

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



“ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN
RESIDUAL OBTENIDO DE PELADORAS DE PAPA Y
DETERMINACIÓN DE SU BIODEGRADABILIDAD A NIVEL DE
LABORATORIO”

Presentado por:

PAOLA NATHALI MEZA RAMOS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

Lima - Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS**

**“ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN
RESIDUAL OBTENIDO DE PELADORAS DE PAPA Y
DETERMINACIÓN DE SU BIODEGRADABILIDAD A NIVEL DE
LABORATORIO”**

Presentado por:

Paola Nathali Meza Ramos

Tesis para Optar por el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentado y aprobado por el siguiente Jurado:

**Dra. Rosemary Vela Cardich
PRESIDENTE**

**Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeon Quispe
MIEMBRO**

**Blgo. Juan Gabriel Juscamaita Morales
MIEMBRO**

**Ing. Lawrence Enrique Quipuzco Ushñahua
PATROCINADOR**

**Dr. Victor Juan Meza Contreras
CO-PATROCINADOR**

Esta investigación se la dedico a mis padres,
quienes me han apoyado incondicionalmente a
lo largo de toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres quienes siempre me alentaron a continuar y a dar lo mejor a pesar de las adversidades.

A la Facultad de Ciencias y sus colaboradores por su apoyo al brindar las instalaciones de los Laboratorios de Ingeniería Ambiental para el desarrollo de la parte experimental de la presente investigación.

Al Ingeniero Lawrence Quipuzco y al Doctor Víctor Meza, asesor y co-asesor de tesis respectivamente, por su apoyo y asesoría brindada desde los inicios de la investigación.

Al Ingeniero Hermes Valdivia, jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos, y sus colaboradores por su gentil apoyo en el ensayo preliminar de tracción realizado en el total de muestras de bioplásticos brindando su asesoría, las instalaciones del laboratorio y los equipos requeridos en el ensayo.

Al comedor Universitario de la UNALM por el apoyo brindado en la toma de muestras de los residuos de una de sus peladoras, y por la donación de una peladora industrial de baja capacidad en desuso.

Al Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, al Mg. Sc. Aníbal Rosas jefe de dicho laboratorio por el descuento ofrecido y el apoyo técnico ofrecido en la realización de los ensayos de tracción.

A la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el descuento ofrecido en la realización de los ensayos de infrarrojo.

Al Mg. en Ingeniería Ambiental Artur Figueiredo Saraiva, de la Universidad Técnica de Lisboa, por sus consejos y asesoría en la etapa del ensayo de biodegradación según la norma ISO 17556.

Al Magíster en Química Lizardo Visitación Figueroa por la asesoría brindada a lo largo de la etapa experimental de la investigación.

Al Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del Departamento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina por el descuento ofrecido en el análisis de Carbono y a la Bióloga Wendy Pérez Porras por haber realizado el análisis.

Al Laboratorio de Química, en especial a la técnico Karina Ccapa Ramírez por sus consejos y apoyo en los análisis de amilosa/amilopectina.

Al Máster en Ciencias en Estadística Grimaldo José Febres Huamán, por su apoyo en la parte estadística de la investigación.

Al Ingeniero Francisco Fuentes de DIGESA por el apoyo brindado en la medición de flujo de aire de la bomba de aire utilizada para el ensayo de biodegradación.

A mis amigos: María Fernanda, Katherine, Pedro, Raúl, Edgar, Irma, Sr. Vicente y Sr. Nacho porque de alguna forma me apoyaron en la realización de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. BIODEGRADABLE	4
2.1.1. Definición	4
2.1.2. Normativa en biodegradación.....	4
2.2. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD ISO 17556	8
2.2.1. Objeto y campo de aplicación	8
2.2.2. Antecedentes.....	8
2.3. BIOPLÁSTICO	13
2.3.1. Definición	13
2.3.2. Clasificación de Bioplástico	14
2.3.3. Metodologías para elaborar bioplástico.....	15
2.3.4. Elaboración de Bioplástico en el Perú.....	16
2.4. PAPA (<i>Solanum tuberosum</i>)	22
2.4.1. Definición	22
2.4.2. Composición química	23
2.4.3. Situación de la papa en el mercado	23
2.4.4. Variedades	25
2.4.5. Usos alimentarios	25
2.4.6. Usos no alimentarios	28
2.5. ALMIDÓN	28
2.5.1. Propiedades estructurales del almidón natural	29
2.5.2. Tratamientos hidrotérmicos del almidón.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. UBICACIÓN	34
3.2. DURACIÓN	34
3.3. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN	36
3.3.1. Materiales	36
3.3.2. Métodos	36

3.3.3. Análisis de amilosa/amilopectina	38
3.4. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO	40
3.4.1. Materiales	40
3.4.2. Métodos	41
3.4.3. Ensayo Preliminar de Tracción y Elongación	43
3.5. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD.....	45
3.5.1. Muestra de compost.....	46
3.5.2. Materiales a ensayar	47
3.5.3. Sistema respirométrico	47
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	49
4.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN	49
4.1.1. Análisis de amilosa/amilopectina	53
4.1.2. Ensayo de Espectrofotometría Infrarroja.....	55
4.2. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO	57
4.2.1. Ensayo preliminar de tracción y elongación.....	58
4.2.2. Ensayo de Tracción y Elongación	60
4.2.3. Ensayo de Espectrofotometría Infrarroja.....	63
4.3. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD.....	64
V. CONCLUSIONES.....	72
VI. RECOMENDACIONES.....	73
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
VIII. ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Normativa internacional ISO	7
Cuadro 2: Cultivos andinos usados para la producción de películas de almidón.....	16
Cuadro 3: Matriz de diseño experimental para la elaboración de bioplásticos	18
Cuadro 4: Muestras de bioplásticos de almidón de papa seleccionados	20
Cuadro 5: Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones de diferente origen	28
Cuadro 6: Duración de la investigación por actividades	35
Cuadro 7: Características de cada ensayo de extracción de almidón	37
Cuadro 8: Factores y niveles seleccionados para el diseño de experimentos.....	41
Cuadro 9: Matriz de diseño de experimentos $L_6 (2^1 \times 3^1)$	42
Cuadro 10: Caracterización del compost.....	46
Cuadro 11: Lecturas del flujómetro en la bomba de aire	47
Cuadro 12: Extracción de almidón: Resultados del ensayo 2	51
Cuadro 13: Curva estándar de amilosa.	53
Cuadro 14: Resultados muestra de almidón	54
Cuadro 15: Resumen de resultados del ensayo de tracción y elongación preliminar.....	59
Cuadro 16: Resumen de resultados del ensayo de tracción y elongación	62
Cuadro 17: Porcentaje de carbono en las muestras a ensayar	65
Cuadro 18: Peso perdido en las muestras ensayadas	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción neta de dióxido de carbono durante el test respirométrico	9
Figura 2: Porcentaje de biodegradación acumulada durante el test respirométrico	10
Figura 3: Cantidad de CO ₂ generado acumulado en los materiales ensayados del ensayo de biodegradación.	12
Figura 4: Porcentaje de Biodegradación en los materiales ensayados del ensayo de biodegradación.	13
Figura 5: Clasificación de los bioplástico.	15
Figura 6: Curvas tensión-deformación representativas de las películas de almidón obtenidos a partir de (a) patata, (b) camote, (c) la yuca y (d) de maíz.....	17
Figura 7: FTIR del almidón de papa amarilla.	19
Figura 8: FTIR del bioplástico de almidón de papa.	20
Figura 9: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M1 por probeta.....	21
Figura 10: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M2 por probeta.....	21
Figura 11: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M3 por probeta.....	22
Figura 12: Producción de papa en el Perú, 2004 - 2013.....	24
Figura 13: Etapas en la extracción del almidón.....	26
Figura 14: Estructura de la amilosa	29
Figura 15: Estructura de la amilopectina.....	30
Figura 16: Microfotografías 20X. Almidones nativos: a. Yuca, b. Papa, c. Ñame	31
Figura 17: Tiempos y las temperaturas de gelatinización para distintos almidones	32
Figura 18: Equipos para análisis amilosa/amilopectina: a) Espectrofotómetro UV, b) agitador magnético.....	38
Figura 19: Reactivos para análisis amilosa / amilopectina: a. Disolución I2 (0.0025 M) – KI (0.0065 M), b. Dimetilsulfóxido, c. almidón a analizar	39
Figura 20: Soluciones para curva estándar	40
Figura 21: Equipo acondicionado para el ensayo preliminar de tensión: a. Equipo, b. dial	43
Figura 22: Equipos para el ensayo preliminar de tensión: a. Equipo de consolidación, b. Balanza pequeña	44
Figura 23: a) Pesado de monedas; b) Tira de bioplástico en ensayo.....	45
Figura 24: Cantidad de almidón obtenido (Am).....	50
Figura 25: Eficiencia Vs Muestra.....	51

Figura 26: Vista al microscopio de los gránulos del almidón extraído en la presente investigación	53
Figura 27: Curva estándar amilosa/amilopectina	54
Figura 28: Comparación de Espectros de la muestra de almidón y la referencia bibliográfica.....	56
Figura 29: a. bioplástico en la placa; b. bioplástico estirado; c. bioplástico doblado.....	57
Figura 30: a. bioplástico; b. tiras de bioplástico; c. total de muestras	58
Figura 31: Regresiones lineales de los distintos bioplástico	60
Figura 32: a. Equipo de tracción universal Zwick Roell Z050; b. Acercamiento del equipo	61
Figura 33: a. Probetas a ensayar; b. Reloj comparador	61
Figura 34: Gráfico Deformación Vs. Esfuerzo.....	62
Figura 35: Espectro en muestra del bioplástico.....	64
Figura 36: Porcentaje de biodegradación de Celulosa.....	66
Figura 37: Cantidad de CO ₂ generado por los materiales ensayados	67
Figura 38: Porcentaje de biodegradación de los materiales ensayados.	68
Figura 39: Aspecto físico de las muestras al inicio del ensayo: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. Polietileno de baja densidad.	70
Figura 40: Aspecto físico de las muestras al final del ensayo: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. Polietileno de baja densidad.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN	87
ANEXO 2: PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO	88
ANEXO 3: RESULTADOS DEL ENSAYO 1 – EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN	89
ANEXO 4: RESULTADOS ENSAYO 2 – EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN	90
ANEXO 5: ENSAYO DE ESPECTROFOTOMETRÍA POR INFRARROJO EN EL ALMIDÓN	91
ANEXO 6: ANÁLISIS ESTADÍSTICO	94
ANEXO 7: ENSAYO DE ESPECTROFOTOMETRÍA POR INFRARROJO EN EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN	96
ANEXO 8: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST	99
ANEXO 9: ANÁLISIS CANTIDAD DE CARBONO EN MUESTRAS	100
ANEXO 10: ENSAYO DE BIODEGRADACIÓN	103

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo elaborar un bioplástico a nivel de laboratorio a partir de residuos de papa variedad 'Yungay' y evaluar su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012; para lo cual se dividió la investigación en tres etapas: Extracción del almidón, elaboración del bioplástico y ensayo de biodegradabilidad del bioplástico. Para la primera etapa se utilizó el método por decantación con algunas variantes, ya que se trabajó con un residuo; asimismo se incluyeron evaluaciones a partir de las variantes de factores utilizados en las pequeñas industrias de procesamiento de papas para freír, estas son la adición de un antioxidante y la variación de la temperatura con la finalidad de evaluar la mejor metodología para obtener una mayor cantidad de almidón; una vez determinada esta metodología se procesó 20 Kg de papa para evaluar sus características así como para elaborar el bioplástico; se obtuvo una relación de amilosa/amilopectina de 26.21/73.79 y un 89.8% de similitud del espectro evaluado con respecto al espectro del almidón soluble. En la segunda etapa se utilizó una metodología basada en la hidrólisis química del almidón para lograr polimerizar el almidón, se incluye la adición de plastificantes como el agua y el glicerol; adicionalmente se evaluó las características físicas y mecánicas de los bioplásticos elaborados con distintas cantidades de aditivos, una vez determinado el bioplástico más resistente se utilizó dicha metodología para elaborar el bioplástico, las pruebas de tracción y elongación indicaron un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99%, el análisis infrarrojo (FTIR) indicó variaciones en los picos que explican la formación de enlaces característicos del bioplástico. En la última etapa se utilizó compost como medio de degradación, polietileno de baja densidad como control negativo, celulosa como control positivo y el bioplástico a analizar; el bioplástico alcanzó 64.21%, seguido muy de cerca por la celulosa con 63.51%, el polietileno de baja densidad (PEBD) obtuvo 6.95% y finalmente el blanco obtuvo 0.83%.

PALABRAS CLAVE: Bioplástico, residuos, papa, ISO 17556, biodegradación.

SUMMARY

This research aims to develop a laboratory scale bioplastic from waste potato variety 'Yungay' and evaluate its biodegradability reference to ISO Standard 17556 : 2012; for which the research was divided into three stages: extraction of starch, elaboration of the bioplastic and the bioplastic degradation test. For the first stage it was used the method for decantation with some variations, as it was worked with a residue; also assessments were included from variants of factors used in small processing industries potatoes for frying, these are the addition of an antioxidant and temperature variation in order to evaluate the best methodology to obtain the greater amount of starch: once it is given this methodology was processed 20 kg of potatoes to evaluate their characteristics and to develop the bioplastic; a ratio of amylose / amylopectin 26.21 / 73.79 and 89.8% of similarity evaluated with respect to the spectrum of soluble starch spectrum was obtained. In the second stage it is used a method based on chemical hydrolysis of starch to achieve polymerize the starch, the addition of plasticizers such as water and glycerol is included; additionally were evaluated the physical and mechanical characteristics of bioplastic tested with different amounts of further additives, once determined the toughest bioplastic it was took this methodology to produce the bioplastic, the tensile and elongation tests showed a maximum stress of 1.47 MPa and a maximum elongation of 17.99%, the infrared analysis (FTIR) showed peaks variations in explaining the formation of bonds characteristic of the bioplastic. Compost was used in the last stage as a means of degradation, low density polyethylene as a negative control, cellulose as positive control and the biopolymer to be analyzed; the bioplastic reached 64.21%, closely followed by cellulose with 63.51%, then by the low density polyethylene (LDPE) with 6.95% and finally white with 0.83%.

KEY WORDS: Bioplastic, waste, potato, ISO 17556, degradation.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de las múltiples utilidades que tiene el plástico en la vida diaria del hombre, éste también causa uno de los mayores problemas ambientales en el mundo, debido a su composición y al largo tiempo que toma su degradación. En todo el mundo existen enormes depósitos de basura que incluyen toneladas de plásticos que no se degradan por medio de procesos naturales, la producción de plásticos consume anualmente cerca de 270 millones de toneladas de petróleo y gas (Medina, 2005) y genera entre 4.8 y 12.7 millones de toneladas de basura plástica que van a parar a los océanos cada año (Jambeck, 2015). En el Perú el análisis de la composición de los residuos sólidos domiciliarios señala como segundo componente en importancia a los residuos plásticos que se incrementó del 8,07% en el 2010 a 9,48% en el año 2011 (MINAM, 2012).

Según REMAR (2011) la escasez y encarecimiento del petróleo, junto con un aumento de las regulaciones medioambientales, actúan de forma sinérgica para promover el desarrollo de nuevos materiales y productos más compatibles con el medioambiente e independientes de los combustibles fósiles. En este contexto, los bioplástico se ajustan perfectamente a las nuevas necesidades e inquietudes industriales y sociales.

La papa (*Solanum tuberosum*) o también conocida como papa blanca se ha venido utilizando de forma creciente en la industria de los aperitivos, como las hojuelas crocantes de papa y las papas fritas. En el mundo actual, el incremento de la demanda por productos procesados se ha visto favorecida por el crecimiento de la población urbana y el aumento en los ingresos en algunos casos, lo que ha generado cambios en la dieta alimenticia (Bastos, 2009).

Según Scott (2011) los peruanos prefieren comer pollo en lugar de carne roja, por lo que el incremento en el consumo de papas fritas en el Perú se relaciona con el incremento de pollerías, fueron estimados en 482 en el año 1996 (Obbink citado por Scott, 2011), 1,240 en el 2001 (Aliaga citado por Scott, 2011) y 1,834 en 2008 (MERCADERANDO citado por Scott, 2011). Esto ha generado también el aumento de pequeñas industrias dedicadas al procesamiento de papas para freír, utilizando principalmente la papa blanca, asimismo se incrementan también los residuos generados por dichas industrias. Noventa por ciento de las 100,000 TM calculadas de papas fritas consumidas en Lima son producidas por procesadores nacionales utilizando técnicas de pequeña escala (Scott y Zelada citado por Scott 2011).

La cáscara de la papa considerada "sin valor" en la industria de la papa tienen un abundante contenido de almidón un polvo fino y sin sabor, de "excelente textura", proporciona una mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz (Bastos, 2009). Los residuos de papa para freír tienen un potencial económico y de investigación que actualmente no se aprovecha.

Ante un contexto que requiere de tecnologías más limpias y que no dependan del petróleo como insumo, se desea investigar e innovar buscando nuevas fuentes de polímeros biodegradables para la elaboración de bioplástico. La presente investigación plantea aprovechar los residuos generados por las peladoras de papa, que son utilizadas por un número cada vez mayor de industrias que busca satisfacer la creciente demanda, extraer el almidón de dichos residuos y elaborar un bioplástico como material amigable con el medio ambiente y que en un futuro, con posteriores estudios, pueda ser de gran utilidad en nuestra sociedad.

La presente investigación tuvo como objetivo general:

- Elaborar bioplásticos a nivel de laboratorio a partir de residuos de *Solanum tuberosum ssp. tuberosum* var. 'Yungay' y evaluar su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012.

Para esto los objetivos específicos consistieron en:

- Evaluar una metodología para extraer almidón a partir de los residuos de papa.
- Determinar el porcentaje de eficiencia con respecto a la cantidad de residuo sólido en el procedimiento de extracción elegido.
- Caracterizar el almidón obtenido.
- Evaluar una metodología para elaborar bioplásticos y caracterizar dicho material.
- Determinar la biodegradabilidad aeróbica del bioplástico tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BIODEGRADABLE

2.1.1. Definición

La ASTM D-5488-944 lo define como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos, y puede medirse por ensayos estándares en un periodo específico de tiempo reflejado en condiciones disponibles de almacenamiento (Ruiz, 2006). La biodegradabilidad está más directamente relacionada con la estructura química que con el origen de las materias primas (REMAR, 2011).

2.1.2. Normativa en biodegradación

a. Normativa nacional

El 15 de Mayo de 2009 el diario El Peruano publicó el decreto supremo N° 009-2009-MINAM MEDIDAS DE ECOEFICIENCIA PARA EL SECTOR PÚBLICO donde especifica una serie de acciones que permiten la mejora continua del servicio público, mediante el uso de menores recursos, así como la generación de menores impactos negativos en el ambiente (MINAM, 2009). Si bien este decreto no menciona las bolsas de plástico biodegradables, el 28 de agosto de 2010 se publica el DECRETO SUPREMO N° 011-2010-MINAM que modifica el artículo 4 del Decreto Supremo N° 009-2010-MINAM incorporando el numeral 4.1.5 transcrito a continuación (MINAM, 2010):

4.1.5 Uso obligatorio de productos reciclados y biodegradables

- a) Las Entidades del Sector Público deberán utilizar obligatoriamente plásticos, papeles, cartones con un porcentaje de material reciclado. Dicho porcentaje será determinado por el Ministerio del Ambiente mediante Resolución Ministerial, en un plazo no mayor de treinta (30) días calendario contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo.
- b) Las Entidades del Sector Público, deberán comprar y utilizar obligatoriamente bolsas de plástico biodegradables.

Tal y como lo menciona el inciso "a", el 31 de enero de 2011 la Resolución Ministerial N°021-2011-MINAM menciona los porcentajes de material reciclado en plásticos, papeles y cartones mediante el artículo 1, 2 y 3 respectivamente (MINAM, 2011):

“Artículo 1°.- Porcentaje de material reciclado en plásticos

El porcentaje mínimo de material reciclado para los plástico es de ochenta (80%) por ciento.

No se usará plásticos con material reciclado, cuando así lo dispongan las normas sanitarias expresas.”

El 2011 la RESOLUCIÓN MINISTERIAL N°083-2011-MINAM establece las disposiciones para la implementación de lo dispuesto en la R.M. N° 021-2011-MINAM. Cuenta con 2 artículos transcritos a continuación (MINAM, 2011):

“Artículo 1°.- Precítese que el porcentaje de material reciclado determinado en el artículo 1° de la Resolución Ministerial N° 021-2011-MINAM, será de aplicación para aquellos productos cuya composición sea mayor del 90% en peso de plástico.

Para el caso de envases de plásticos, el porcentaje mínimo de material reciclado es de ochenta (80%) por ciento.

Artículo 2°.- Las disposiciones contenidas en la Resolución Ministerial N° 021-2011-MINAM, serán de aplicación para el caso del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, a partir del cuarto trimestre del ejercicio fiscal 2011.”

Adicionalmente se han emitido Normas Técnicas que sustenten los decretos supremos y resoluciones ministeriales mencionadas, las que competen al tema plásticos son los siguientes:

- NTP 900.077 – 2014: PLÁSTICOS. Plásticos reciclados. Trazabilidad y evaluación de conformidad del proceso de reciclado de plásticos y del contenido de material reciclado en el producto final. 1° edición (MINAM, 2014).
- NTP 900.079 – 2015: ENVASES Y EMBALAJES. Guía terminológica en el campo de biodegradable (MINAM, 2015).
- NTP 900.080 – 2015: ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes biodegradables. Programa de ensayo y criterios de evaluación (MINAM, 2015).

b. Normativa internacional

Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación de envases plásticos como de bioplásticos en general. Han sido publicadas varias normas internacionales que especifican métodos de ensayo para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica o anaeróbica final de los materiales plásticos en condiciones acuosas o de compostaje (AENOR, 2013). Las principales organizaciones internacionales que han establecido estos métodos de ensayo y las regulan son (Nolan citado por Meré, 2009):

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- European Standardization Committee (CEN)
- International Standards Organization (ISO)
- Institute for Standards Research

En el Cuadro 1 se muestran las normas de la ISO con respecto a la degradación en plásticos:

Cuadro 1: Normativa internacional ISO

Norma	Título
ISO 17088:2008	Especificaciones para plásticos compostables.
ISO 14855-1:2005/Cor:2009	Determinación de la biodegradabilidad final aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones de compostaje controlado -Método mediante el análisis de dióxido de carbono producido Parte 1: Método general Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en condiciones de compostaje controlado - Método por análisis de dióxido de carbono evolucionada - Parte 1: Método general
ISO 14855-2:2007/Cor:2009	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje-Método mediante el análisis de dióxido de carbono producido Parte 2: medición gravimétrica de dióxido de carbono desprendido en una prueba a escala de laboratorio.
ISO 16929:2002	Plásticos - Determinación del grado de desintegración de los materiales plásticos en condiciones de compostaje definidas en una prueba a escala piloto.
ISO 17556:2003	Plásticos - Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o la cantidad de dióxido de carbono evolucionado.
ISO 20200:2004	Plásticos - Determinación del grado de desintegración de los materiales plásticos en condiciones de compostaje simuladas en una prueba a escala de laboratorio.
ISO 15985:2004	Plásticos - Determinación de la última biodegradación anaeróbica y la desintegración bajo condiciones de alto contenido de sólidos de digestión anaeróbica - método mediante el análisis de biogás liberados.
ISO 14853:2005	Plásticos - Determinación de la última biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en un sistema acuoso - Método por la medición de la producción de biogás.
ISO 14852:1999	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en un medio acuoso - Método por análisis de dióxido de carbono evolucionado
ISO 14851:1999/Cor. 1 2005	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en un medio acuoso - Método por la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado.

Fuente: Remar, (2011).

2.2. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD ISO 17556

2.2.1. Objeto y campo de aplicación

Esta norma internacional especifica un método para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en la tierra mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado o por la cantidad de dióxido de carbono liberado. El método se diseña para producir un grado de biodegradación óptimo ajustando la humedad del suelo de ensayo (AENOR, 2013).

Si se utiliza como inóculo un suelo no modificado, los ensayos simulan los procesos de biodegradación de suelo natural; si se utiliza un suelo pre expuesto, el método puede utilizarse para investigar la biodegradabilidad potencial de un material de ensayo (AENOR, 2013).

