Total de Personas encuestadas 15.

6 personas están familiarizadas con el concepto de bioplástico, 9 no están familiarizadas.

En cuanto a la pregunta 2 uso del bioplástico en productos de uso diario, 1 persona cree que es nada aceptable, 3 personas creen que es poco aceptable, 6 personas son neutrales acerca del tema, 3 personas creen que la idea es aceptable y 2 personas muy aceptable.

En relación a los factores considerados más importantes al evaluar la aceptabilidad del bioplástico respondieron: 3 personas optaron por el impacto ambiental positivo, 3 personas por Facilidad de descomposición, 4 personas por calidad y durabilidad del bioplástico, 4 personas por disponibilidad y costo y 1 persona por conciencia sobre la reutilización y reciclaje.

Sobre la pregunta 4 ¿Cuáles crees que podrían ser los posibles beneficios de utilizar bioplástico a partir de la cáscara de naranja en comparación con el plástico convencional? las respuestas fueron: 7 personas eligieron a menor contaminación ambiental 4 personas a contribución a la reducción de residuos plásticos, 1 persona a impulso a la industria agrícola local, 2 personas a fomento de la sostenibilidad 1 persona a innovación tecnológica.

Acerca de la pregunta 5 ¿Cómo calificarías la calidad del Bioplástico expuesto en esta encuesta? Las respuestas fueron: 1 persona optó por la opción muy mala, 2 personas por la opción mala, 5 personas por la opción regular, 5 personas por la opción buena y 2 personas por la opción excelente.

Las respuestas de la pregunta 6 ¿Qué aspecto crees que debe mejorar en el bioplástico utilizado para esta encuesta? son las siguientes: 3 personas optaron por la opción resistencia, 4 personas por la opción elasticidad, 6 personas por la opción textura y 2 personas por la opción ninguno.

Las respuestas de la pregunta 7 fueron las siguientes: 7 personas estarían a pagar un poco más por un bioplástico y 8 personas no estarían dispuestas.

Por último, en cuanto a la pregunta 8. ¿Con qué frecuencia utilizarías una bolsa fabricada a partir del bioplástico expuesto? Las respuestas fueron: 7 personas eligieron la opción diariamente, 3 personas la opción una vez a la semana, 4 personas la opción 2 veces por semana y 1 persona eligió la opción 3 veces al mes.

Luego de observar los resultados de la encuesta realizada en la sociedad Boliviana, se concluye que el Bioplástico es una opción viable y aceptada por la sociedad, sin embargo, se debe concientizar y familiarizar el concepto de bioplástico biodegradables.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda al estudiante que quiera mejorar los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado, se pueda realizar lo siguiente:

1. Profundizar el estudio acerca de bioplásticos.
2. Mejorar las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.
3. Realizar estudios sobre las propiedades de la cáscara de Naranja.
4. Estudiar métodos de secado alternativos, al del secado por convección mediante una estufa eléctrica, debido a que este método resulta muy caro para el proceso.
5. Perfeccionar el proceso de uso de almidones y pectinas para la obtención de biopelículas plásticas, variando los grados de sustitución y evaluar su calidad.
6. Promover el uso de materiales de Bioplástico.
7. Realizar un estudio de mercado para la fabricación industrial de bioplásticos en la ciudad de Tarija.