Según AENOR (2013) este método se aplica a los siguientes materiales:

- Polímeros naturales y/o sintéticos, copolímeros o mezclas de éstos.
- Materiales plásticos que contienen aditivos tales como plastificantes o colorantes.
- Polímeros solubles en agua.

2.2.2. Antecedentes

a. Portugal

La investigación realizada por Saraiva (2012) “El uso de películas de mantillo biodegradables para la producción de cultivos de melón”, analiza la biodegradabilidad del film acolchado biodegradable con un nuevo grado de Mater-Bi (mezcla el componente sintético con almidón), para lo cual se realizó una prueba respirométrica bajo condiciones controladas, utilizando como inóculo el suelo agrícola de la localidad de Azeitada, provincia Almeirim, Portugal. El ensayo se realizó de acuerdo con DIN EN ISO 17556, siendo medida la cantidad de CO₂ liberado para determinar la biodegradación final aeróbica del film acolchado biodegradable (BMF).

Para esto se utilizó frascos de vidrio de 1000 ml donde se introdujo 200 g de suelo al 50% de la capacidad de retención de agua, 200 mg de mantillo en piezas de 5x5 mm, y un recipiente con una solución de Ba (OH)₂ para retener el CO₂ liberado. Los frascos se abrieron regularmente, de acuerdo con la cantidad de CO₂ liberado, permitiendo la aireación y la sustitución de la solución de Ba (OH)₂. La cantidad de CO₂ liberado fueron medidos indirectamente mediante valoración de la solución de Ba (OH)₂. Se utilizaron dos frascos por cada material a biodegradar y el ensayo duró 74 días.

En esta prueba se utilizó un frasco vacío adicional para determinar la cantidad de CO₂ presente en el aire que entran en los matraces durante el período de aireación. Los matraces fueron mantenidos en condiciones controladas a 20 ± 1 ° C.

La cantidad de CO₂ liberado durante el ensayo de laboratorio se midió indirectamente mediante valoración de la solución de Ba (OH)₂ y el CO₂ acumulado a lo largo del tiempo es representado en la Figura 1.

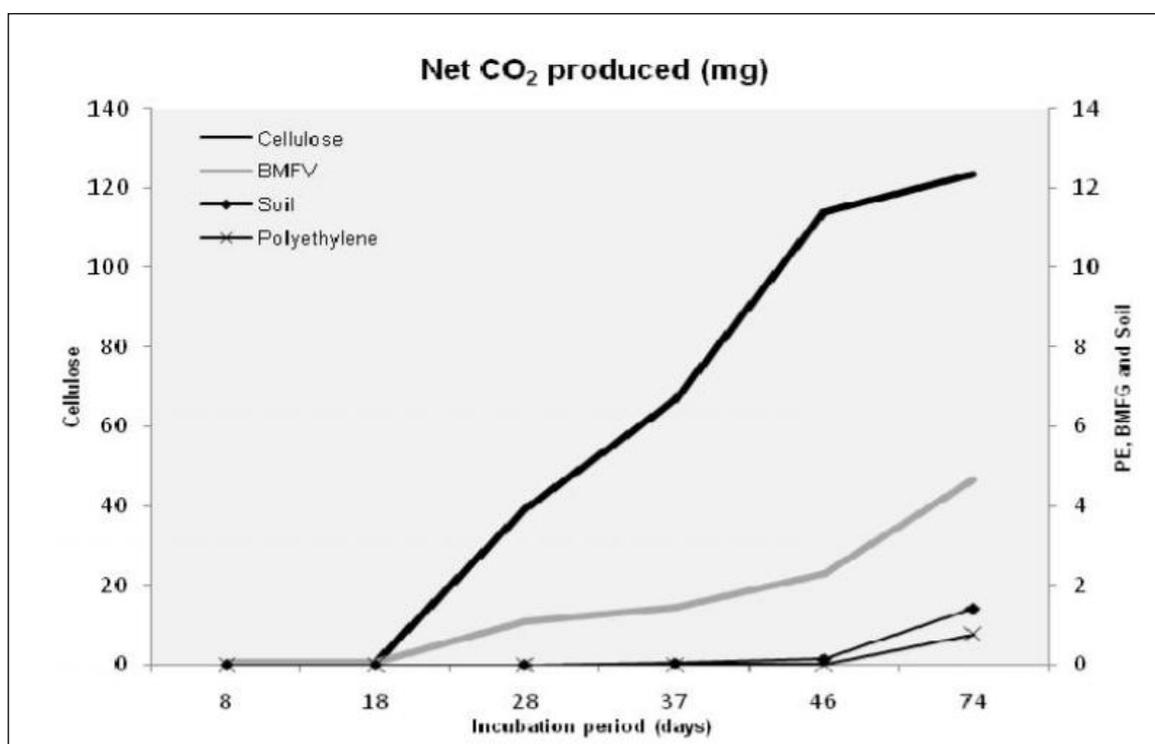


Figura 1: Producción neta de dióxido de carbono durante el test respirométrico

Fuente: Saraiva, (2012).

El porcentaje de biodegradación alcanzado por la BMF en estudio fue calculado mediante la aplicación de las fórmulas indicadas en la norma (DIN EN ISO 17556), siendo mostrados los resultados en la Figura 2.

Por el análisis de los resultados que se muestran en ambas Figuras 1 y 2, se puede observar que a los 74 días de período de incubación no fueron suficientes para permitir llegar a la celulosa a la fase de meseta; el ensayo debe tomarse durante un mayor período de tiempo. Al final del periodo de incubación de celulosa era alrededor del 37% degradada y el BMF verde (BMFV) torno al 0,7% (Figura 2).

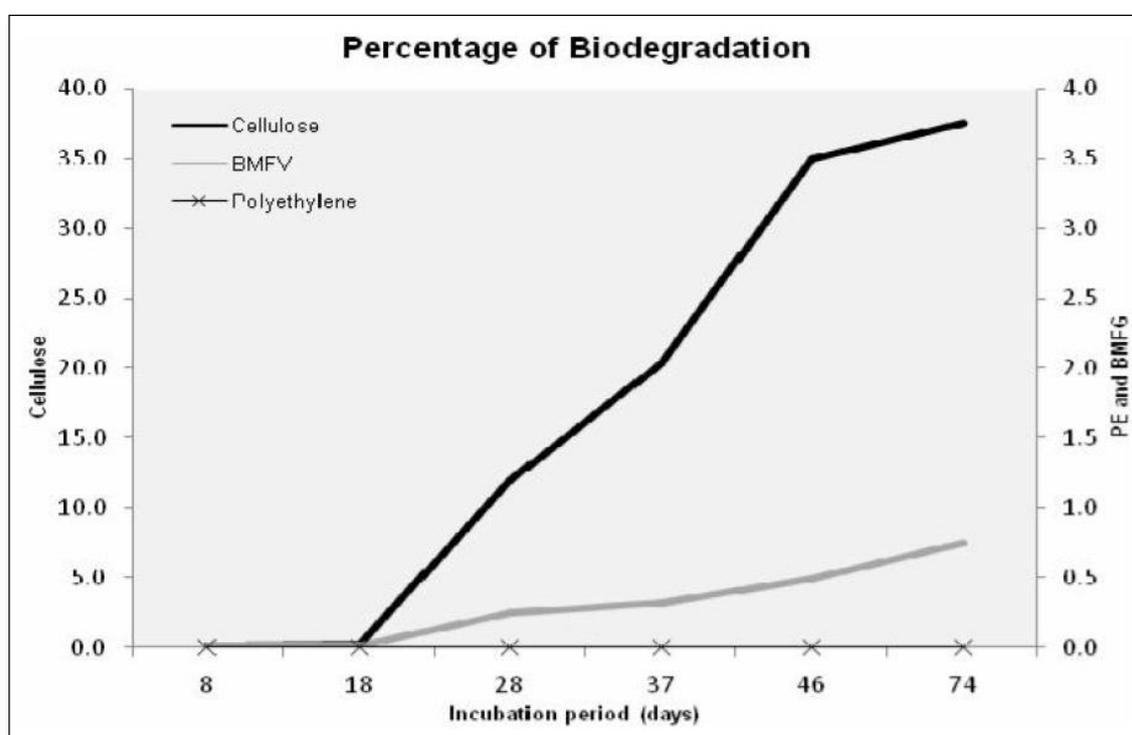


Figura 2: Porcentaje de biodegradación acumulada durante el test respirométrico

Fuente: Saraiva, (2012).

La cantidad de dióxido de carbono producido durante la prueba muestra que la celulosa (control positivo) fue el más alto productor, seguido por el BMFG que viene como segundo mayor productor; el suelo y polietileno (PE) (control negativo) tienen un bajo rendimiento de producción. Estos resultados confirman la existencia de microorganismos en el suelo con capacidad para biodegradar el BMF, pero también muestra que la velocidad de biodegradación de este proceso es muy bajo. Una de las razones de este lento proceso está

probablemente relacionado con el muy bajo contenido de materia orgánica del suelo (alrededor de 1%).

Cuando se compara con los resultados observados en Barragán *et al.* (2010) citado por Saraiva (2012), estos resultados muestran que las características del suelo son un factor muy importante cuando se analiza la capacidad de biodegradación de una película de bio-abono, además también ha probado las películas de mantillo biodegradables hecha de Mater-Bi como materia prima, se observó que este estudio se llevó a cabo con un suelo con una mayor cantidad de materia orgánica, en torno a 3,9%, que contribuye a una mayor actividad de los microorganismos y la consiguiente mayor velocidad de biodegradación. Saraiva (2012) menciona que deberían hacerse más pruebas para validar el tiempo real necesario para alcanzar un aceptable grado de biodegradación para minimizar los impactos al medio ambiente.

b. España

Barragán (2013) utilizó la norma ISO 17556 para el ensayo de cuatro films plásticos biodegradables comerciales: Mater-Bi (MB) (almidón de maíz), Bio-Flex (BFx) (ácido poliláctico), Biofilm (BF) (harina de cereales) y papel MimGreen (MP); y dos films experimentales: Bioplast (BP) (almidón de patatas) y MirelTM (MI) (polihidroxialcanoatos). La biodegradación fue comparada con la celulosa como material de referencia y con una referencia agrícola que fueron los restos agrícolas del tomate.

Para esto implementó un sistema respirométrico acorde con las indicaciones de la norma ISO en mención, se utilizaron 2 birreactores de 0.5 L por cada material y 200 g de suelo provenientes del campus de la Universidad de Lleida al 50% de humedad, 500 mg del material a biodegradar; se realizaron las mediciones durante 365 días y se trabajó a 25°C.

Los resultados muestran la cantidad de CO₂ acumulado generado por los distintos materiales ensayados, todos los materiales muestran la misma tendencia. El material de referencia (celulosa) presenta la mayor producción de CO₂ (16650 mg), que fue mucho mayor al producido por el material agrícola de referencia (restos de cultivo) (10803 mg).

La cantidad de CO₂ producida por los materiales comerciales, MB (14171 mg), MP (12600 mg) y BF (10966 mg), estuvieron entre ambos materiales de referencia (Figura 3 b). Entre los materiales experimentales el MI y BP tuvieron la más alta y más baja producción de CO₂ respectivamente (16240 y 9059 mg) (Figura 3 a). Como era de esperarse la producción del PE es muy despreciable.

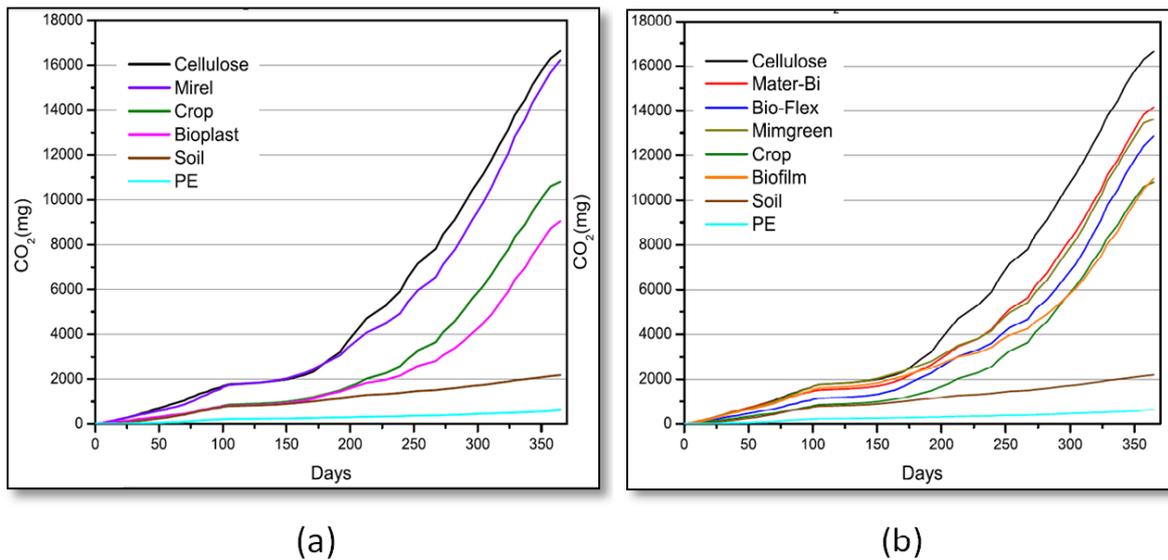


Figura 3: Cantidad de CO₂ generado acumulado en los materiales ensayados del ensayo de biodegradación.

- a. Producción neta de CO₂ en materiales experimentales.**
- b. Producción neta de CO₂ en materiales comerciales.**

Fuente: Barragán, (2013).

Las curvas de biodegradación de todos los materiales ensayados mostrados en la Figura 4 siguen un comportamiento similar al presentado en las cantidades de CO₂ acumulado (Figura 3). La velocidad del proceso depende del material. La celulosa y el MI (mirel) se degradan con mayor rapidez (Figura 4 a), el MB y el MP se degradaron con menor rapidez y tuvieron un comportamiento similar; y entre los materiales comerciales el BFX (bioflex) y BF (biofilm) (Figura 4b) se degradaron con menor rapidez. El material experimental BP (bioplast) se degradó menos. Finalmente, como era de esperarse, el PE (polietileno) presenta valores de biodegradación menores al 5%.

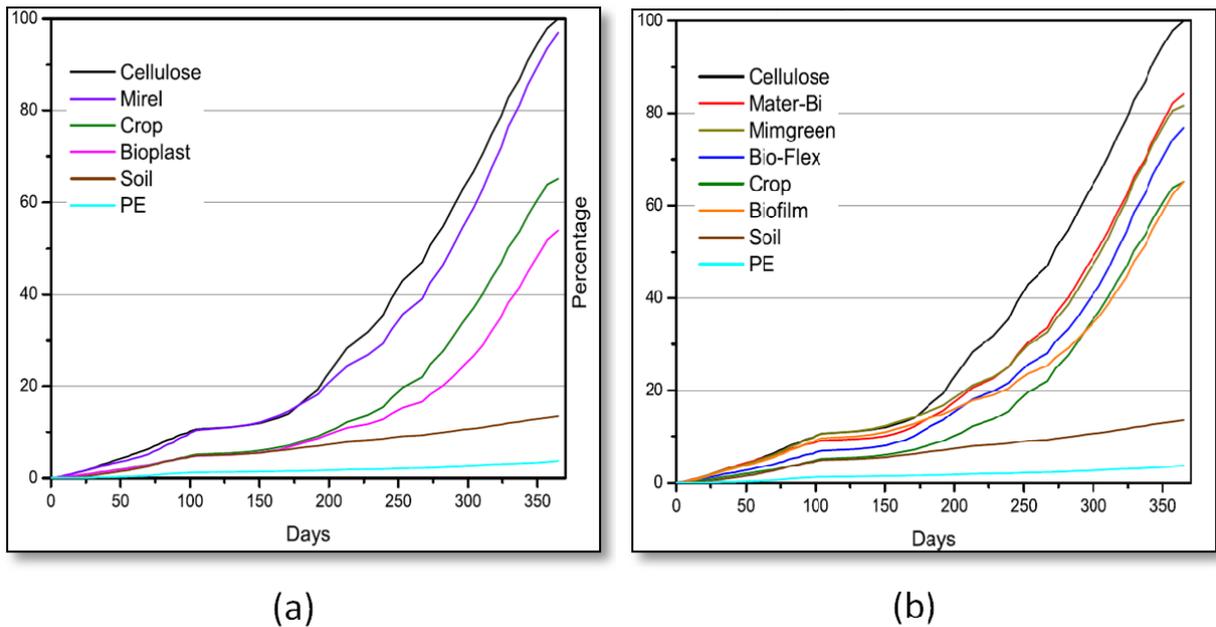


Figura 4: Porcentaje de Biodegradación en los materiales ensayados del ensayo de biodegradación.

- a. **Biodegradación de los materiales experimentales.**
- b. **Biodegradación de los materiales comerciales.**

Fuente: Barragán, (2013).

2.3. BIOPLÁSTICO

2.3.1. Definición

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (CIT, 2009).

Según La Asociación Europea de Bioplástico (European Bioplastics), un material plástico se define como bioplástico si es de base biológica, si es biodegradable, o si tiene ambas propiedades (European bioplastics citado por Estrada, 2012).

2.3.2. Clasificación de Bioplástico

Según Castillo, Iñiguez, (2011) y Meré, (2009) los polímeros biodegradables se pueden clasificar a partir de su proceso de fabricación de la siguiente manera:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables. Algunos ejemplos de este grupo son: ácido poliláctico (PLA), poli-ácidos glicoles (PGA) y policaprolactonas (PCL).
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente. Este grupo engloba a: Polihidroxialcanoatos (PHA), poli-3-hidroxibutarato (PHB).

Sin embargo, las clasificaciones más “estrictas”, clasifican los bioplástico únicamente en función de su procedencia bien sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose entonces bioplástico.

En la Figura 5 se muestra la clasificación de los bioplástico atendiendo a su origen destacándose con un círculo aquellos que tienen una mayor relevancia a nivel comercial (REMAR, 2011).

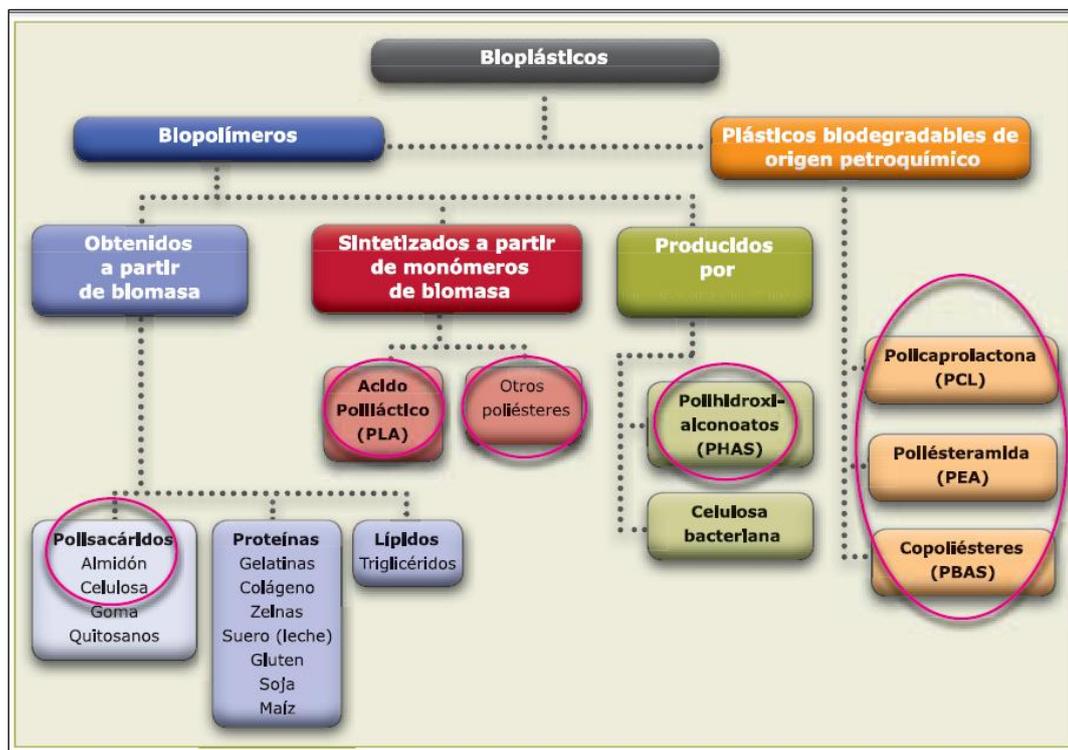


Figura 5: Clasificación de los bioplástico.

Fuente: REMAR, (2011).

2.3.3. Metodologías para elaborar bioplástico

Como ya se vio anteriormente, existe una amplia variedad de bioplásticos por lo que también existe una amplia variedad de metodologías según el tipo de bioplástico que se piense elaborar; la presente investigación se centró en las metodologías para elaborar bioplástico a nivel de laboratorio a partir de almidón.

Las distintas metodologías encontradas comparten la misma base teórica para elaborar los bioplástico. Para polimerizar el almidón se debe tomar en cuenta su estructura, el almidón está compuesto por amilosa y amilopectina, la amilosa tiene una estructura muy larga y recta, mientras que la amilopectina tiene una estructura ramificada y corta. Para polimerizar el almidón se debe buscar una linealidad en la estructura por lo que el primer paso debe ser eliminar las ramificaciones de la amilopectina, esto se puede lograr mediante una hidrólisis ácida; MIT (2012), Biorenewable Resources and Technology Department (2011) y Sweeney (2008) utilizaron ácido acético para dicho proceso; mientras que Arroyo y Alarcón (2011) utilizaron ácido bórico y el PhD en química orgánica Read Davis (2008)

utilizó ácido clorhídrico. A continuación se agrega un plastificante, todos los autores citados incluyeron la glicerina y el agua entre sus insumos, la glicerina actúa como plastificante y le da la flexibilidad al bioplástico mientras que el agua actúa como solvente facilitando el proceso de polimerización además de poseer también propiedades plastificantes (Corrales *et al.*, 2007).

2.3.4. Elaboración de Bioplástico en el Perú

a. Universidad Pontificia Católica del Perú

Estudios del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (Torres *et al.*, 2011); obtuvieron el almidón de doce cultivos andinos (ver Cuadro 2) que utilizaron para preparar películas biodegradables por fundición. El agua y el glicerol se utilizaron como plastificantes.

Cuadro 2: Cultivos andinos usados para la producción de películas de almidón

Código	Nombre común	Parte	Nombre científico
WCA01	Arracacha	Tubérculo	<i>Arracacia xanthorrhiza</i>
CHI01	Garbanzo	Legumbre	<i>Cicer arietinum</i>
BAN01	Plátano	Fruta	<i>Musa paradisiaca</i>
OCA01	Oca	Tubérculo	<i>Oxalis tuberosa</i>
CAS01	Yuca	Tubérculo	<i>Manihot esculenta</i>
SPO01	Camote	Tubérculo	<i>Ipomoea batatas</i>
POT01	Papa amarilla	Tubérculo	<i>Solanum goniocalyx</i>
POT02	Papa “Huamantanga”	Tubérculo	<i>Solanum tuberosum</i>
POT03	Papa “Mariva”	Tubérculo	<i>Solanum tuberosum</i>
POT04	Papa “Muru-huayro”	Tubérculo	<i>Solanum tuberosum</i>
POT05	Papa “Peruanita”	Tubérculo	<i>Solanum tuberosum</i>
POT06	Papa “Yungay”	Tubérculo	<i>Solanum tuberosum</i>

Fuente: Torres *et al.*, (2011).

Para la obtención del almidón, se limpiaron y picaron los cultivos mostrados en el Cuadro 2, luego se homogeneizaron en una licuadora, se tamizó y se dejó decantar durante cuatro horas. Se descartó el sobrenadante y el precipitado se desengrasó por resuspensión con 1:1 metanol: agua de la mezcla y se volvió a decantar. El almidón precipitó en la parte inferior del recipiente y se secó a 40°C durante 24 h.

Para la elaboración del polímero, se formó una solución de almidón al 5%(w/w) con el almidón obtenido. Esta solución se hidrolizó parcialmente en ácido clorhídrico diluido (0,1 N) con un ajuste de pH a 2,0. Luego se añadió glicerol en una relación de 2:5 (glicerol: almidón (Base seca)). La solución de almidón se homogenizó por agitación durante 15 min a 95°C y se neutralizó en hidróxido de sodio diluido de (0,1 N) ajustando el pH a 10 para detener la hidrólisis. La solución de almidón (7% (w / w)) se extendieron sobre placas de Petri y se colocaron en un horno a 40°C para secarlas por 16 horas.

Las propiedades mecánicas de las películas a base de almidón se evaluaron por medio de ensayos de tracción. Pruebas de compost y pruebas FTIR (Transformación de Fourier de la radiación infrarroja) fueron llevados a cabo para evaluar la biodegradabilidad de las películas. Los resultados muestran que las propiedades mecánicas (UTS, Módulo de Young y alargamiento a la ruptura) de las películas a base de almidón dependen en gran medida de la fuente de almidón utilizada para su producción. Se encontró que la tasa de pérdida de peso de todas las películas a base de almidón fue más alta que la tasa de pérdida de peso de la película de celulosa utilizado como control.

Las curvas representativas (Figura 6) muestran que películas de almidón presentan un comportamiento elástico. Este comportamiento es asociado con la presencia de glicerol en las películas. En el caso de la papa, la variedad Yungay obtuvo un esfuerzo máximo de 3.22 MPa y una elongación máxima de 24.18%.

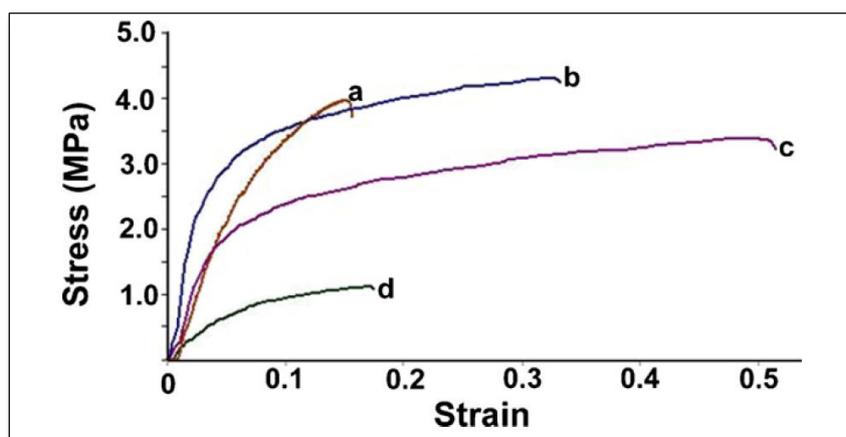


Figura 6: Curvas tensión-deformación representativas de las películas de almidón obtenidos a partir de (a) patata, (b) camote, (c) la yuca y (d) de maíz.

Fuente: Torres *et al.*, (2011).

b. Universidad de Lima

El proyecto de investigación realizado por Arroyo y Alarcón (2013) ha obtenido y caracterizado bioplástico a partir del almidón de la papa, maíz y yuca. El proceso se inicia obteniendo el almidón tanto de la papa, maíz y yuca, según la guía técnica de almidón – FAO. Posteriormente se elaboró los distintos bioplástico y fueron caracterizados. Se procede a describir los materiales y métodos, y resultados que son de interés de la presente investigación.

Luego de obtener el almidón de las distintas fuentes se mezcló con agua destilada, alcohol polivinílico (PVA), etanol, glicerina, hidroxietilcelulosa (Hxcel), Cloruro de sodio (NaCl) y ácido bórico siguiendo arreglos ortogonales para evaluar las distintas cantidades a utilizar, así como también el tiempo y la temperatura en el proceso de elaboración del bioplástico (Ver Cuadro 3).

Cuadro 3: Matriz de diseño experimental para la elaboración de bioplásticos

Experiencias	Variables							Cttes	
	1	2	3	4	5	6	7	C1	C2
	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Agua (mL)	PVA (g)	Glicerina (mL)	Hidroxilcelulosa (g)	NaCl (g)	Almidón	Ácido Bórico
1	5	70	80	15	13.5	2	1	20	0.3
2	5	100	40	9	9	3	1	20	0.3
3	5	70	20	4	4.5	5	1	20	0.3
4	5	100	80	9	13.5	3	1.5	20	0.3
5	5	70	40	4	9	5	1.5	20	0.3
6	5	100	20	15	4.5	2	1.5	20	0.3
7	5	70	80	9	4.5	2	2	20	0.3
8	5	100	40	15	9	3	2	20	0.3

<<Continuación>>

9	5	70	20	4	13.5	5	2	20	0.3
10	8	100	80	15	13.5	2	1	20	0.3
11	8	70	40	9	9	3	1	20	0.3
12	8	100	20	4	4.5	5	1	20	0.3
13	8	70	80	4	13.5	3	1.5	20	0.3
14	8	100	40	9	4.5	2	1.5	20	0.3
15	8	70	20	15	9	2	1.5	20	0.3
16	8	100	80	4	4.5	2	2	20	0.3
17	8	70	40	15	9	3	2	20	0.3
18	8	100	20	9	13.5	5	2	20	0.3

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

Por ser la papa la fuente de interés de la presente investigación, se procede a mostrar los resultados correspondientes a dicha fuente. A continuación la Figura 7 muestra el espectro del almidón extraído de la papa:

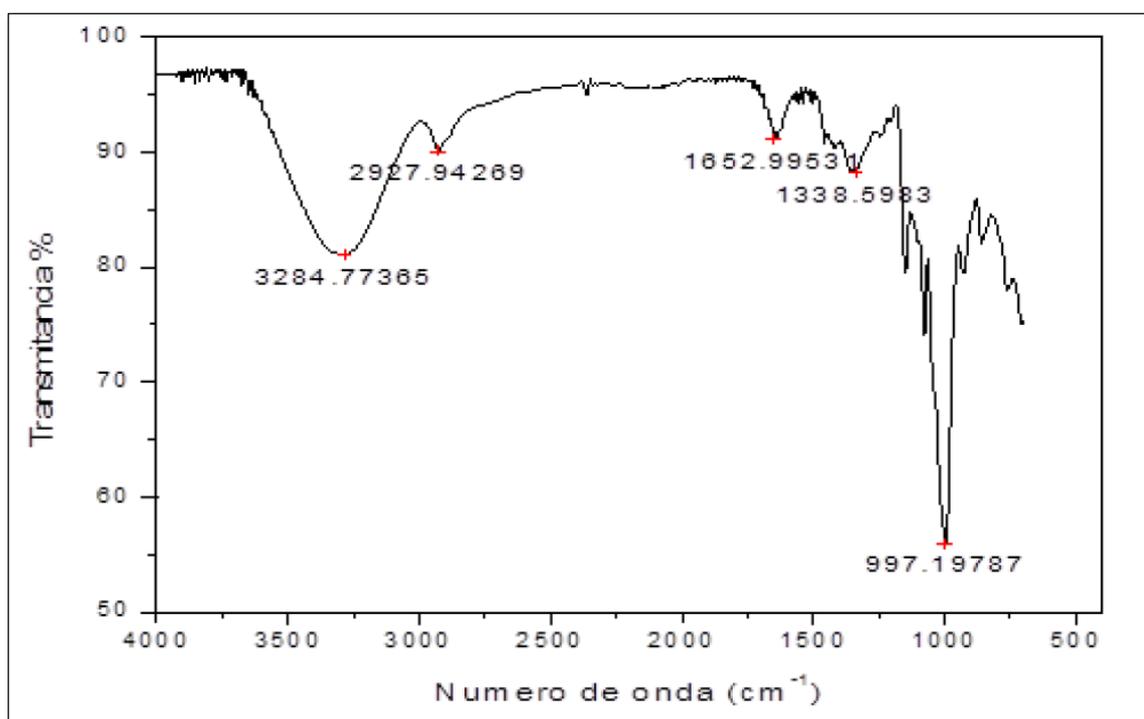


Figura 7: FTIR del almidón de papa amarilla.

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

En base al almidón se precedió a la obtención del bioplástico, para ello se adicionó los insumos ya mencionados, se realizó pruebas FTIR el cual se muestra en la Figura 8.

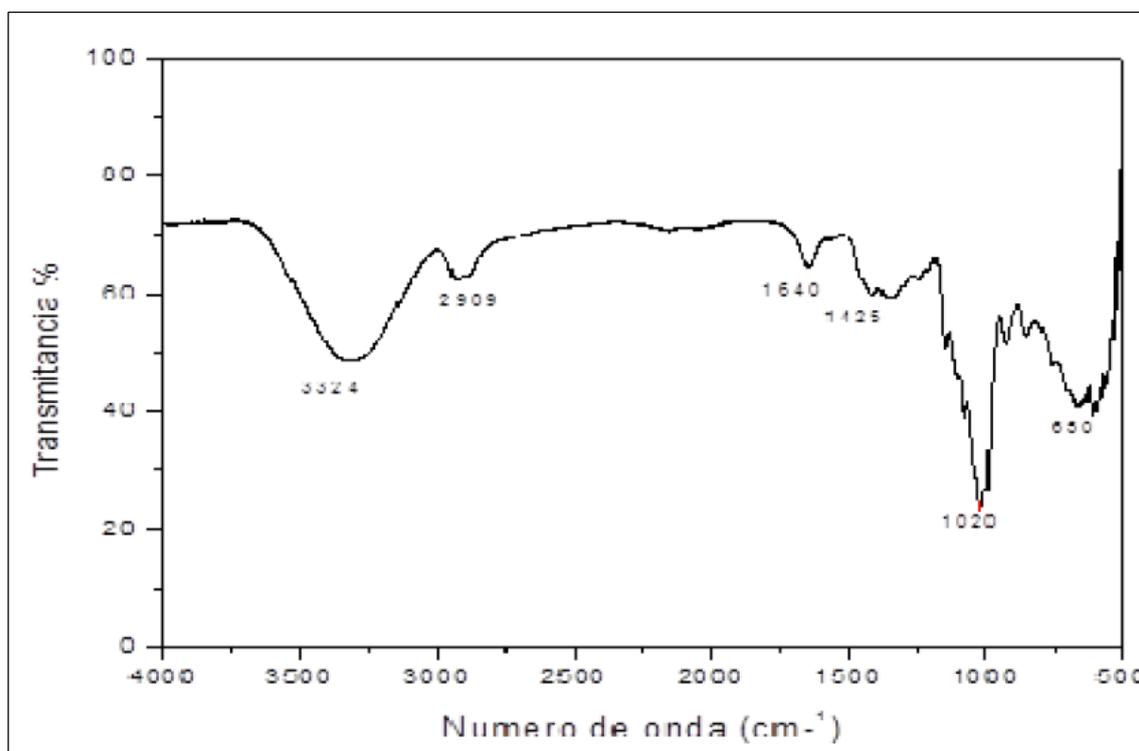


Figura 8: FTIR del bioplástico de almidón de papa.

Fuente: Arroyo y Alarcón (2013).

Debido a que los distintos bioplásticos poseen características similares, se procede a evaluar las distintas experiencias en la elaboración del bioplástico a partir del almidón de papa. En base a su consistencia y características físicas se procede a evaluar dos muestras (5 y 14) de bioplásticos de almidón de papa, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Muestras de bioplásticos de almidón de papa seleccionados

Muestra	Temperatura	Tiempo de secado	# muestra según Taguchi
M1	70°C	12 horas	5
M2	70°C	12 horas	14
M3	Ambiente	12 horas	14

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

Se procedió a realizar pruebas de tracción y elongación, para lo cual se utilizó un equipo de tracción universal Zwick Roell Z010.

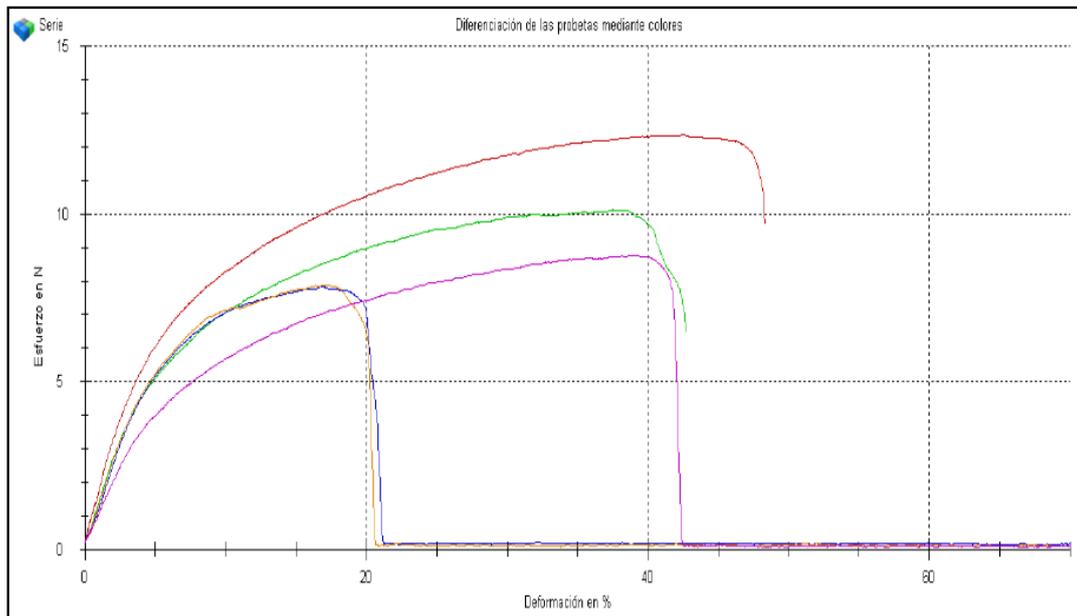


Figura 9: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M1 por probeta

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

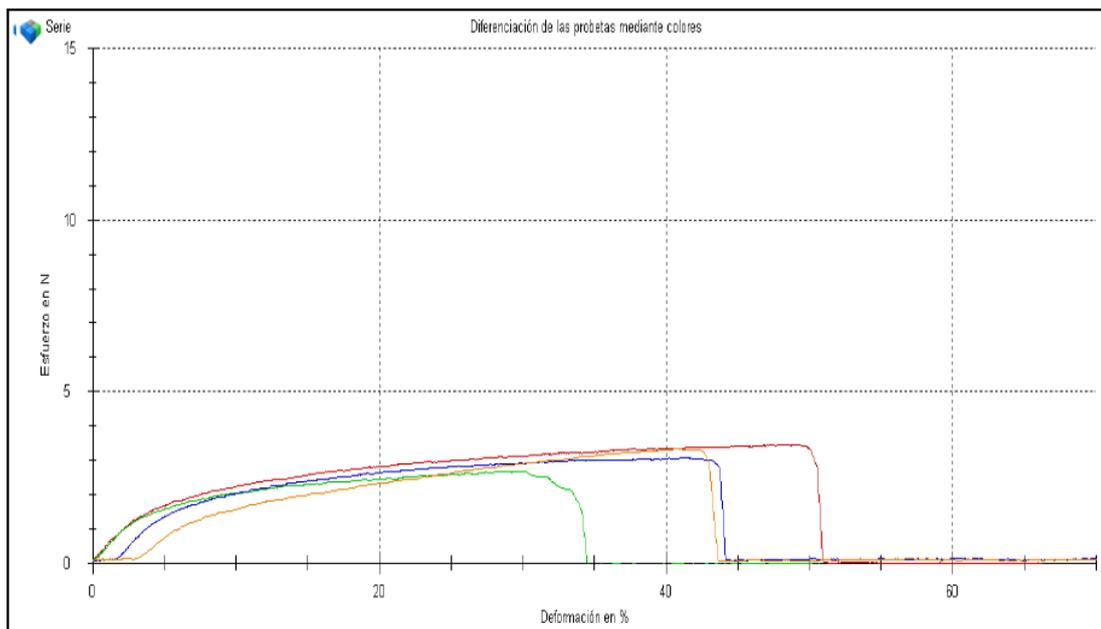


Figura 10: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M2 por probeta

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

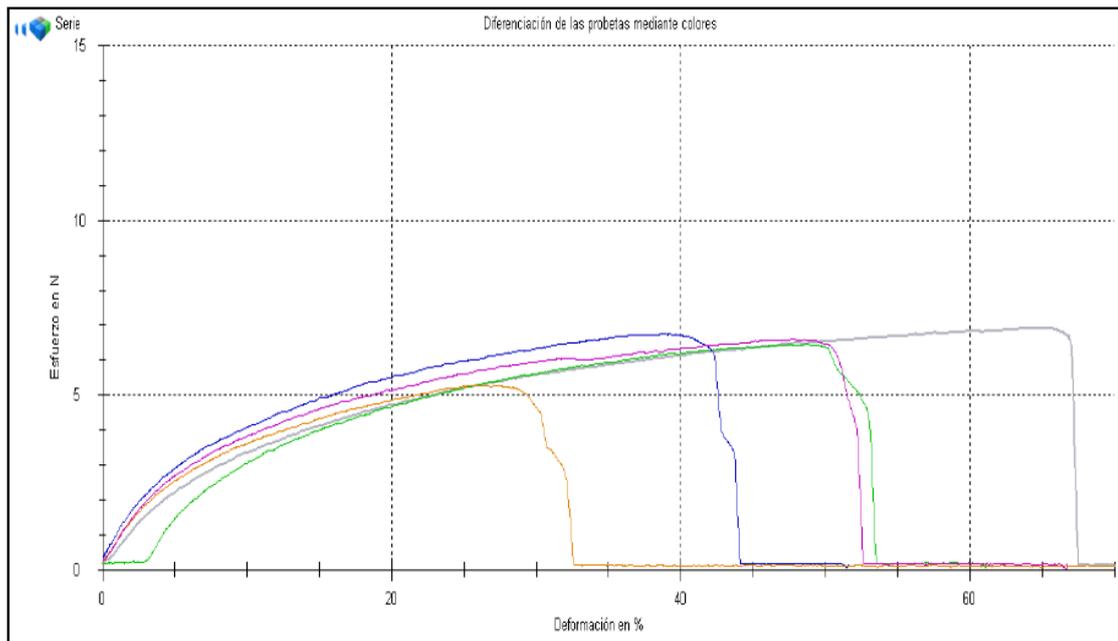


Figura 11: Ensayos de Fuerza de tracción y elongación de la Muestra M3 por probeta

Fuente: Arroyo y Alarcón, (2013).

2.4. PAPA (*Solanum tuberosum*)

2.4.1. Definición

La papa es un tubérculo perteneciente al reino Plantae, filo Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Solanales, familia Solanaceae, género *Solanum*, especie *Solanum tuberosum* (MINAG *et al.*, 2011).

Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón y se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren la consecuencia de un engrosamiento y así se producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. La papa es una planta de gran capacidad de adaptación y se da bien sin que el suelo ni las condiciones de cultivo sean las ideales (Bastos, 2009).

2.4.2. Composición química

Según Melian (2010) los sólidos totales o contenido de materia seca en el tubérculo de papa, están presentes en rangos de 13,10% – 36,80 % y está constituida principalmente por almidón, proteínas, cenizas, fibra y lípidos, siendo el almidón su principal componente y comprende 3/4 partes de la materia seca.

Los azúcares reductores, se forman a partir del almidón de los tubérculos. Este proceso implica la acción de la enzima invertasa, la cual se incrementa a temperaturas bajas y disminuye a temperaturas altas, de ahí que para disminuir la cantidad de azúcares reductores es fundamental controlar la temperatura de almacenamiento. Si se mantiene la temperatura entre 15-20°C se produce una disminución del contenido de azúcar. Las reacciones de oxidación que provocan el pardeamiento de frutos y vegetales son de origen enzimático, la principal enzima responsable de dicho proceso es la Polifenoloxidasa (PPO). Se utilizan varios tipos de inhibidores químicos para el control del pardeamiento, uno de ellos es el metabisulfito de sodio (Pazmiño, 2010).

El contenido de proteína en el tubérculo fresco se encuentra entre un 2.1 y 10.3%, mientras que la materia grasa llega a 0.1% del peso fresco (Melian, 2010).

2.4.3. Situación de la papa en el mercado

La papa se cultiva en más de 100 países, bajo condiciones climáticas diferentes, clima templado, subtropical y tropical aunque es esencialmente un “cultivo de clima templado”. Asia y Europa son las principales regiones productoras de papa en el mundo, en el año 2007 suministraron el 80 por ciento de la producción mundial. El país que produce la mayor cantidad de papas a nivel mundial es China, para el año 2007 produjo 72 millones de toneladas de este tubérculo (FAO, 2009 citado por Melian, 2010).

Aunque la cuna de la papa está en América del Sur, esta región presentó el nivel más bajo de producción de papa con menos de 16 millones de toneladas para el 2007 (Melian, 2010). La directora del proyecto Propapa-Aders Perú, Celfia Obregón Ramírez citada por

El Comercio (2015), reveló que el Perú es el primer productor del tubérculo en América Latina con 4,69 millones de toneladas de papa producidas en el 2014. Nuestro país, además, se ubica en el puesto 14 a nivel mundial, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

La papa es uno de los cultivos más importantes del sector agrario en el Perú, tanto económica como socialmente. Además, casi 600 000 familias dependen de su cultivo y aportan al producto interno bruto (PIB) agrícola unos US\$500 millones anuales. Para el 87% de agricultores de la sierra peruana, la papa es su principal cultivo, especialmente para los pequeños productores que la tienen como su principal alimento dado su valor nutritivo, es una importante fuente de ingresos y un cultivo clave para la conservación de sus costumbres ancestrales (Congreso ALAP, 2014).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014) dio a conocer que la producción de papa entre los años 2004-2013, se incrementó de 3 millones 8 mil toneladas en el año 2004 hasta alcanzar las 4 millones 571 mil toneladas métricas en el 2013 (ver Figura 12), lo que significó un crecimiento de 45% y una tasa promedio anual de 3,8%.

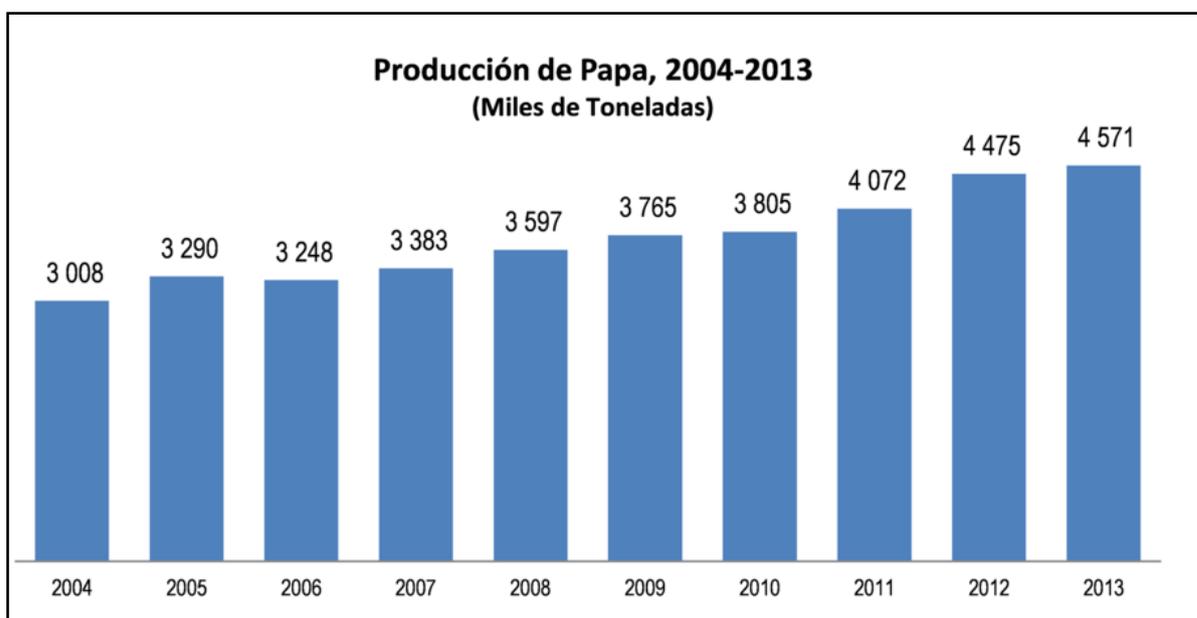


Figura 12: Producción de papa en el Perú, 2004 - 2013

Fuente: INEI, (2014).

2.4.4. Variedades

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y más de 3,000 variedades, de las 5,000 que existen en Latinoamérica. También posee 91 de las 200 especies silvestres del continente, y que generalmente no son comestibles por su sabor amargo y alta toxicidad; sin embargo son las que han dado origen a las variedades domesticadas que hoy se consumen en el planeta (MINAG *et al.*, 2011). A continuación se describe la variedad de interés para la presente investigación.

a. Variedad Yungay

La papa Yungay, variedad liberada por el programa de papa de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) en 1971. Se caracteriza por su forma oval chata, piel amarillenta con pigmentación rojiza en sus ojos superficiales. El color de su pulpa también es amarillento. Posee un período vegetativo tardío (Maldonado *et al.*, 2008).

2.4.5. Usos alimentarios

La papa es uno de los alimentos más consumidos en el mundo junto con el trigo, el maíz y el arroz por lo que cumple un rol importante en la seguridad alimentaria de la población (Congreso ALAP, 2010). Existen diversas formas de consumir la papa, muchos de ellos incluyen algún tipo de procesamiento en el tubérculo; a continuación se detalla dos de ellos que son de interés para la presente investigación.

a. Extracción de almidón

El almidón de papa, o harina de chuño, comúnmente conocido como chuño inglés en los mercados municipales de Lima, es un producto que se destina tanto al consumo humano como al intermedio y al industrial. La producción de almidón de papa requiere, como insumos, de variedades con un alto porcentaje de materia seca (más del 25 %) ya que

existe una alta correlación entre esta y el contenido de almidón. Las variedades de papa que satisfacen este requisito son: Yungay, Mariva y las papas amargas. Dentro de estas variedades pueden utilizarse, en general, papas de cuarta categoría con un adecuado proceso de rectificado (Gómez y Wong, sf.).

El proceso de obtención de almidón de papa pasa por las etapas mostradas en la Figura 13, dependiendo del método a utilizar (Melian, 2010).

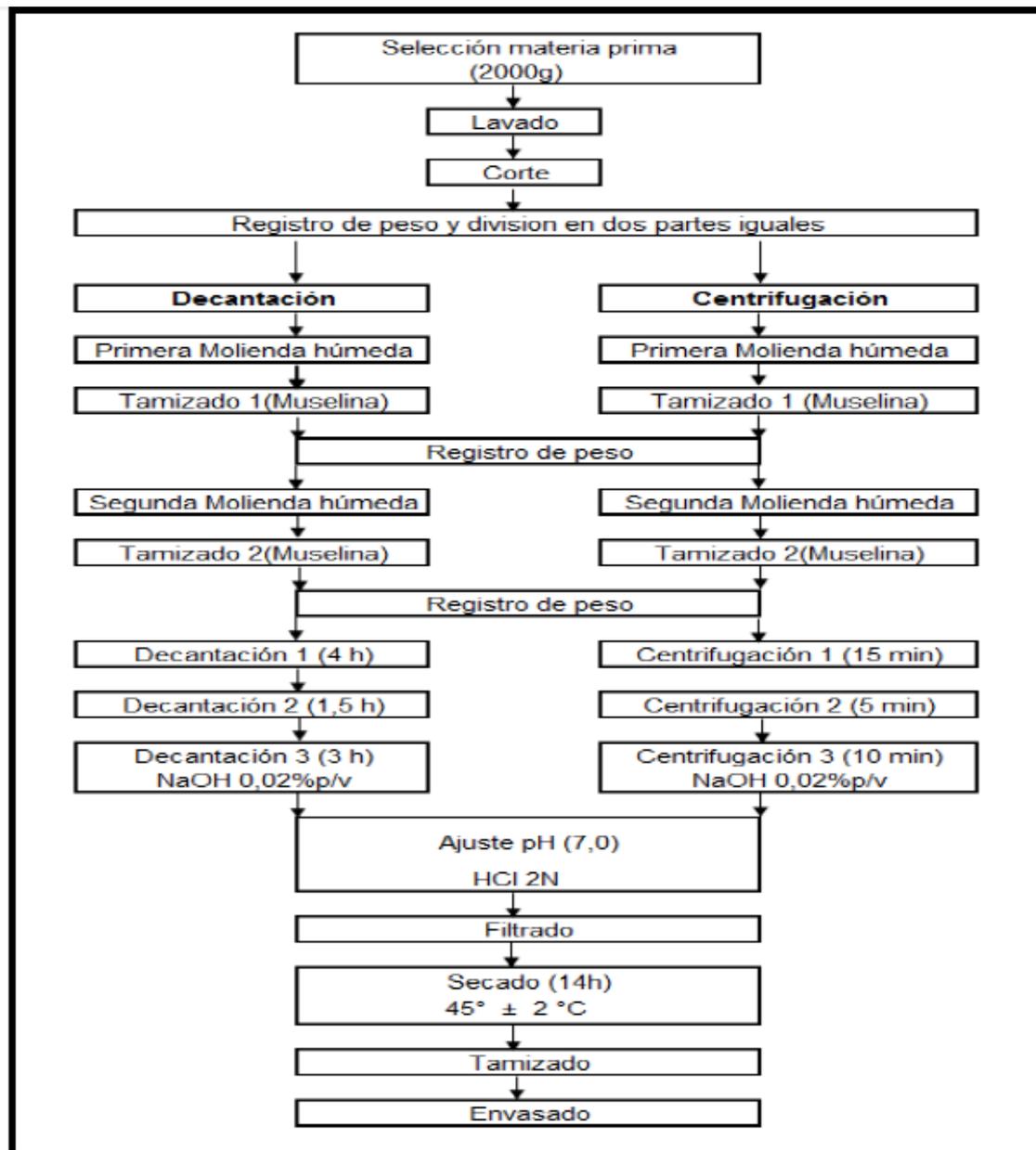


Figura 13: Etapas en la extracción del almidón

Fuente: Melian, (2010).

b. Procesamiento de papas para freír

Según Gómez y Wong (s.f.) el procesamiento de papas para freír es la papa fresca beneficiada, un producto listo para preparar papas fritas. La razón de su presencia en el mercado, según un conocido fabricante es que resulta más barato adquirir la papa pelada y cortada de una empresa, que opera con menos costos de producción, que asumir el costo de pelar y cortar a mano la papa requerida. Sin embargo, se ha constatado que algunos restaurantes adquieren sus propios artefactos para pelar el tubérculo. Para obtener este producto procesado, se recomienda el uso de una variedad que contenga un porcentaje de materia seca del 22% al 24 %. Flores (2013) sugiere la Yungay, de primera categoría.

El proceso productivo descrito por Gómez y Wong (s.f.) es el siguiente:

- Lavado y Pelado: Se introducen las papas en una maquina lavadora-peladora, con agua.
- Rectificado: Se revisan los tubérculos y se les quitan los residuos de cáscara y ojos profundos.
- Corte: Se pican las papas en trozos con un cortador manual.
- Adición de Químico: A las papas troceadas se les agrega bisulfito de sodio, el cual permiten que permanezcan en buenas condiciones durante una semana.
- Envase: Se envasa en bolsas de veinte a cincuenta kilos.

Pazmiño (2010) menciona que el metabisulfito de sodio es un polvo o cristal con una alta solubilidad en agua (la menor es 250 mg/ml), recomienda de 0.01 a 0.05% p/v mientras que Fernández (1995) recomienda 0.12% de antioxidante. El metabisulfito de sodio inhibe las reacciones de oscurecimiento de Maillard, ya que bloquea los grupos carbonilo libres de los azúcares y evita que éstos interaccionen con otros aminoácidos; además evita las reacciones de oscurecimiento enzimático ya que puede tener una acción inhibidora sobre la Polifenoloxidasa (Pazmiño, 2010).

2.4.6. Usos no alimentarios

La cáscara de la papa y otros desechos “sin valor” de la industria de la papa tiene un abundante contenido de almidón. El almidón de la papa es ampliamente utilizado por las industrias farmacéuticas, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavar pozos. El almidón de papa es un sustituto 100 por ciento biodegradable del poliestireno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables (Bastos, 2009).

2.5. ALMIDÓN

El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis y sirve como reserva de energía (Castillo *et al.*, 2011). Son importantes fuentes de almidón el maíz, trigo, papa, yuca, ñame y otros. El almidón no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa y la amilopectina (Barrios *et al.*, 2007). El contenido en amilosa varía según la fuente de origen y suele estar comprendido entre el 17 y el 35% en peso (Munck y col., Buleon y col. citados por Martínez, 2005). El Cuadro 5 recoge la composición de diversos almidones (Belitz y Grosch citado por Martínez, 2005), dichos valores pueden variar ligeramente debido a las condiciones en las que se desarrollen y las variedades de las distintas fuentes.

Cuadro 5: Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones de diferente origen

Fuente	% Amilosa	% Amilopectina
Trigo	26	74
Cebada	22	78
Maíz	28	72
Amilomaíz	51-65	49-35
Maíz céreo	1	99
Avena	27	73
Arroz	18	82
Arroz céreo	1	99
Mijo	25	75
Mijo céreo	1	99
Patata	23	77

Fuente: Martínez, (2005).

2.5.1. Propiedades estructurales del almidón natural

Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glicosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D- (1,6), aproximadamente entre 0,3 a 0,5% del total de los enlaces. Estas generalmente, no son ni muy largas ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a las moléculas actuar, esencialmente como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes (Ruiz, 2006).

También se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua. Esta propiedad se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Meré, 2009). La Figura 14 muestra la estructura de la amilosa.

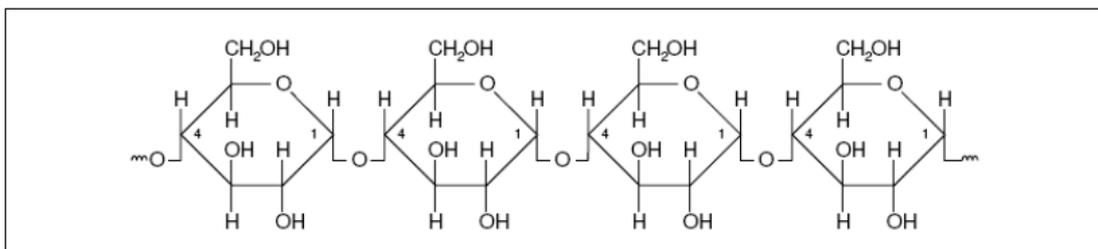


Figura 14: Estructura de la amilosa

Fuente: Meré, (2009).

El tamaño de la molécula de la amilopectina es mayor que la de la amilosa. La amilopectina se compone por enlaces glucosídicos α -1,6 y α -1,4. Estos enlaces glucosídicos α -1,6 se producen con otras moléculas de glucosa, lo cual provoca que tenga una estructura más ramificada que la amilosa, como se muestra en la Figura 15. La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 107 a 108 g/mol (Meré, 2009).

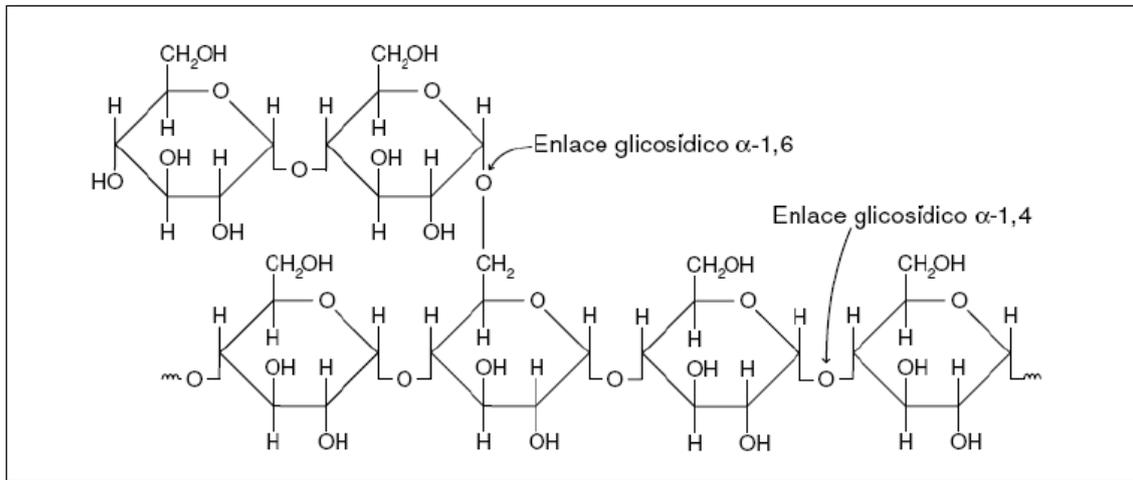


Figura 15: Estructura de la amilopectina

Fuente: Meré, (2009).

Alrededor del 4-5% de las unidades de glucosa están implicadas en los enlaces α (1-6) (Coultate citado por Martínez 2005). Las ramificaciones tienen una longitud de cadena media de 20-25 unidades de glucosa (Adkins y col.; Whistler y Daniel citados por citado por Martínez, 2005).

El almidón está organizado en partículas discretas conocidos como gránulos (ver Figura 16), debido a que la amilopectina es el componente más abundante en tubérculos como la papa, es el responsable de que el gránulo presente una estructura organizada en forma de anillos y cierta propiedad semicristalina formando así dos regiones, una cristalina y otra amorfa (Tovar, 2008). A medida que la planta produce moléculas de almidón, éste se deposita en capas sucesivas en forma radial alrededor de un hilo central para formar un grano compacto que se logra mediante la combinación de moléculas de amilosa y amilopectina, mediante enlaces de hidrógeno, obteniéndose, al parecer una distribución homogénea (Lenhebach, 2006 citado por Melian, 2010).

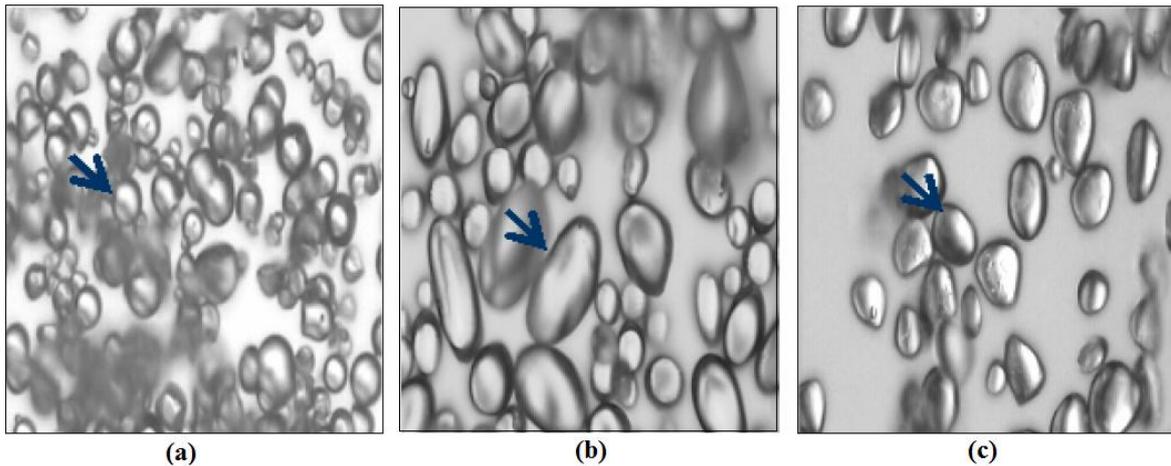


Figura 16: Microfotografías 20X. Almidones nativos: a. Yuca, b. Papa, c. Ñame

Fuente: Alvis *et al.*, (2008).

2.5.2. Tratamientos hidrotérmicos del almidón

El almidón en su estado nativo es insoluble en agua. Forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelve en el medio que las rodea y se depositan en el fondo de un recipiente con líquido a menos que se agite. Las partículas pueden embeber una pequeña cantidad de agua, pero generalmente, la formación de una suspensión supone un cambio mínimo del almidón. La captación de agua por el almidón es reversible si el almidón se seca mientras no se ha cocido (Vaclavick, 1998).

a. Gelatinización

Los gránulos de almidón se hidratan al calentarse en medio acuoso, a este proceso se le conoce como gelatinización (Tovar, 2008). Al calentarse provoca el colapso (ruptura) del orden molecular, manifestado por cambios irreversibles del gránulo de almidón en las propiedades tales como la fusión de las zonas cristalinas del gránulo, pérdida de birrefringencia y solubilización de las moléculas que conforman el almidón (Torres, 2007). La birrefringencia es una propiedad óptica del almidón en el que los gránulos presentan dos índices de refracción por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la conocida “cruz de malta” (Canónico, 2003).

Alguno de los factores que afectan en la gelatinización según Vaclavick (1998) son:

- **Ácido:** Ácidos como el ácido acético provocan una hidrólisis ácida durante la cocción de los gránulos de almidón dando lugar a la formación de dextrinas o polímeros de cadena corta. La hidrólisis de la molécula de almidón también da lugar a una menor absorción de agua por el gránulo de almidón.
- **Agitación:** La agitación o el dar vueltas, tanto inicialmente como durante el proceso de gelatinización, permite a los gránulos de almidón hincharse independientemente y crear una mezcla más uniforme, sin grumos. Sin embargo, la agitación excesiva después de que se completa la gelatinización puede romper los gránulos y, en consecuencia, aumentar la fluidez de las mezclas de almidón.
- **Temperatura:** La gelatinización del almidón se completa a 88-90°C y hasta 95°C; aunque los almidones varían en su temperatura de gelatinización. La investigación realizada por Betancur *et al.* (2008) encontró que la mejor temperatura de gelatinización para el almidón de papa fue de 69°C.
- **Tiempo de calentamiento:** En la Figura 17 se muestra los tiempos y las temperaturas a las que varios almidones espesan o gelifican.

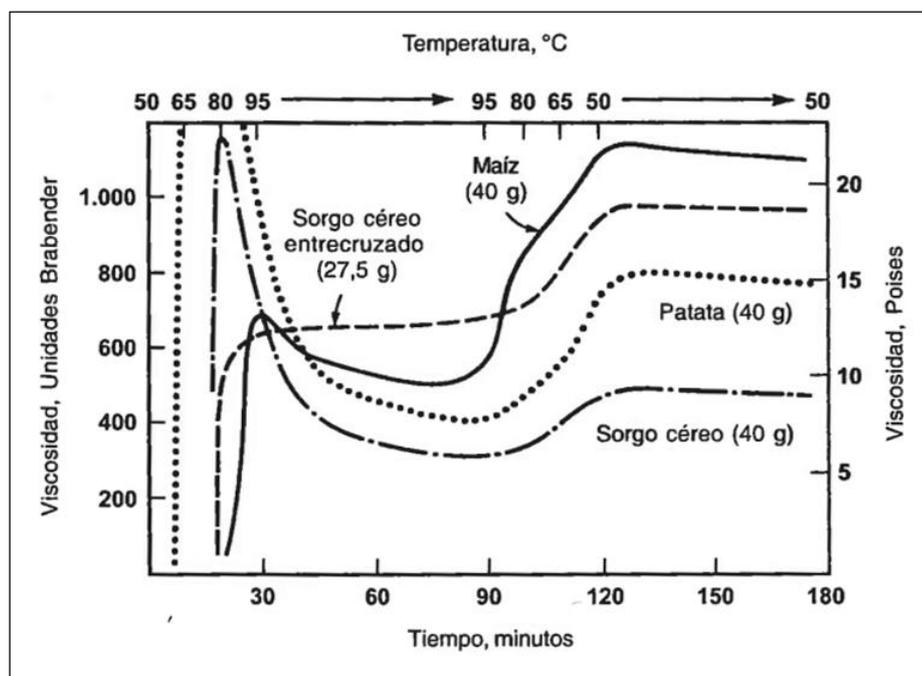


Figura 17: Tiempos y las temperaturas de gelatinización para distintos almidones

Fuente: Vaclavick, (1998).

b. Retrogradación

El término retrogradación, ha sido utilizado para describir los cambios que ocurren cuando las moléculas de almidón gelatinizado empiezan a reorganizarse, formando una o más estructuras ordenadas, es decir pasan de un estado inicial amorfo a un estado final más cristalino, se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización (Tovar, 2008). La retrogradación también está definida como el proceso colectivo de pérdida de solubilidad del almidón disuelto, ya que al enfriar y dejar en reposo las pastas de almidón, estas se hacen progresivamente menos solubles (Fennema, 2000 citado por Torres, 2007).

La amilosa y la amilopectina liberadas durante la gelatinización del almidón, se reasocian e incrementan la rigidez entre y dentro de los gránulos hinchados formando una especie de red. La amilosa usualmente gelifica fuera del gránulo inmediatamente después de la gelatinización. La amilopectina permanece en el gránulo hinchado, donde lentamente recristaliza (Torres, 2007).

La retrogradación consiste en dos procesos:

- a. Gelación de las moléculas de amilosa lixiviadas del gránulo durante la gelatinización.
- b. Recristalización de la amilopectina (Biliaderis, 1991a citado por Torres, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

La UNALM se encuentra ubicada en la ciudad de Lima en el distrito de La Molina, con una altura aproximada de 243.7 m.s.n.m., latitud sur de 12°05'06'' y longitud oeste de 76°57'00''.

3.2. DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de 15 meses, la cual tuvo inicio el día 15 de Setiembre del 2014 y culminó el día 15 de Diciembre del 2015.

En el Cuadro 6 podemos apreciar las etapas de la investigación y la duración de cada una de ellas.

Cuadro 6: Duración de la investigación por actividades

Actividad	Etapas	Fecha de Inicio	Fecha de Término	Duración (días)
Actividad 1: Extracción del almidón	Etapa 1: Ensayos preliminares	30/09/2014	15/10/2014	15
	Etapa 2: Determinación de la metodología	16/10/2014	18/10/2014	2
	Etapa 3: Extracción del almidón	20/10/2014	15/12/2014	56
	Etapa 4: Determinación de amilosa/amilopectina	03/01/2015	12/01/2015	9
Actividad 2: Elaboración del bioplástico	Etapa 1: Ensayos preliminares	15/01/2015	20/01/2015	5
	Etapa 2: Determinación de la metodología	22/01/2015	25/01/2015	3
	Etapa 3: Elaboración de los bioplásticos	28/01/2015	28/02/2015	30
	Etapa 4: Ensayo de tracción	15/03/2015	30/04/2015	45
Actividad 3: Ensayo de biodegradación	Etapa 1: caracterización del compost y determinación de la cantidad de carbono en las muestras a ensayar.	15/02/2015	22/05/2015	7
	Etapa 2: Armado del sistema respirométrico.	10/06/2015	24/06/2015	14
	Etapa 3: Fase experimental determinación del porcentaje de biodegradación de cada material.	01/07/2015	01/10/2015	90
Redacción	Análisis de laboratorio y Redacción	15/10/2015	15/12/2015	60

Fuente: Elaboración propia

3.3. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

Esta etapa tuvo tres objetivos, primero evaluar una metodología para extraer almidón a partir de los residuos de papa (*Solanum tuberosum ssp. tuberosum* variedad 'Yungay') para lo cual se tomó como variantes la temperatura y el Metabisulfito de Sodio (MB) sobre la cantidad de almidón obtenida, luego determinar el porcentaje de eficiencia con respecto a la cantidad de residuo sólido en el procedimiento de extracción elegido previamente y finalmente caracterizar el almidón obtenido. Se consideró residuo a todo el material que evacuó por la salida de la peladora.

3.3.1. Materiales

- 50 kg de papa variedad Yungay.
- 1 peladora industrial de baja capacidad.
- 10 kg de Metabisulfito de Sodio (MB).
- 1 colador tipo cesta.
- 1 caja de tocas o mallas.
- Guantes delgados y gruesos.
- 16 frascos transparentes de 100 ml.
- 1 balanza general.
- 1 balanza analítica.

3.3.2. Métodos

Se utilizó metabisulfito de sodio (MB) como antioxidante, por ser de uso común en las microempresas de interés. La cantidad de MB recomendada para el procesamiento de papas para freír es de 0.01 a 0.05% p/v (Pazmiño, 2010), mientras que Fernández (1995) recomienda 0.12% de antioxidante, sin embargo en el ensayo preliminar realizado con los residuos de una de las peladoras del comedor universitario de la UNALM se obtuvo mayores cantidades de almidón con porcentajes mayores de MB. Se decidió realizar una primera evaluación con porcentajes mayores y menores para determinar si es significativo en la cantidad de almidón obtenida; luego se realizó una segunda evaluación con los porcentajes que obtienen una mayor cantidad de almidón. Además también se ha evaluado el efecto de la temperatura en el proceso de extracción de almidón (Cuadro 7). Finalmente se evaluó la eficiencia del proceso en base a la cantidad de residuos sólidos que evacúa del equipo.

Cuadro 7: Características de cada ensayo de extracción de almidón

MB \ T°	Al tiempo	Helada
0%	m1.1	m1.2
0.1%	m2.1	m2.2
0.3%	m3.1	m3.2
0.5%	m4.1	m4.2
1%	m5.1	m5.2
3%	m6.1	m6.2
5%	m7.1	m7.2
7%	m8.1	m8.2

Fuente: Elaboración propia

La investigación realizada por Melian (2010) obtiene mejores rendimientos en la extracción del almidón con el método de decantación, por lo que se establece la siguiente metodología para extraer el almidón de los residuos de papa:

- Lavado/pesado: Se eliminan las impurezas adheridas a la cáscara y luego se pesa.
- Pelado: Se ingresa las papas a la peladora, se coloca un balde a la salida de la peladora con la cantidad de MB indicada en el Cuadro 7 y una canastilla con una toca o malla encima del balde para capturar los residuos sólidos.
- Obtención del residuo: Se utilizó 250 mL de agua para enjuagar la salida de la peladora, además se realizaron 3 enjuagues con 250 mL de agua cada uno a la malla para extraer la mayor cantidad de almidón posible, finalmente se pesó la malla con el residuo sólido.
- Decantación 1: Se homogenizó el residuo líquido del balde a fin de disolver todo el MB agregado previamente, luego se dejó decantar por una hora. Se descartó el sobrenadante por sifoneo y se redujo el volumen a 1 L.
- Decantación 2: Utilizando una malla y un vaso adicional, se filtró el litro de residuo tres veces. Luego se dejó decantar por 24 horas.
- Secado: Se extrajo el sobrenadante y se dejó secar el almidón en una estufa a 40°C por 24 horas.

- Acondicionado: Con ayuda de una espátula se desintegra el almidón previamente secado y luego se cierce con un colador; finalmente se pesó y se almacenó en un frasco.
- Para mayores detalles ver ANEXO 1.

Se escogió el proceso de extracción en base a la cantidad de almidón obtenida y a su aspecto físico. Adicionalmente al almidón elegido se le realizó pruebas de amilosa/amilopectina y espectrofotometría infrarroja (FT-IR). La prueba FT-IR lo realizó el Laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, mientras que el análisis de amilosa/amilopectina se desarrolló en el Laboratorio de Química del campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.3.3. Análisis de amilosa/amilopectina

Para la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina se siguió el método descrito por McGrance *et al.* (1998).

a. Equipos necesarios

En la Figura 18 podemos observar el espectrofotómetro UV: UNICO SPECTROPHOTOMETER modelo 2100 y el agitador magnético con calefacción: GERAMAG Midi.

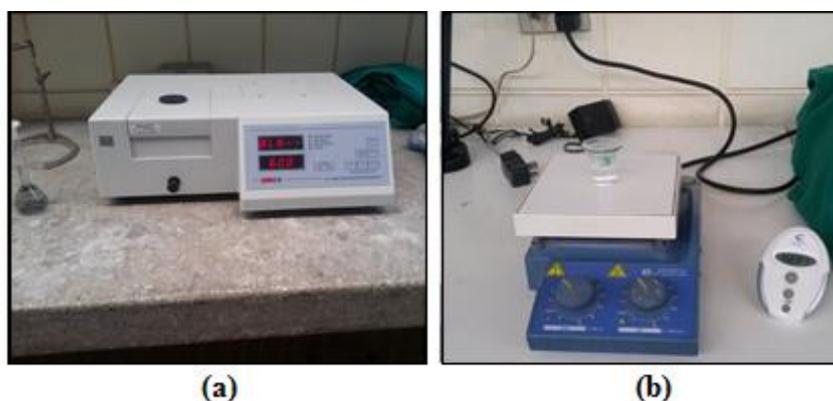


Figura 18: Equipos para análisis amilosa/amilopectina: a) Espectrofotómetro UV, b) agitador magnético.

Fuente: Elaboración propia.

b. Reactivos

En la Figura 19 podemos observar los reactivos utilizados en el análisis realizado.

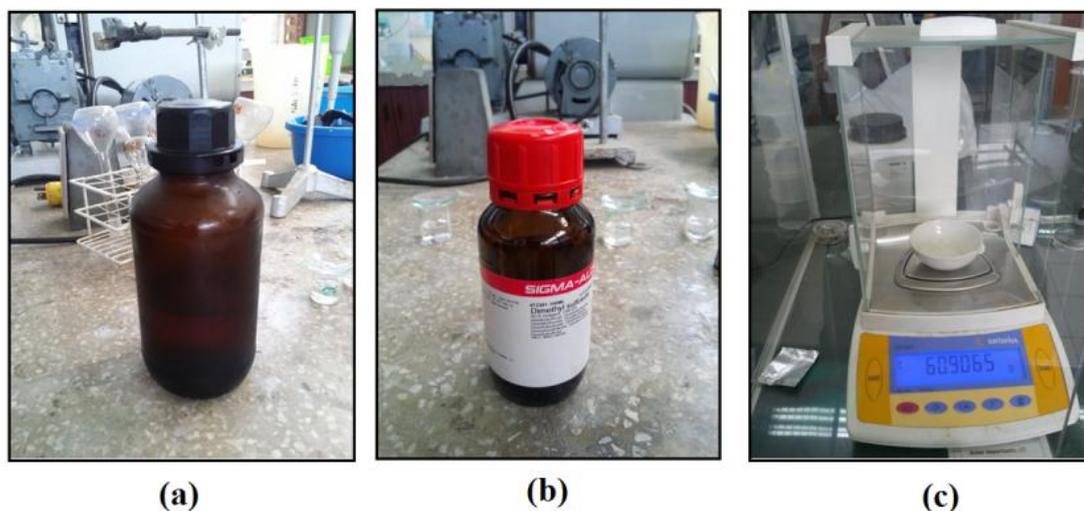


Figura 19: Reactivos para análisis amilosa/amilopectina: a. Disolución I2 (0.0025 M) – KI (0.0065 M), b. Dimetilsulfóxido, c. almidón a analizar

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se utilizó amilosa y amilopectina pura de papa (Sigma) para construir la curva estándar.

c. Procedimiento

Se pesó 0.1 g (en base seca) de almidón en un tubo de ensayo y se añadió 2 mL de dimetilsulfóxido; se dejó disolver durante 15 minutos a 85 °C. Transcurrido el tiempo se diluyó con agua destilada a 25 mL en un matraz aforado. Se tomó 1 mL de ésta disolución y sobre él se añadió 50 mL de agua destilada y 5 mL de disolución I2 (0.0025 M) – KI (0.0065 M). Se mezcló bien y se midió en el espectrofotómetro la absorbancia a 600 nm. La cantidad de amilosa se determinó a partir de la recta patrón de McGrance y col. 1998, realizada con mezclas de amilosa y amilopectina pura con un contenido en amilosa de 0, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 y 100 %, tal y como se observa en la Figura 20.



Figura 20: Soluciones para curva estándar

Fuente: Elaboración propia.

3.4. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Esta etapa tuvo dos objetivos, primero evaluar una metodología para elaborar bioplásticos para lo cual se tomó como variantes la cantidad de glicerol y ácido acético, y segundo caracterizar el bioplástico elaborado con la metodología escogida en la etapa anterior.

3.4.1. Materiales

Se utilizó almidón de papa, glicerina, ácido acético, aceite vegetal como antiadherente, placas de vidrio de 15x20 mm como molde de los bioplásticos, un agitador con calor térmico de la marca ALEMAN para preparar el bioplástico, una estufa de secado de la marca MEMMERT y materiales de laboratorio.

El ácido acético utilizado tuvo una concentración de entre 3 al 5%, para esto se utilizó vinagre de la marca Florida cuyos ingredientes son: vino, agua y antioxidante (E-223). La acidez del vino se compone de distintos ácidos, entre ellos el ácido acético que es un ácido volátil, éste se forma por (Smith y Rodriguez, s.f.):

- Fermentación alcohólico: El ácido acético es un producto secundario normal de la fermentación de los azúcares.
- Fermentación maloláctica: Siempre va acompañada de una pequeña formación de acidez volátil que proviene principalmente de la fermentación del ácido cítrico y las pentosas.
- Alteraciones bacterianas: Las bacterias acéticas, en contacto con el aire oxidan el alcohol a ácido acético (Departamento de aceites y vinos, s.f.)

Se utilizó glicerina del laboratorio Alkofarma, también conocida como glicerol, es un alcohol en cuya composición están presentes tres hidroxilos. Los hidroxilos se forman de un átomo de oxígeno y un átomo de hidrógeno.

El almidón de papa utilizado para la primera etapa de experimentos (determinación de la composición del bioplástico) es un almidón comprado, conocido localmente como chuño; para la segunda etapa (elaboración del bioplástico) se utilizó el almidón extraído de los residuos de papa.

3.4.2. Métodos

Se ha tomado como referencia la cantidad de glicerina y ácido acético recomendado en la bibliografía revisada y a partir de ellas se desarrolló un modelo de diseño ortogonal de experimentos siguiendo la metodología del japonés Genichi Taguchi también descrita en Kavanaugh (2002). Se determinó las cantidades a utilizar según los factores y niveles, como se muestran en el Cuadro 8 y 9.

Cuadro 8: Factores y niveles seleccionados para el diseño de experimentos

N°	Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Ác. Acético (ml)	3	5	10
2	Glicerina (ml)	5	10	-
CONSTANTES EN CADA CORRIDA	Almidón (g)	10		
	Agua (ml)	60		
	Temperatura (°C)	150		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9: Matriz de diseño de experimentos L₆ (2¹ X 3¹)

Polímero	Variables		Constantes		
	Glicerina (ml)	Ác. Acético (ml)	Almidón (g)	Agua (ml)	Temperatura (°C)
1	5	3	10	60	150
2	5	5	10	60	150
3	5	10	10	60	150
4	10	3	10	60	150
5	10	5	10	60	150
6	10	10	10	60	150

Fuente: Elaboración propia.

Se elaboraron 6 tipos de bioplástico tomando como factores las cantidades de glicerina y ácido acético ya que éstos proveen las características de elasticidad y resistencia del bioplástico. La cantidad de agua y de almidón fueron de 60 mL y 10 g respectivamente.

Se consideraron tres repeticiones para cada ensayo. Se estableció el siguiente procedimiento para la elaboración del bioplástico tomando como referencia a MIT (2012) y Sweeney (2008):

- Pesar 10 g de almidón y la cantidad de glicerina y ácido acético que correspondan al tipo de muestra.
- Verter 60 ml de agua destilada en un vaso becker, agregar el almidón y mezclar.
- Agregar la glicerina y mezclar, luego agregar el ácido acético, continuar mezclando hasta tener una solución homogénea.
- Colocar el vaso sobre el agitador térmico a 150°C y 500 RPM durante los seis primeros minutos, posteriormente subir las revoluciones a 800 RPM durante dos minutos, finalmente se dejó a 1400 RPM hasta que la muestra presente una consistencia gomosa (aproximadamente cinco minutos, el tiempo varía dependiendo de la muestra).
- Untar una placa de vidrio con aceite e inmediatamente colocar la mezcla del bioplástico, tratar de esparcir hasta dejar una capa uniforme de la mezcla.
- Colocar las placas en la estufa a 40°C durante 24 horas.

Para mayores detalles ver ANEXO 2. Una vez que se obtuvieron todos los bioplástico de los distintos ensayos, se realizaron ensayos preliminares de tensión en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Agrícola de la UNALM para determinar el

bioplástico más resistente; posteriormente se realizaron pruebas de tracción y elongación en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú y la prueba de infrarrojo que lo realizó la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) de la UNMSM.

3.4.3. Ensayo Preliminar de Tracción y Elongación

Para realizar los ensayos de tensión se cortaron 4 tiras de 5 mm x 50 mm por cada tipo de polímero y por cada repetición. Asimismo se acondicionó un equipo con un Dial incorporado para registrar el estiramiento de las tiras ante las cargas hasta su punto de ruptura.

a. Equipos necesarios

La Figura 21 y 22 muestran los equipos utilizados en el ensayo preliminar de tensión.

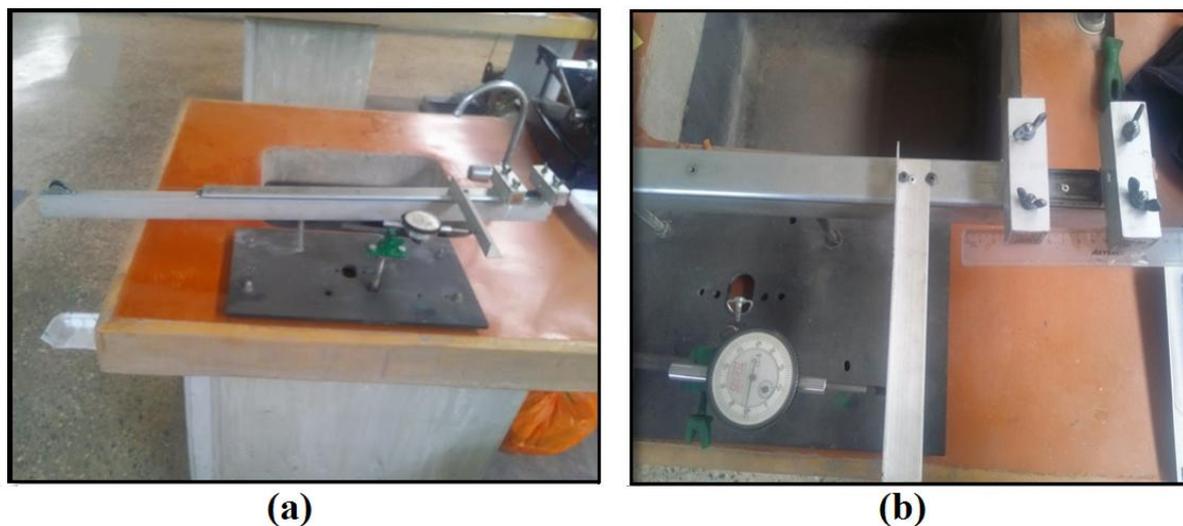


Figura 21: Equipo acondicionado para el ensayo preliminar de tensión: a. Equipo, b. dial

Fuente: Elaboración propia.



(a)



(b)

Figura 22: Equipos para el ensayo preliminar de tensión: a. Equipo de consolidación, b. Balanza pequeña

Fuente: Elaboración propia.

b. Materiales

- Tiras de bioplástico
- Monedas
- Arena
- Cinta adhesiva y tijeras
- Laptop

c. Procedimiento

Se utilizó pesas de 50 g, 25 g y monedas de 1 nuevo sol, 50, 10, 5 y 1 céntimo, que fueron pesadas previamente (Figura 23 a). Con el equipo de consolidación se midió el grosor de las tiras del bioplástico en 10 puntos a lo largo de la tira para obtener el grosor promedio.

El equipo requirió una pequeña carga para vencer la resistencia ofrecida por el dial, por lo que se pesó una pequeña cantidad de arena para utilizarlo como tara, luego de varias pruebas se determinó que la tara fue de 40g, todas las pruebas realizadas se inician con esta tara, se ajustó la longitud de abertura a 5 cm con la ayuda de una regla y se colocaron las muestras fijándolas con cinta adhesiva en las marcas para mantener constante la longitud,

luego se aseguró con las láminas de aluminio (Figura 23 b); el dial debe comenzar en cero para iniciar el ensayo. Se colocaron los pesos en forma decreciente hasta llegar al punto de ruptura y se registraron los datos correspondientes.

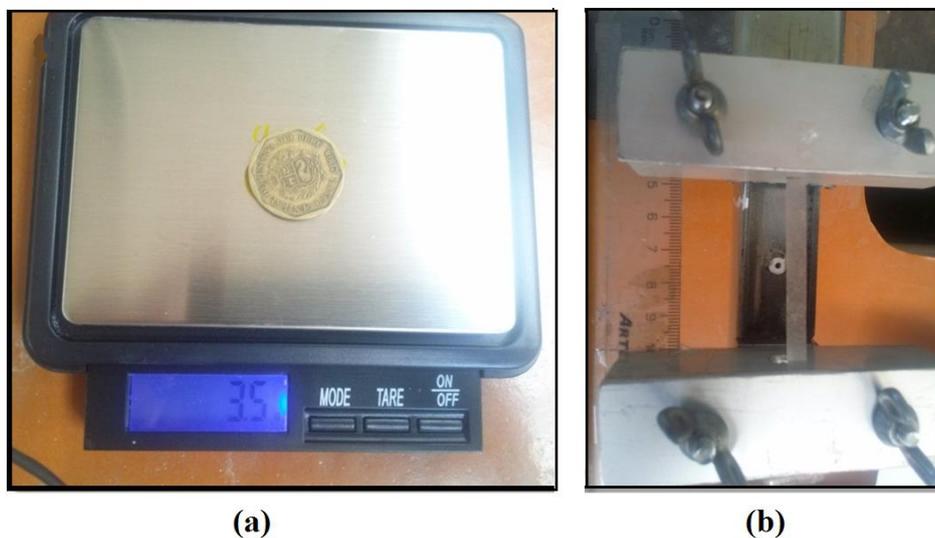


Figura 23: a) Pesado de monedas; b) Tira de bioplástico en ensayo

Fuente: Elaboración propia.

3.5. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD

Esta etapa tuvo como objetivo determinar el porcentaje de biodegradación del bioplástico elaborado en la etapa anterior. El ensayo de biodegradación para el bioplástico elaborado en la etapa anterior se desarrolló en base a la norma ISO 17556. Se utilizó compost como medio de degradación con la finalidad de acelerar el proceso de degradación y poder observar un mejor comportamiento en los tres meses de evaluación. Se consideró un control positivo (filtro de celulosa), un control negativo (polietileno de baja densidad) y un blanco. Se realizó una repetición para cada muestra, la distribución fue la siguiente:

- 2 frascos para el bioplástico de almidón.
- 2 frascos para la celulosa.
- 2 frascos para el polietileno de baja densidad.
- 2 frascos para el blanco.

3.5.1. Muestra de compost

Se utilizó un compost, de entre cinco y seis meses de madurez, como medio de degradación. Éste se pasó por un tamiz de 2mm de diámetro para separar los restos de ramas, piedras y otros materiales que se pudiesen encontrar en el compost; asimismo se caracterizó dicho material (Cuadro 10).

Cuadro 10: Caracterización del compost

Parámetro	Valor
pH	7.02
C.E.	3.49 dS/m
M.O.	29.06%
N	1.28%
P ₂ O ₅	2.21%
K ₂ O	0.29%
CaO	4.79%
MgO	1.09%
Hd	40.77%
Na	0.16%

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del Departamento de Suelos UNALM.

El compost de la UNALM está formado por 60% de residuos verdes y 40% de excretas (CEMTRAR, 2016). El proceso de compostaje tiene tres etapas, la etapa mesofílica, termofílica y de maduración. La investigación realizada por Quevedo (2011) indica que los microorganismos aerobios mesófilos viables predominan en la fase mesofílica, para luego disminuir en la fase termofílica debido al incremento de la temperatura, luego incrementarse en la fase de curado en la que se produce la repoblación de los microorganismos, y finalmente disminuir puesto que los nutrientes que suelen utilizar estos microorganismos se encuentran menos disponibles o se ha consumido gran parte.

Por tanto la capacidad de biodegradar los polímeros por parte de éstos microorganismos estuvo presente y en forma adecuada en todas las fases del compostaje. Además menciona también la presencia de actinomicetos, levaduras y mohos como parte de su composición microbiana.

3.5.2. Materiales a ensayar

La muestra a ensayar es el bioplástico de almidón elaborado en la etapa anterior; se utilizó filtros de celulosa sin ceniza y polietileno de baja densidad (código de plásticos N°4) como material de referencia y control negativo respectivamente. Dichos materiales fueron cortados en piezas de 5mmx5mm, se utilizó 2500 mg de material de ensayo para 200g de compost.

3.5.3. Sistema respirométrico

El sistema consistió en una pequeña bomba de aire, cuyo flujo fue medido con un flujómetro digital al inicio del ensayo (ver Cuadro 11), dicha bomba de aire fue conectada a dos juegos de llaves con cuatro salidas habilitadas cada una, el aire fue conducido a un frasco con soda cáustica en escamas para capturar el CO₂ del aire, el aire libre de CO₂ pasó a los frascos de ensayo (biorreactor) compuestos de compost y los materiales a ensayar inmersos en un equipo de baño María a 25°C; finalmente el flujo de aire pasa a un absorbedor de CO₂ compuesto por dos frascos con hidróxido de bario 0.0125 mol/L para capturar el CO₂ generado en el biorreactor que fue cuantificado por titulación con una solución de HCl 0.05 mol/L.

Cuadro 11: Lecturas del flujómetro en la bomba de aire

Lectura (L/min)	Lectura Promedio (L/min)
0.70839	0.708
0.70556	
0.71006	

Fuente: Elaboración propia

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de la etapa de extracción de almidón se evaluaron con gráficas de Excel, ya que sólo nos interesa conocer el proceso con el cual se obtiene una mayor cantidad de almidón. En la segunda etapa se utilizó un diseño ortogonal de Taguchi para establecer el número de experimentos que se debe realizar en la elaboración del bioplástico; además se evaluaron los resultados del ensayo preliminar de tracción y elongación con ayuda del software estadístico Minitab 17. No se realizaron análisis estadístico en la última etapa ya que sólo se ensayó el bioplástico elaborado en la etapa anterior.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Se desarrolló un primer ensayo controlando el volumen de agua que ingresa a la peladora para uniformizar el volumen de residuo obtenido y la cantidad de MB en cada muestra. El volumen de agua utilizado fue de 10 L y la cantidad de MB fue de 0, 10, 30, 50, 100, 300, 500 y 700 g según la muestra, el flujo de agua hacia la peladora también fue constante ya que se utilizaron dos mangueras delgadas de igual diámetro para todos los procesos; con esto se controló la cantidad de agua a ingresar, la cantidad de MB y el tiempo de pelado.

Se siguió el procedimiento inicial hasta la etapa de decantación 2, luego se tomó seis alícuotas de 15mL cada una para cada muestra, ésta se dejó en reposo por 24 horas para después cuantificar el volumen de almidón decantado. Se descartó el sobrenadante y se mezcló el almidón de las 6 alícuotas (Am) en una sola muestra, se enrazó a 15 mL y se dejó en reposo por 24 horas, se cuantificó la cantidad de almidón obtenida (ver ANEXO 3).

En la Figura 24 se observa que la muestra con mayor cantidad de almidón obtenido es la m6.1 (3% MB y T° ambiente). La temperatura no fue un factor diferencial en la cantidad de almidón obtenido a porcentajes menores de MB (0%, 0.1% y 0.3%), sin embargo a medida que aumenta la cantidad de MB (0.5%, 1%, 3%, 5% y 7%) aumenta también la diferencia entre el almidón obtenido con la papa helada y al almidón obtenido con la papa a temperatura ambiente. Los azúcares reductores se forman a partir del almidón este proceso implica la acción de la enzima invertasa la cual se incrementa a temperaturas bajas, el MB bloquea los grupos carbonilo libres de los azúcares reductores y evita que estos interaccionen con otros aminoácidos (Pazmiño, 2010).

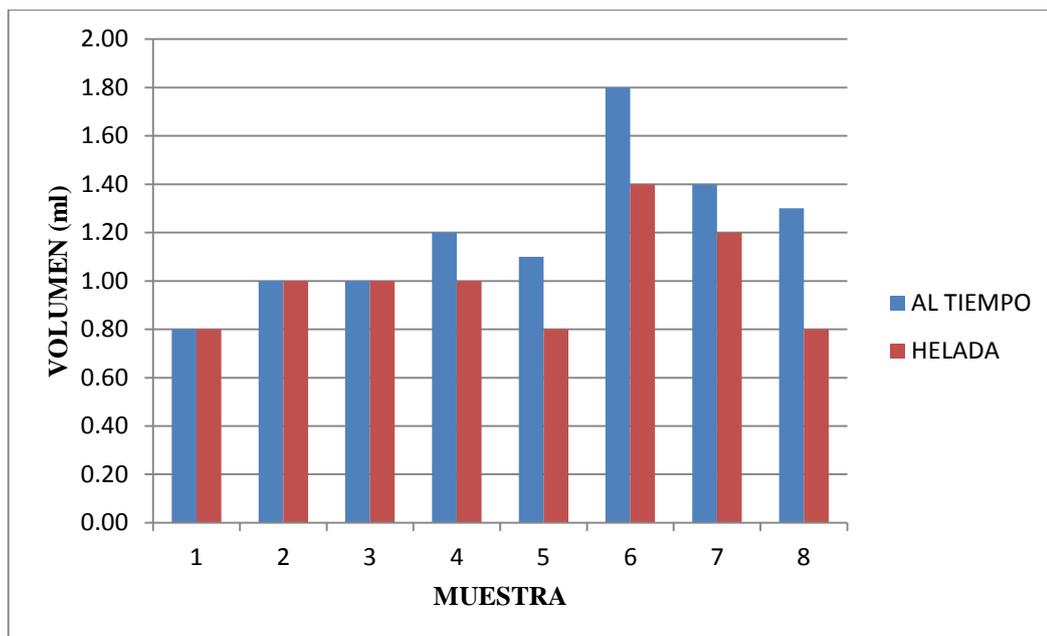


Figura 24: Cantidad de almidón obtenido (Am)

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a desarrollar un segundo ensayo con dos repeticiones cada una para las dos pruebas con las que se obtuvo una mayor cantidad de almidón (m6 y m7); en este caso se va a desarrollar el procedimiento completo hasta la obtención del almidón en polvo.

El Cuadro 12 muestra los resultados promedio obtenidos en el ensayo 2 (para mayor detalle ver ANEXO 4), la eficiencia se obtuvo a partir del peso de la malla ya que la malla retiene el residuo sólido de la peladora. Al igual que en el primer ensayo, la peladora tiene un ingreso de 10 litros de agua y 2 kg de papa para cada ensayo, además de mantener un tiempo de pelado constante. Las papas tuvieron un proceso de selección considerando las características de forma y tamaño, sin embargo las pequeñas diferencias entre los tubérculos pudieron haber sido las causantes de que la cantidad de residuo sólido no fuera constante en todos los procesos; además también se observó que los grupos de papas compuestas por papas de tamaño ligeramente menor a las de otros grupos generan una mayor cantidad de residuos, esto debido a que el proceso de pelado se da por fricción dentro de un tambor rotatorio, las papas de menor tamaño giraron más, se pelaron más y por tanto generaron una mayor cantidad de residuos. Los resultados mostrados en el Cuadro 12 indican que la mayor eficiencia se dio en procesos llevados a cabo con papas a temperatura ambiente, lo cual coincide con los resultados del ensayo anterior.

Cuadro 12: Extracción de almidón: Resultados del ensayo 2

Muestra	Peso (kg)	Peso residuo sólido (g)	Almidón (g)	Eficiencia (%)
m6.1	2.02	69.33	25.19	35.06
m6.2	2.02	65.00	21.70	31.57
m7.1	2.02	43.33	10.15	23.67
m7.2	2.03	40.00	8.56	21.03

Fuente: Elaboración propia

La Figura 25 muestra los resultados de las muestras con 3 y 5% de MB (muestras 6 y 7 respectivamente) a temperatura ambiente y helada, se observa un comportamiento decreciente siendo siempre la muestra 6.1 la que mayor eficiencia presenta. Por lo tanto el proceso con el que se obtiene una mayor cantidad de almidón se da a temperatura ambiente y con 3% de MB; y su eficiencia promedio es de 35.06%.

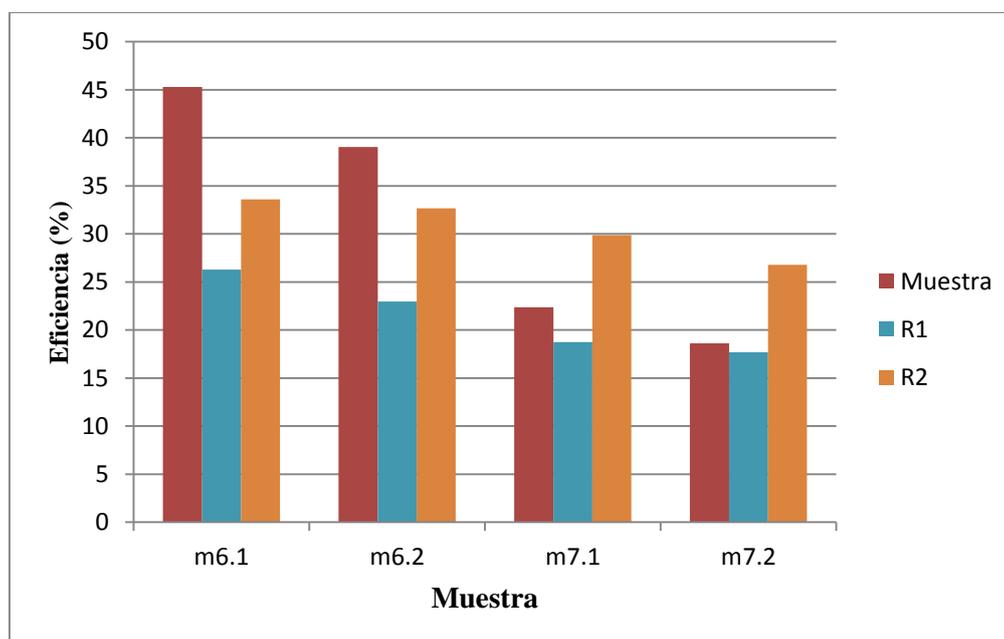


Figura 25: Eficiencia Vs Muestra

Fuente: Elaboración propia

El Metabisulfito de sodio (MB) es un polvo o cristal con una alta solubilidad en agua (la menor es 250 mg/ml). Para procesos de extracción de almidón se recomienda de 0.01 a 0.05% p/v mientras que Fernández (1995) recomienda 0.12% de antioxidante.

Si bien los experimentos realizados indican que la mejor concentración de MB es de 3%, se debe tener en cuenta que el Ministerio de Vivienda (2015) indica que el valor máximo admisible para efluentes no domésticos con respecto a los sulfatos es de 1000 mg/L, por lo que es importante considerar un manejo de efluentes en caso de seguir la metodología descrita anteriormente. Horna (2011) publica un protocolo para el tratamiento ambiental del metabisulfito de sodio después de la cosecha de camarón, en el cual indica que la actividad mencionada utiliza aproximadamente 124,85 gramos de MB por litro de agua y que dicho MB se puede neutralizar con Hidróxido de calcio, zeolita o silicio. Otra alternativa es el uso del MB en tratamientos de agua por ósmosis inversa (Quimnet, 2014), en el proceso de ósmosis inversa se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi permeable desde una solución de mayor concentración (sales y contaminantes) a una solución menos concentrada utilizando la presión para invertir el flujo osmótico normal. Para los sistemas de ósmosis inversa es necesario eliminar el cloro antes de que se lleve a cabo el proceso para proteger las membranas de la oxidación. Comúnmente el metabisulfito de sodio es usado para remover el cloro libre, las cantidades aproximadas para una reacción estándar es de 474,33 g de MB para 162 g de agua, siguiendo la siguiente reacción estequiométrica:



Finalmente también se menciona la posibilidad de recircular la solución de MB para luego cristalizarlo con CaO para formar Sulfato de calcio que tiene uso agrícola, entre otros (Herrera, s. f.).

Una vez determinada la composición del bioplástico se procesó 20 Kg de papa para obtener el almidón con el que se elaboraron las muestras de bioplástico para los ensayos de tracción, de infrarrojo y de biodegradación. Se observaron los gránulos de almidón con la ayuda de un microscopio (Figura 26), y fue sometido a análisis de amilosa/amilopectina realizado en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional Agraria la Molina y al ensayo de infrarrojo realizado por la Unidad de servicios y análisis químicos (USAQ) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.



Figura 26: Vista al microscopio de los gránulos del almidón extraído en la presente investigación

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Análisis de amilosa/amilopectina

El análisis de amilosa/amilopectina fue realizado siguiendo el método descrito por McGrance *et al.* (1998). El Cuadro 13 muestra los resultados obtenidos en la curva estándar de amilosa, se realizaron dos mediciones para obtener el promedio.

Cuadro 13: Curva estándar de amilosa.

Amilosa (%)	Amilopectina (%)	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Absorbancia Promedio
0	100	0.035	0.035	0.035
10	90	0.071	0.072	0.072
20	80	0.109	0.111	0.110
40	60	0.167	0.166	0.167
50	50	0.198	0.195	0.197
60	40	0.23	0.231	0.231
80	20	0.291	0.29	0.291
90	10	0.319	0.322	0.321
100	0	0.36	0.359	0.360

Fuente: Elaboración propia

En base a la información recolectada en el Cuadro anterior se procedió a elaborar el gráfico mostrado en la Figura 27 y hallar la ecuación que define su comportamiento.

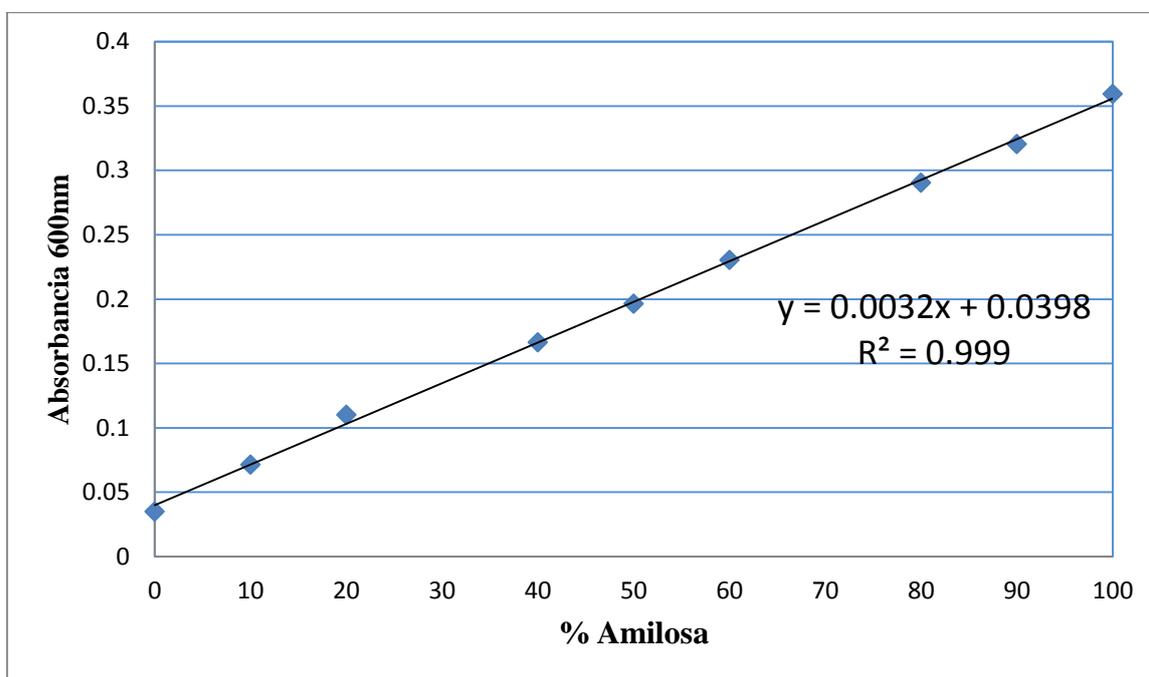


Figura 27: Curva estándar amilosa/amilopeptina

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se midió la absorbancia de la muestra de almidón y se calculó el porcentaje de amilosa con ayuda de la ecuación (Cuadro 14).

Cuadro 14: Resultados muestra de almidón

Muestra	Absorbancia	% Amilosa	% Promedio Amilosa	% Amilopeptina
Almidón	0.124	26.31	26.21	73.79
	0.125	26.63		
	0.122	25.69		

Fuente: Elaboración propia

Así, el almidón obtenido previamente obtuvo 26.21% de amilosa y 73.79% de amilopeptina, resultados que concuerdan con la bibliografía revisada, pues si bien se menciona que la cantidad promedio de amilosa/ amilopeptina es de 23/67 para el almidón

de papa (Martínez, 2005), menciona que la proporción depende también de la variedad y condiciones a las que haya sido sometido el tubérculo durante su desarrollo.

4.1.2. Ensayo de Espectrofotometría Infrarroja

Tomando como referencia a Conley (1972), el análisis FT-IR muestra que las bandas 3304.06 y 2931.80 cm^{-1} corresponden a la vibración de tensión de los enlaces O-H y C-H; las bandas 1415.75 y 1149.57 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de tensión de C-C del anillo de glucosa presente en la estructura del almidón; además presenta una banda ancha desde los 1415.75 cm^{-1} a los 1242.16 cm^{-1} debido a los modos de deformación planar de C-H. La banda apreciada a los 1149.57 cm^{-1} y 1078 cm^{-1} es causada por las deformaciones vibracionales de los acetales. Las bandas de deformación fuera del plano del anillo asignadas a C-C y CH_2 son observadas a los 997.20 cm^{-1} y 761 cm^{-1} respectivamente.

En la Figura 28 se observa la comparación entre el espectro de la muestra (gráfica superior) y el almidón patrón (gráfica inferior). El espectro de la muestra es similar al espectro de SOLUBLE STARCH en 89.80% de probabilidad según la biblioteca espectral. Para mayor detalle ver ANEXO 5.

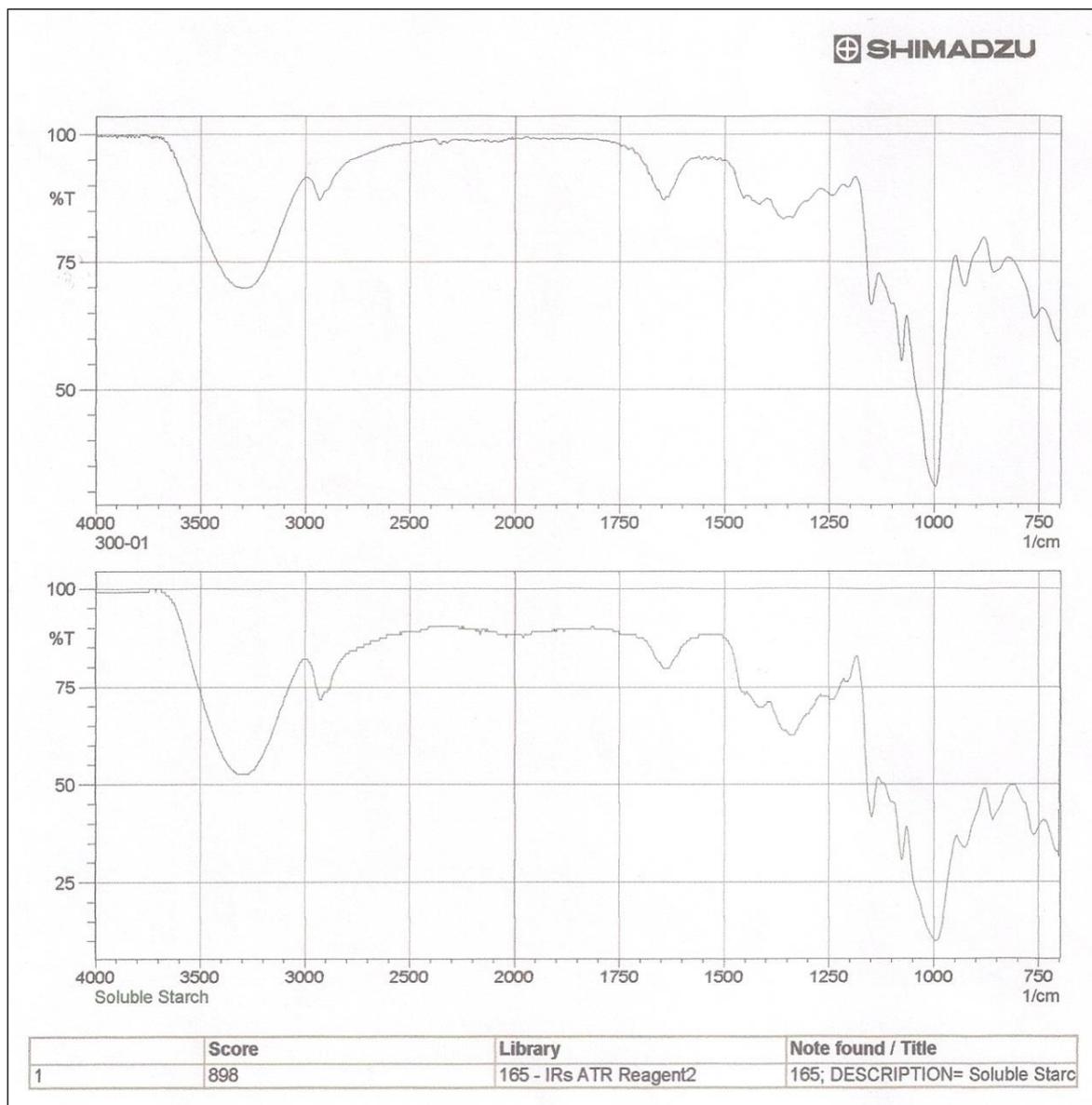


Figura 28: Comparación de Espectros de la muestra de almidón y la referencia bibliográfica

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se consideran buenos ya que siguen el mismo comportamiento del almidón patrón, las diferencias se pueden deber a las posibles impurezas presentes en la muestra o a la fuente de almidón (almidón de papa).

4.2. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Para la elaboración del bioplástico se decidió trabajar la primera etapa con un almidón comprado (conocido localmente como Chuño) ya que su finalidad es determinar la mejor composición entre las variantes que se eligió previamente y no es imprescindible la utilización del almidón extraído para la comparación de bioplásticos. Una vez determinada la composición se elaboró el bioplástico con el almidón extraído en la etapa anterior y fue sometido a distintos análisis para finalmente pasar a la última etapa (ensayo de biodegradación). También se utilizó agua destilada, ácido acético y glicerina; si bien éste último insumo es de origen químico, éste es fácilmente biodegradado por especies de *Bacillus circulans* y *Aspergillus funigatus* según las investigación realizada por Guzman et al. (2011).

Se prosiguió con el procedimiento descrito en el punto 3.4.2 para la elaboración del bioplástico, luego de secar las muestras en la estufa se procede a retirarlas de las placas de vidrio, como se observa en la Figura 29.

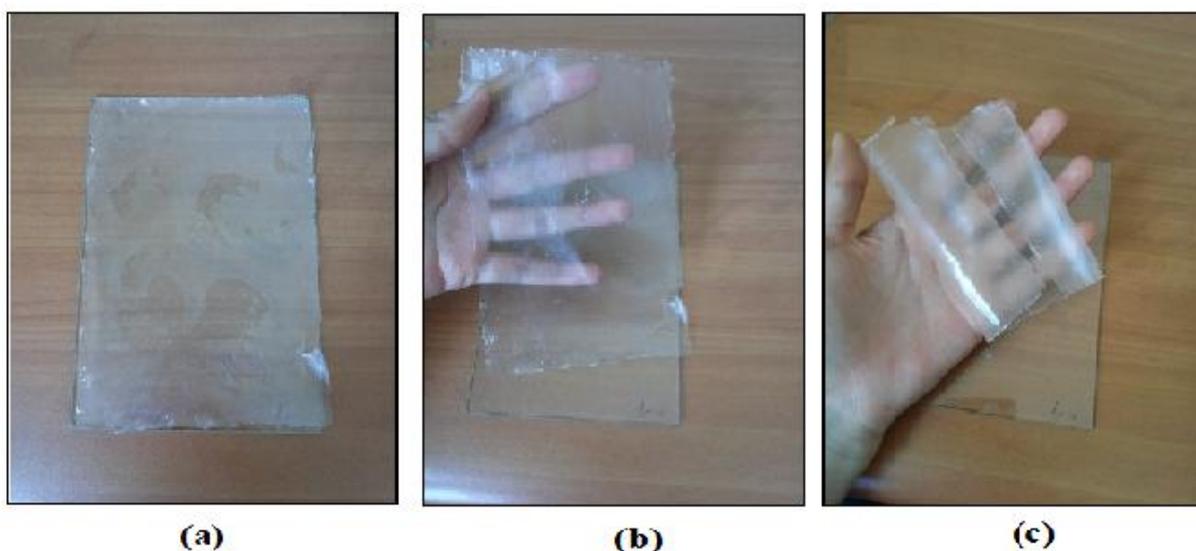


Figura 29: a. bioplástico en la placa; b. bioplástico estirado; c. bioplástico doblado

Fuente: Elaboración propia

En general todas las láminas fueron bastante flexibles, sin embargo se notaron ciertas diferencias debido a la variación en su composición. Así las muestras con menor cantidad de ácido acético parecían ser más rígidas y resistentes que las muestras con mayor cantidad de ácido acético; con respecto a la glicerina no se notó una variación significativa entre las muestras con menor y mayor cantidad de éste compuesto. Se procedió a realizar las pruebas físicas y químicas en los materiales elaborados.

4.2.1. Ensayo preliminar de tracción y elongación

Una vez que se obtuvieron los bioplástico con las cantidades de glicerina y ácido acético determinadas, se procedió a cortarlas en tiras de 5mm X 50 mm para realizar el ensayo de tensión (Figura 30).

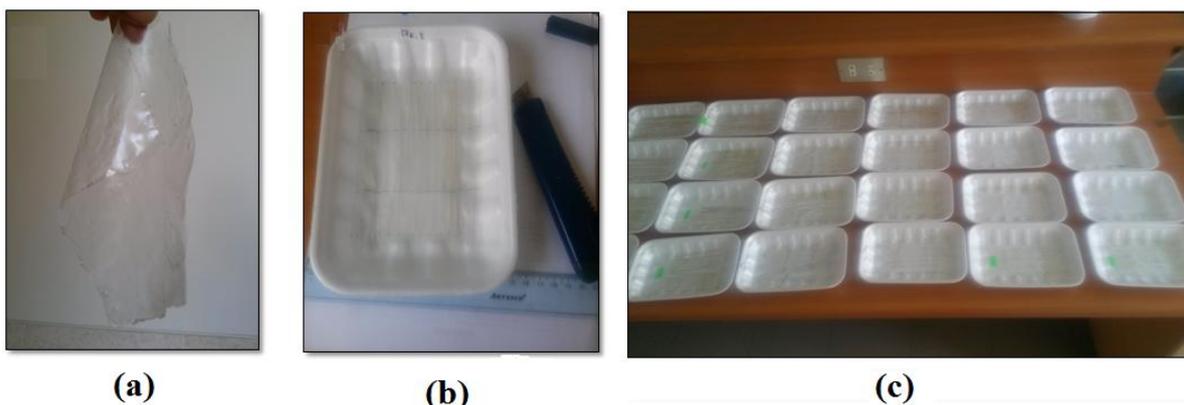


Figura 30: a. bioplástico; b. tiras de bioplástico; c. total de muestras

Fuente: Elaboración propia

Se ensayaron dieciséis muestras por cada tipo de polímero y se hizo una regresión no lineal (potencia-cóncavo) con el uso del software estadístico Minitab 17. Se observó una clara diferencia en la respuesta de cada polímero ante el esfuerzo generado en dicho material; siendo los polímeros con una menor cantidad de ácido acético (polímero 1 y 4) los más resistentes y a medida que la cantidad de ácido acético aumenta el esfuerzo disminuye y la deformación unitaria aumenta. Además también se observó que la deformación unitaria varía en forma directamente proporcional a la cantidad de glicerina utilizada, la glicerina es un lubricante que brinda flexibilidad al polímero, esto coincide con los resultados

obtenidos por Corrales *et al.* (2007) quien menciona que el incremento en la cantidad de glicerina reduce las fuerzas intermoleculares, tales como los puentes de hidrógeno haciendo el material más flexible y menos resistente. Para una misma cantidad de glicerina, la adición de ácido acético provoca una disminución del esfuerzo máximo, esto se podría explicar por la hidrólisis que esta causa sobre el almidón (MIT, 2012).

El Cuadro 15 presenta el resumen de los resultados del ensayo preliminar y en la Figura 31 podemos observar las gráficas de los resultados (para ver el detalle estadístico ver ANEXO 6). Ya que el bioplástico no está destinado a un uso específico, se eligió el bioplástico que ofrece una mayor resistencia para llegar al punto de ruptura, en éste caso el bioplástico 1.

Cuadro 15: Resumen de resultados del ensayo de tracción y elongación preliminar

Bioplástico	Glicerina (ml)	Ác. Acético (ml)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación máxima (%)
1	5	3	2.71	14.173
2	5	5	1.15	15.494
3	5	10	0.64	22.708
4	10	3	2.56	15.037
5	10	5	0.98	15.502
6	10	10	0.65	29.21

Fuente: Elaboración propia

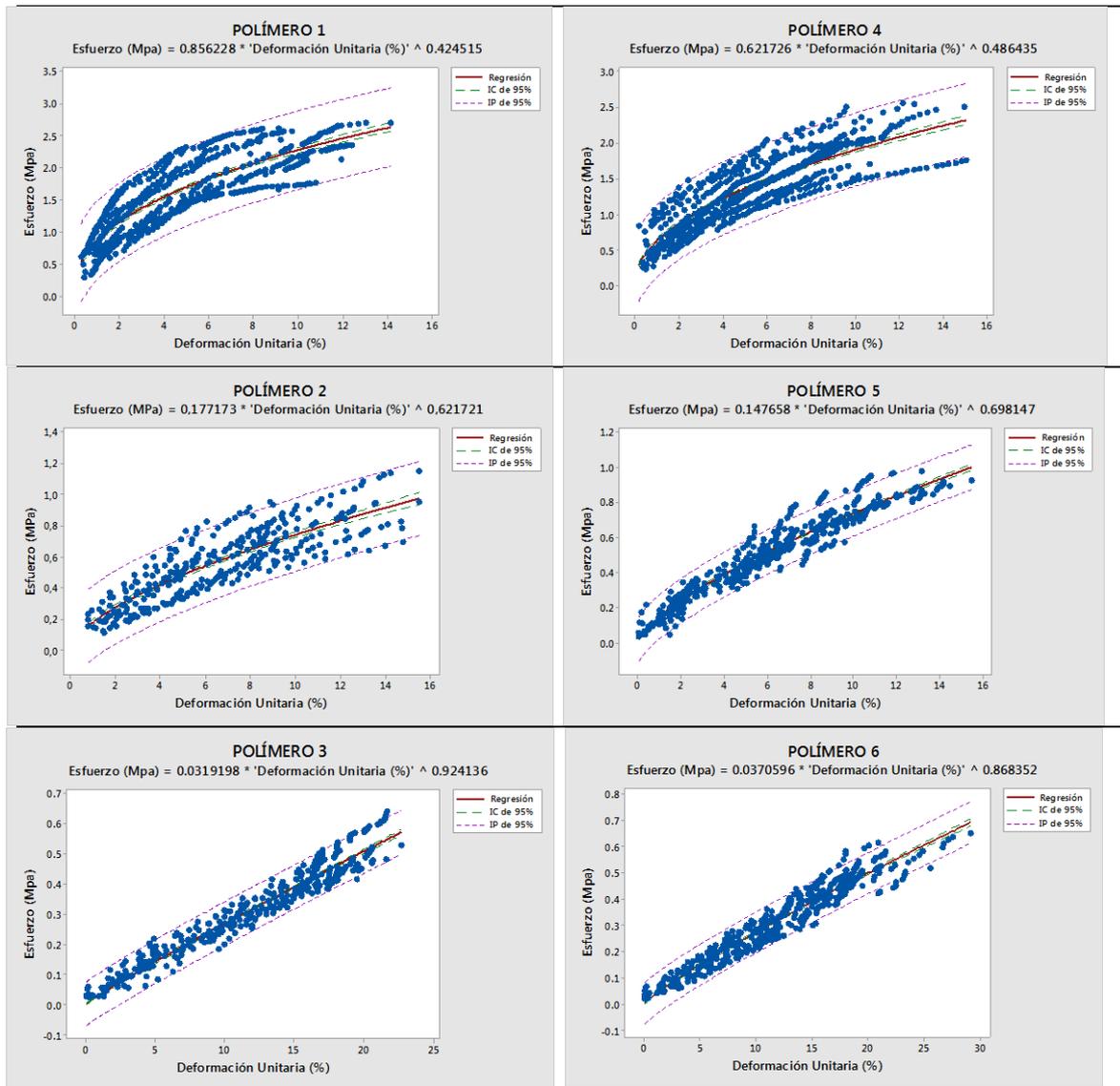


Figura 31: Regresiones lineales de los distintos bioplástico

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Ensayo de Tracción y Elongación

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se utilizó el equipo de tracción universal Zwick Roell Z050 (Figura 32) y adicionalmente un reloj comparador de la marca Mitutoyo y un plano de compresión para medir el grosor de los films de bioplásticos (Figura 33), para el ensayo se utilizó como referencia la norma ASTM D882.



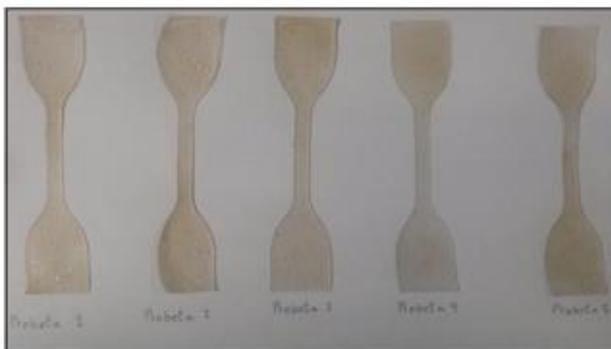
(a)



(b)

Figura 32: a. Equipo de tracción universal Zwick Roell Z050; b. Acercamiento del equipo

Fuente: Elaboración propia



(a)



(b)

Figura 33: a. Probetas a ensayar; b. Reloj comparador

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 16 se observa los resultados obtenidos en el ensayo de tracción realizado, el gráfico de dichos resultados se muestran en la Figura 34.

Cuadro 16: Resumen de resultados del ensayo de tracción y elongación

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación máxima (%)
1	0.350	6	0.962	17.060
2	0.412	6	1.257	19.987
3	0.307	6	1.141	17.126
4	0.388	6	1.321	17.925
5	0.194	6	1.470	16.822

Fuente: Elaboración propia

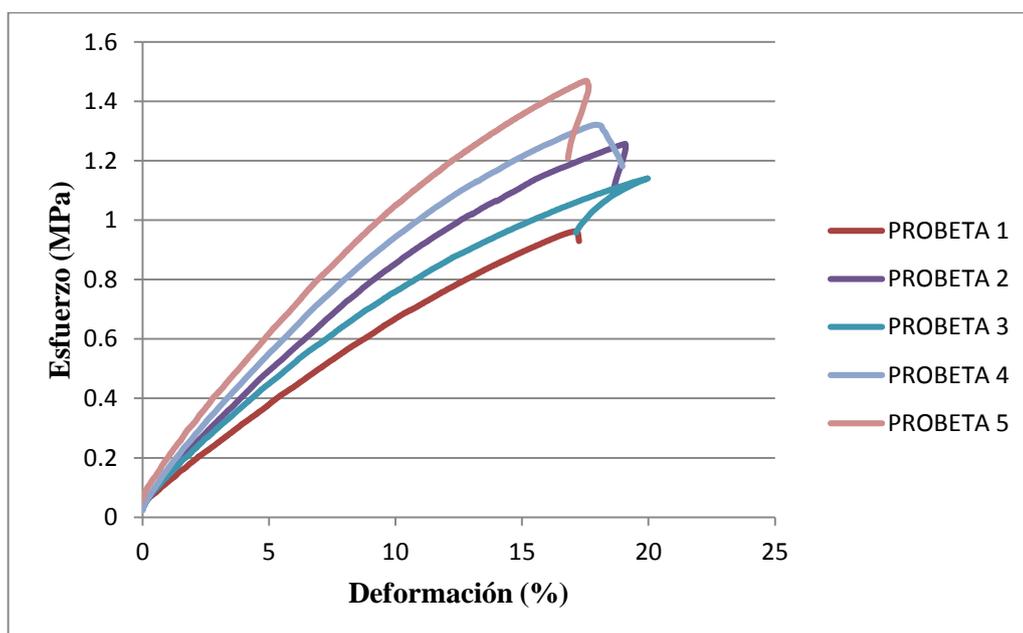


Figura 34: Gráfico Deformación Vs. Esfuerzo

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo como esfuerzo máximo 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99%; era esperable que los resultados sean diferentes a los resultados obtenidos en el ensayo de tracción y elongación preliminar debido a que el equipo utilizado anteriormente no fue un equipo de tracción sino un equipo acondicionado para tal función, además los ensayos preliminares fueron hechos con bioplástico elaborados con un almidón comprado que debe tener un menor grado de impurezas por ser para consumo humano.

El resultado obtenido es menor al obtenido por Torres et.al. (2011) quien obtuvo un esfuerzo máximo de 3.22 MPa y una elongación máxima de 24.18% para papa de la variedad Yungay mientras que Arroyo y Alarcón (2013) obtienen un esfuerzo máximo de

4.25 MPa y una elongación máxima de 42.494% para su experiencia M1, un esfuerzo máximo de 3.29 MPa y una elongación máxima de 42.486% para su experiencia M2 y un esfuerzo máximo de 3.13 MPa y una elongación máxima de 65.645% para su experiencia M3; si bien las tres experiencias tuvieron distintas condiciones, todas fueron elaborados a partir de almidón de papa amarilla. Las diferencias en las características mecánicas pueden estar explicadas por la calidad y tipo de almidón que se tomó como materia prima para la elaboración del bioplástico; tanto la investigación de Torres et.al. (2011) como la de Arroyo y Alarcón (2013) no incluyen el análisis de amilosa/amilopectina ni la comparación del espectro FTIR del almidón con un almidón estándar de la biblioteca de espectroscopía para conocer su porcentaje de similitud; otro factor importante son los aditivos utilizados para elaborar el bioplástico, Torres et.al. (2011) utilizó un ácido fuerte (HCl) que pudo haber propiciado un mayor grado de hidrólisis en el almidón logrando una mejor polimerización; mientras que Arroyo y Alarcón (2013) utilizaron ácido polivinílico que es un polímero sintético, hidroxietilcelulosa es un aditivo que cumple el papel de extensor, cloruro de sodio y el ácido bórico mejora la resistencia al esfuerzo cortante, la glicerina y el agua destilada que son plastificantes y el etanol para diluir bien la mezcla (Arroyo y Alarcón, 2013).

4.2.3. Ensayo de Espectrofotometría Infrarroja

En la Figura 35 se muestra el espectro de la película de bioplástico preparada con el almidón extraído en la primera etapa. En este espectro se puede observar, a los 3296.35 cm^{-1} , la vibración de tensión de los enlaces O-H asociados con el enlace libre inter e intramolecular del grupo hidroxilo, lo cual es una característica muy particular de la estructura del almidón (Meré, 2009). A los 2931.80 cm^{-1} se observa la vibración de tensión de los enlaces $-\text{CH}_2$ presentes también en el espectro del almidón; aparece un nuevo pico a los 2887.44 cm^{-1} que representa al enlace CH presente al reaccionar la glucosa con el glicerol; además desaparece el pico 1359.82 cm^{-1} que corresponde a los enlaces $-\text{OH}$ de los alcoholes primarios presentes en los anillos de glucosa, al reaccionar con el glicerol éstos enlaces desaparecen y pasan a ser enlaces éter C-O-C que se ve representado en el espectro por la aparición del pico 1105.21 cm^{-1} . Las bandas de 1250 cm^{-1} a 1150 cm^{-1} son originadas por la respiración del anillo de pirrol (Conley, 1972). Para mayor detalle ver ANEXO 6.

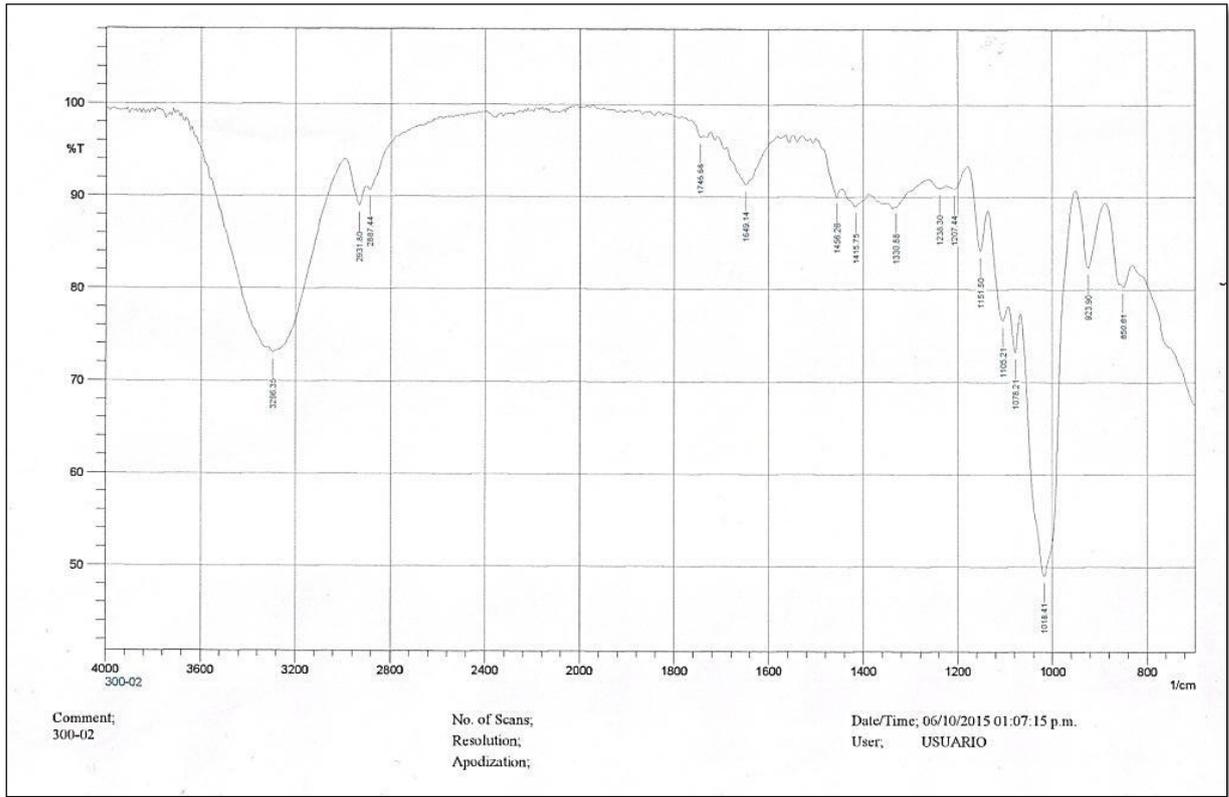


Figura 35: Espectro en muestra del bioplástico

Fuente: Elaboración propia

4.3. ENSAYO DE BIODEGRADABILIDAD

Las muestras a ensayar fueron: el bioplástico elaborado con el almidón extraído en la primera etapa, el polietileno de baja densidad como control negativo, la celulosa como control positivo y el blanco. Antes de iniciar el ensayo se realizaron análisis de laboratorio en las muestras a ensayar y en el compost; uno de los ensayos requeridos para hacer los cálculos es la cantidad de carbono (Cuadro 17), se realizó el análisis en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, se utilizó el Analizador de carbono Shimadzu TOC-L para todas las muestras a ensayar excepto para la muestra de polietileno de baja densidad debido a la limitante del equipo para su medición, este dato se obtuvo de la investigación de Saraiva (2012). Para mayor detalle ver ANEXOS 7 y 8.

Cuadro 17: Porcentaje de carbono en las muestras a ensayar

Muestra	% Carbono
Bioplástico	34.36
Filtro de membrana de celulosa	26.60
Filtro de papel de celulosa sin ceniza	44.72
Polietileno de baja densidad	86
Compost	14.82

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se utilizó filtros de membrana de celulosa de 0.45 μm de la marca Pall Corporación, ésta se tuvo que cambiar a los 24 días debido a que no presentaba el comportamiento esperado; el nuevo control positivo fue papel filtro sin ceniza N°41 de la marca Whatman.

La Figura 36 muestra la diferencia en el comportamiento de los filtros de celulosa durante los primeros 23 días de ensayo. Los filtros de membrana de celulosa de la marca Pall están elaborados con ésteres de celulosa combinados como el acetato y nitrato de celulosa (Pall Technologies, 2015); esto le brinda mayor resistencia mecánica y flexibilidad (COSELA, 2015). Mientras que los filtros de la marca Whatman se fabrican a partir de algodón de alta calidad tratado para alcanzar un contenido en celulosa alfa del 98% (ZOGBI, 2015) por lo que se degradan con mayor facilidad y actúa bien como control positivo.

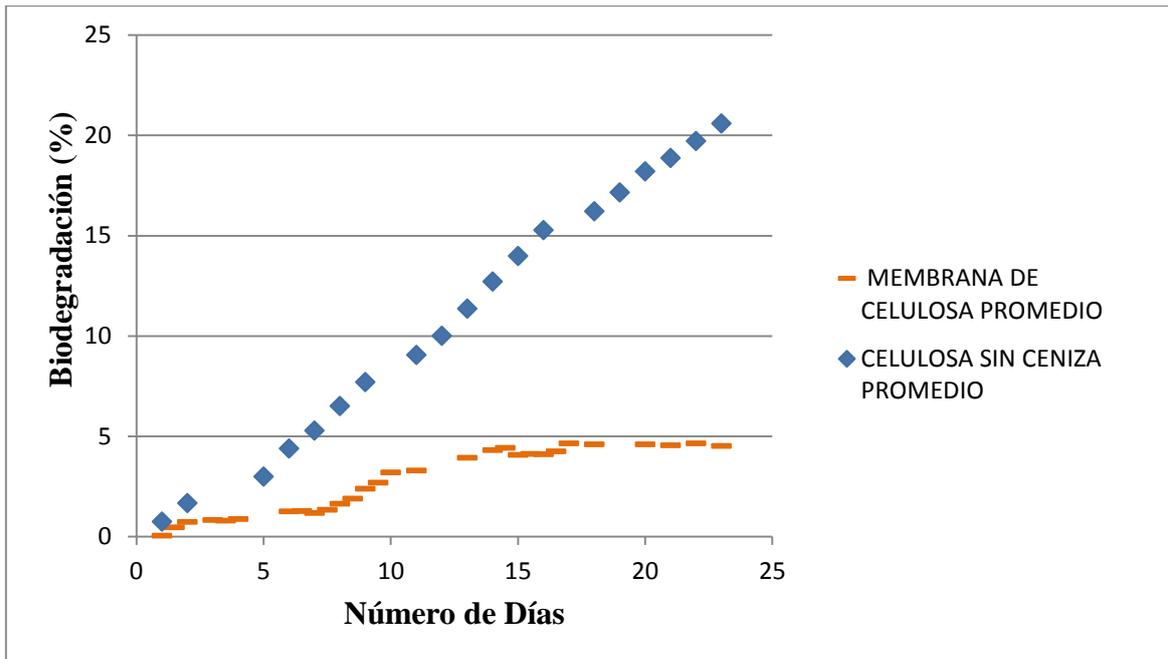


Figura 36: Porcentaje de biodegradación de Celulosa

Fuente: Elaboración propia

Durante el ensayo de biodegradación se mantuvo la humedad relativa del compost en 50%, en caso de que se observara que la muestra está perdiendo humedad, lo cual se ve reflejado en una menor emisión de CO₂, se procedió a agregarle agua destilada al biorreactor.

La Figura 37 muestra las cantidades de CO₂ acumulados durante los 92 días de ensayo a una temperatura de 25°C, se puede observar que la celulosa es la material que emite una cantidad ligeramente mayor de CO₂ que el bioplástico. Este resultado coincide con los resultados encontrados por Saraiva (2012) aunque no en la misma proporción, pues los resultados de Saraiva (2012) muestran una clara diferencia en la cantidad de CO₂ de la celulosa con respecto al resto de materiales, sin embargo esto podría deberse a que el bioplástico con el que trabaja es un film de mantillo hecho con un grado de Mater-Bi que mezcla bioplástico obtenidos tanto de materias primas procedentes de fuentes renovables como de fuentes fósiles (Mater-Bi, 2015). Por otro lado los resultados obtenidos por Barragán (2013) muestran una mayor similitud si se compara el Mirrel TM, uno de sus materiales experimentales evaluados, y el bioplástico elaborado en la presente investigación con la celulosa; pues ambos presentan emisiones de CO₂ tan altas como las celulosas. El Mirel TM es el nombre comercial del Polihidroxialcanoatos (PHA).

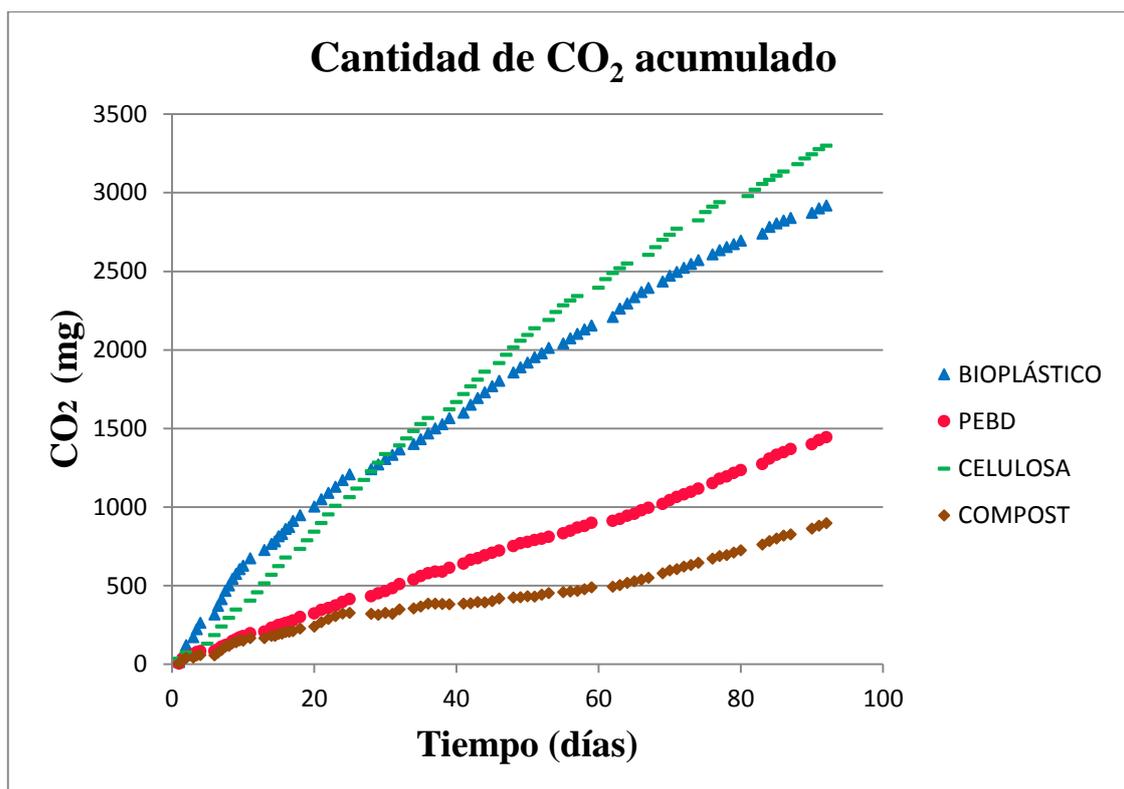


Figura 37: Cantidad de CO₂ generado por los materiales ensayados

Fuente: Elaboración propia

La Figura 38 muestra las curvas de biodegradación obtenidas con el ensayo, el mayor porcentaje lo tuvo el bioplástico con 64.21%, seguido muy de cerca por la celulosa con 63.51%, luego por el polietileno de baja densidad (PEBD) con 6.95% y finalmente por el blanco con 0.83%.

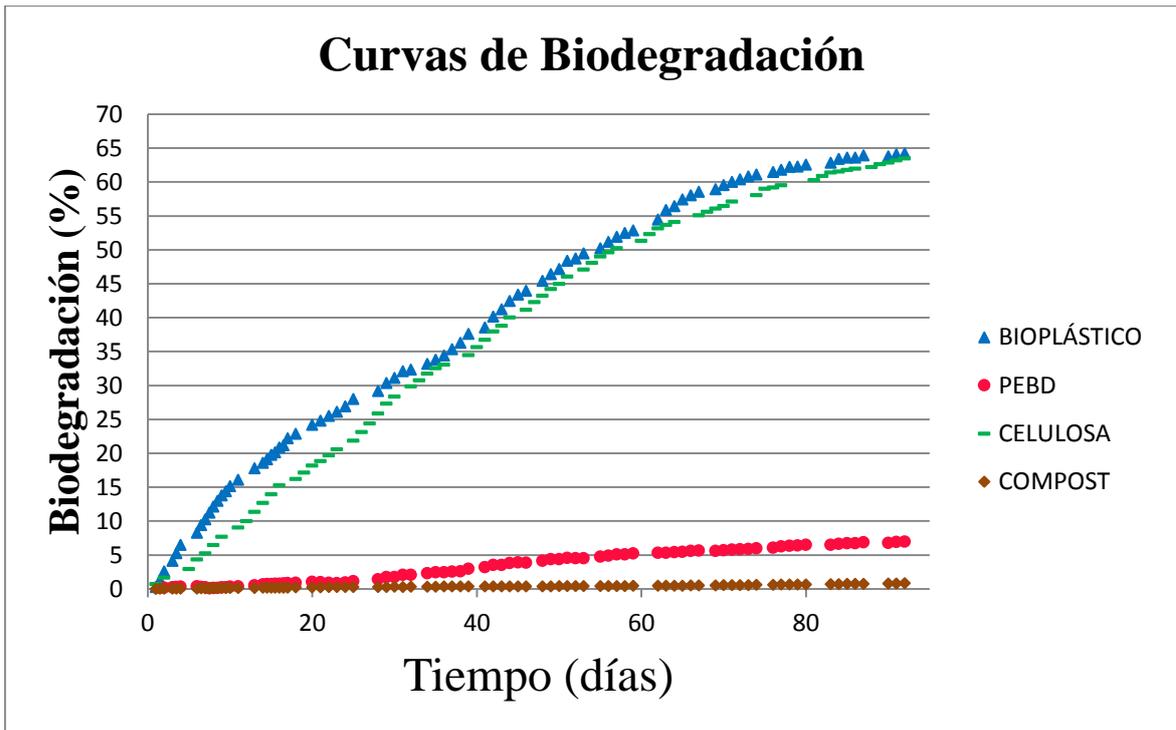


Figura 38: Porcentaje de biodegradación de los materiales ensayados.

Fuente: Elaboración propia

Si bien el porcentaje de biodegradación del bioplástico es ligeramente mayor al de la celulosa, no se observa una clara meseta en la curva de la celulosa, por lo que podría seguir degradándose y alcanzar un mayor porcentaje; como se observa en la investigación realizada por Barragán (2013) que a los 100 días encuentra una aparente meseta obteniendo también porcentajes de biodegradación del Mirel TM muy parecidos al de la celulosa (aproximadamente 16%), sin embargo pasado el tiempo la celulosa va ganando un mayor porcentaje de biodegradación y aunque la diferencia no es mucha al final de los 365 días la celulosa obtiene el mayor porcentaje de biodegradación. Saraiva (2012) obtiene un 0.7% en 74 días de evaluación, esto podría estar explicado por el material del bioplástico y por el medio de degradación; un factor importante a tomar en cuenta es la cantidad de materia orgánica del medio de degradación, pues mientras el suelo de la investigación de Barragán (2013) contiene 3.88% y el suelos utilizado por Saraiva (2012) contiene 1%, el compost utilizado en la presente investigación contiene 29.06% de materia orgánica. El compost propicia una mayor biodegradación en los materiales de estudio por lo que en general todas las muestras presentan una biodegradación mayor a las revisadas en el marco teórico que fueron evaluadas en muestras de suelo.

Se pesaron tres veces los envases al inicio y al final del ensayo, los resultados mostrados en el Cuadro 18 indican que la pérdida de peso de las distintas muestras está relacionada con los resultados obtenidos en el ensayo de biodegradación, sin embargo ésta relación no es lineal por lo que la diferencia entre los pesos perdidos de una muestra con respecto a otra no refleja los resultados del ensayo, esto podría deberse a la cantidad de agua presente en cada muestra al final del ensayo, al retirar las muestras se observó que algunas se encontraban con menor humedad que otras.

Cuadro 18: Peso perdido en las muestras ensayadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso perdido (g)
Blanco 1	577.2	554.2	23
Blanco 2	572.8	540.7	32.1
BLANCO PROMEDIO			27.55
Celulosa 1	582.5	541.4	41.1
Celulosa 2	576	527.7	48.3
CELULOSA PROMEDIO			44.7
PEBD 1	575.9	538.1	37.8
PEBD 2	575.9	543	32.9
PEBD PROMEDIO			35.35
Bioplástico 1	581.4	528.5	52.9
Bioplástico 2	574.9	516.6	58.3
BIOPLÁSTICO PROMEDIO			55.6

Fuente: Elaboración propia

El bioplástico presenta un mayor peso perdido en gramos con respecto al resto de materiales de ensayo, una mayor pérdida de peso indica un mayor porcentaje de biodegradación por lo que la relación entre éstas variables es directa, sin embargo si lo comparamos con el porcentaje de biodegradación observamos que la evaluación por peso perdido es un método muy inexacto para determinar que muestra presenta una mayor biodegradación, pues mientras que el porcentaje de biodegradación del bioplástico es más de 60 veces mayor al porcentaje de biodegradación del blanco; el peso perdido del bioplástico es poco menos del doble del peso perdido por la celulosa. Por tanto si bien

existe una relación entre el peso perdido y el porcentaje de biodegradación, esta no es lineal por lo que podría prestarse a confusiones en caso de obtener porcentajes similares.

La Figura 39 muestra el material de ensayo con el compost antes y la Figura 40 muestra el después de ingresar al equipo de baño María, se observó que el polietileno de baja densidad no sufre ningún cambio físico, mientras que la celulosa y el bioplástico dejan de ser apreciados en el primer mes de ensayo.



Figura 39: Aspecto físico de las muestras al inicio del ensayo: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. Polietileno de baja densidad.

Fuente: Elaboración propia

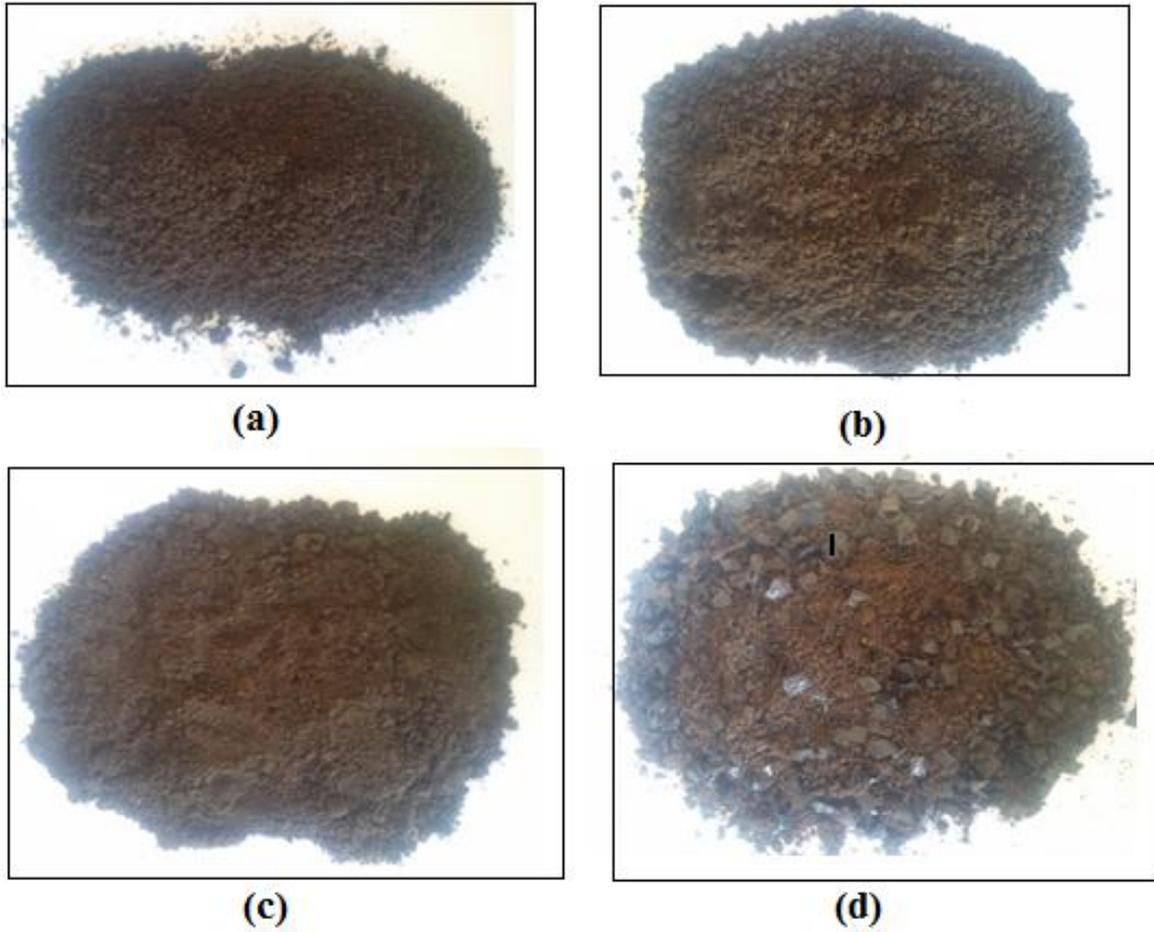


Figura 40: Aspecto físico de las muestras al final del ensayo: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. Polietileno de baja densidad.

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

- Se logró elaborar bioplásticos a nivel de laboratorio a partir de residuos de *Solanum tuberosum ssp. tuberosum* var. 'Yungay' usados para freír así como evaluar su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012.
- La metodología para extraer almidón que mayor cantidad de almidón obtiene, trabajó a temperatura ambiente y 3% de concentración p/v de MB. La eficiencia obtenida en el proceso de extracción de almidón es de 35.06% con respecto al residuo sólido. Dicho almidón contiene 26.21% de amilosa y 73.79% de amilopectina, y el espectro infrarrojo arroja un 89.8% de similitud con el espectro del almidón soluble.
- La metodología para elaborar el bioplástico más resistente está compuesto por 5 ml de glicerina, 3 ml de ácido acético, 10 g de almidón, 60 ml de agua destilada y se elabora a 150°C. El comportamiento mecánico del bioplástico se vio más afectado por la variación de ácido acético que por la variación de glicerol. Dicho material alcanza un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99% en el ensayo de tracción; además el ensayo de espectrofotometría mostraron la formación de enlaces característicos de los bioplásticos.
- La biodegradabilidad aeróbica tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012 indica que el bioplástico elaborado presenta un alto nivel de biodegradación alcanzando un valor de 64.21% en 92 días.

VI. RECOMENDACIONES

- El proceso de pelado utilizó grupos de 2 Kg de papa debido a que la peladora que se utilizó en la presente investigación fue una peladora de descarte donada por el Comedor Universitario de la UNALM, a pesar de que se mandó a reparar la peladora, ésta solo lograba trabajar con el 20% de su capacidad máxima. Se recomienda realizar el proceso de extracción del almidón a partir de los residuos obtenidos directamente de una empresa dedicada al comercio de papas para freír, catering o procesamiento de papas en las que utilicen peladoras industriales de baja capacidad.
- Las características del gel de almidón dependen, entre otros factores, del tamaño, de la estructura morfológica de los granos, de la relación amilosa/amilopectina, de la temperatura y del tiempo de cocción (Tester y Morrison, y Leloup y col. citados por Martínez, 2009). Se recomienda evaluar la temperatura y el tiempo de cocción en el procedimiento de elaboración del bioplástico a fin de determinar los valores o rangos idóneos para lograr mejorar las características del bioplástico.
- Si bien el bioplástico elaborado presenta un alto porcentaje de biodegradación, sus propiedades mecánicas son bajas con respecto a otras investigaciones, estas pueden ser mejoradas dependiendo del uso que se le quiera dar al bioplástico. Los films pueden ser utilizados para la elaboración de bioplástico que reemplacen a los polietilenos de baja densidad cuya vida útil es de sólo algunos minutos, por ejemplo bolsas para recoger excretas de mascotas.

- Se recomienda utilizar un equipo extrusor para la elaboración de los films de bioplástico, de ésta forma se garantiza el grosor uniforme del film, obteniendo evaluaciones más precisas de sus propiedades mecánicas.
- Se recomienda realizar un análisis microbiológico en el compost a utilizar para identificar los microorganismos que actúan en el proceso de biodegradación.
- El ensayo de biodegradación se realizó con dos biorreactores por cada material como se realizó en los antecedentes revisados, sin embargo la falta de flujómetros para cada salida de aire podrían reducir la precisión del ensayo. Se recomienda realizar el ensayo con tres biorreactores por cada material para manejar mejor la variabilidad de flujo que ingrese a cada biorreactor.
- Si bien en los resultados obtenidos en el ensayo de biodegradación se observa que las curvas comienzan a estabilizarse en lo que sería la meseta de las curvas; se recomienda evaluar los materiales a ensayar por un período mayor a tres meses para verificar si efectivamente ésa es la meseta de las curvas de biodegradación.
- Al realizar la evaluación en una empresa ya formada, con datos reales de cantidades procesadas de papa se recomendaría incluir un análisis de costos en el proceso de alguna de las etapas que se elijan investigar para así poder evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). 2013. Plásticos: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2012).
2. Alvis, A.; Rada-Mendoza, M.; V'wlwz, C.A. y Villada, H.S. 2008. Análisis físico químico y morfológico de almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. CO. Información Tecnológica. 19(1):19-28.
3. Aristizábal, J.; Sánchez, T. 2007. Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Roma, IT. 79 p. (Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO no. 163).
4. Arroyo, E; Alarcón, H. 2013. Obtención, caracterización y análisis comparativo de polímeros biodegradables a partir de yuca, papa y maíz. Universidad de Lima. Lima, PE. 59 p.
5. Barragán, DJ. 2013. Biodegradability in soil determination and fate of some emerging biodegradable materials for agricultural mulching (en línea). PhD. Thesis. Lleida, ES, University of Lleida. 158 p. Revisado 9 jun. 2015. Disponible en <http://www.tdx.cat/handle/10803/107948>

6. Barrios Mindiola, R; Tejada Benítez, L; Tejada Tovar, C.; Tejada Benítez, L.; Tarón Dunoyer, A.; Villabona Ortiz, A. (2007). Aprovechamiento del ñame espino (*dioscorea rotundata*) en la producción de bioplástico. Cartagena, CO. 69, 70-71 p.
7. Bastos Vega, JA. 2009. Diseño y construcción de un prototipo de una máquina peladora de papas. Tesis Ing. Mec. Bucaramanga, CO. Universidad Industrial de Santander. 1, 11, 29 p.
8. Betancur Ancona, D; Chel Guerrero, L; Hernández Medina, M; Torruco Uco, JG. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México (en línea). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 28 (3). Consultado 30 abr 2014. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300031
9. Biorenewable Resources and Technology Department. 2011. Biorenewables Education Laboratory: Bioplastics (en línea). Iowa State University of Science and Technology. Iowa, EEUU. Consultado el 30 mar. 2014. Disponible en <http://issuu.com/beiisu/docs/labhandout-bioplasticsstudent7.8/19>
10. Canónico Franco, M. 2003. Agregación en gránulos de almidón (en línea). Tesis Dr. Ing. de Materiales. Querétaro, MX. Universidad Autónoma de Querétaro. 81 p. Consultado 5 set. 2015. Disponible en <http://qro.cinvestav.mx/~aherrera/tesisEstudiantes/tesisMarciaCanonico.pdf>
11. Castillo, A; Iñiguez, A. 2011. Obtención del ácido láctico a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum* L), como materia prima para la fabricación de material descartable biodegradable. Tesis Ing. Amb. Cuenca, EC. Universidad Politécnica Salesiana: Sede Cuenca. 61-62 p.

12. CEMTRAR. 2016. Memoria descriptiva de la planta de compostaje (en línea). Lima, PE. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/cemtrar/html/compostaje.htm>
13. Chávez Rodríguez, L. 2012. Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis Ing. Amb. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. 24 p.
14. CGITT (Servicio de Gestión de la Investigación y Transferencia de Tecnología). Sf. Universidad de Alicante. 2p
15. CIT (Centro de Información Técnica). 2009. Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU. Plastivida, AR. 8 p. (Boletín Técnico Informativo no 25).
16. Congreso ALAP (Asociación Latinoamericana de la papa) (24, 2010, Cuzco, PE). 2010. El sector papa en la región andina: situación actual y desafíos. Ed. A. Devaux. Cuzco, PE. 41 P.
17. Congreso ALAP (Asociación Latinoamericana de la Papa). (26, 2014, Bogotá, CO). 2014. Cambios y perspectivas del comercio de la papa en el Perú (en línea). Ed. M. Ordinola. Lima, PE. Consultado 5 oct. 2015. Audio. Disponible en <https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/2014/11/27/cambios-y-perspectivas-del-comercio-de-la-papa-en-el-per/>
18. Conley, R.T. 1972. Infrared spectroscopy. Trad J. Calderón y R. Avendaño. 2 ed. Boston, Massachusetts, US. Allyn and Bacon. 346 p.
19. COSELA S.L., ES. 2015. Filtros de papel y membranas (en línea). Sevilla, ES. Consultado 20 ago. 2015. Disponible en <http://www.cosela.es/imagenes/galeria/0.44290400%201317637744.pdf>

20. Corrales, C.M.; Meneses, J. y Valencia, M. 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca. Revista EIA no. 8: 57-67.
21. Departamento de Aceites y Vinos. S.f. Analítica del vino (en línea). Colegio La Inmaculada. Consultado 21 dic. 2015. Disponible en <http://www.camponaraya.concepcionistas.es/system/files/14%20ANAL%C3%8DTICA%20DEL%20VINO.pdf>
22. Ecoembes (Ecoembalajes España). 2009. Proyecto de Análisis de Bioplástico: Resumen Ejecutivo. 7 p.
23. El Comercio. 2015. Perú sigue siendo el mayor productor de papa en América Latina (en línea). El Comercio, Lima, PE, jun. 1:1. Disponible en <http://elcomercio.pe/peru/pais/peru-sigue-siendo-mayor-productor-papa-america-latina-noticia-1815534>
24. Estrada Mora, H. 2012. Bioplástico, plásticos compostables y oxodegradables: la realidad sobre la biodegradabilidad de los envases plásticos. Informe temático N° 03/2012-2013. Lima, PE. 27 p.
25. Fernández Orantes, J. 1995. Proceso de tratamiento de un producto alimenticio pelado para su conservación envasado. Granada, ES. 5 p.
26. Fernando de Fuentes, A; Arraiza Bermúdez, M.P.; López Álvarez, J.V.2008. Informe Sobre Biodegradabilidad Aeróbica de Envases Plásticos Bajo Condiciones de Compostaje. Cátedra Ecoembes de Medio Ambiente. 3-4; 8-32 p
27. Flores Cruz, D. 2013. Procesamiento de productos agropecuarios andinos: Procesamiento de tubérculos, raíces y frutales andinos (en línea). Apurímac, PE. Consultado 9 abr. 2014. Disponible en <http://www.slideshare.net/IvanHinojosa1/10-proc-papa>

28. García Salas, S.; Ordaz Contreras, L.; Orozco Álvarez, C.; Vázquez Gurrola, D. 2007. Laboratorio de Biorreactores Manual de Prácticas. Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. 13 p.
29. Glynn Henry, J.; W. Heinke, G. 1999. Ingeniería Ambiental (en línea). México. Consultado el 30 oct. 2013. Disponible en <http://books.google.com.pe/books?id=ToQmAKnPpzIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
30. Gómez, R; Wong, D. S.f. Procesamientos de la papa. Agroecológica Indoagro 1(5).
31. Guzmán, A. 2011. Diseño y Construcción de un Biodigestor Casero. Tec-Magazine. 1 (3): 31-43
32. Herrera, L. s. f. Procesos de neutralización de residuos industriales líquidos (en línea). Universidad de Chile. Santiago de Chile, CL. Consultado el 19 dic. 2015. Disponible en <http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/iq651/Apunte1/Fisicoqapu01.htm>
33. Horna Zapata, R. 2011. Protocolo para el tratamiento ambiental del metabisulfito de sodio después de la cosecha de camarón (en línea). Consultado el 22 dic. 2015. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/cosecha-de-camaron-t3375/800-p0.htm>
34. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2014. Producción de papa creció en 45% (en línea). Lima, PE. no.082:1-3. Consultado el 22 dic. 2015. Disponible en: <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-082-2014-inei.pdf>
35. Jambeck, J. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 347 (6223): 768-771.

36. Kavanaugh, C. 2002. Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos (en línea). Conciencia Tecnológica no.19:0. Consultado 7 feb. 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/944/94401906.pdf>
37. Maldonado, L.; Suárez, V. y Thiele, G. 2008. Estudio de la adopción de variedades de papa en zonas pobres del Perú. CIP (Centro Internacional de la Papa) no. 2008-2:1-64.
38. Martínez Gallegos, J.F. 2005. Utilización de α -amilasas en la formulación de detergentes industriales. Tesis Dr. Ing. Química. Granada, ES. Universidad de Granada. 306 p.
39. McGrance, S.J.; Cornell, H.J. y Rix, C.J. 1998. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. Starch/Staerke 50(4):158-163.
40. Medina Tinoco, R. 2005. Plásticos biodegradables. ¿Cómo Ves? no 79: 22-25
41. Melian Subiabre, D.E. 2010. Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales. Tesis Licenciado en Ciencia de los alimentos. Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile. 84 p.
42. Meré Marcos, J. 2009. Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Madrid, ES. Universidad Carlos III de Madrid. 176 p.
43. MINAG (Ministerio de Medio Ambiente, PE); OEE (Oficina de estudios económicos y estadísticos, PE). 2011. La papa nuestra de cada día. Lima, PE. 12p.

44. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2009. Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público: DECRETO SUPREMO N° 009-2009-MINAM. (En línea). El Peruano no 395914. Lima, Perú. Consultado 29 ago 2015. Disponible en <http://ecoficiencia.minam.gob.pe/public/docs/19.pdf>
45. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2010. Modifican artículos del Decreto Supremo N° 009-2009-MINAM -Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público: DECRETO SUPREMO N° 011-2010-MINAM. (En línea). El Peruano No 424401. Lima, Perú. Consultado 31 ago 2015. Disponible en <http://ecoficiencia.minam.gob.pe/public/docs/20.pdf>
46. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2011. Establecen porcentajes de material reciclado en plásticos, papeles y cartones a ser usados por las entidades del Sector Público: RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 021-2011-MINAM. (En línea). El Peruano no 435474. Lima, Perú. Consultado 1 set 2015. Disponible en <http://ecoficiencia.minam.gob.pe/public/docs/21.pdf>
47. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2011. Establecen disposiciones para la implementación de lo dispuesto mediante R.M. N° 021-2011-MINAM: RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 083-2011-MINAM. (En línea). El Peruano no 441151. Lima, Perú. Consultado 1 set 2015. Disponible en <http://ecoficiencia.minam.gob.pe/public/docs/23.pdf>
48. MINAM (Ministerio de Medio Ambiente, PE). 2012. Cuarto informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales: Gestión 2010–2011. Lima, PE. 12 p.

49. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2014. Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre papel, neumáticos para vehículos, agua potable, algarrobina, bisutería, madera y otros: Resolución comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias N° 146-2014/CNB-INDECOPI. (En línea). El Peruano no 544697. Lima, Perú. Consultado 2 set 2015. Disponible en <http://www.munizlaw.com/normas/2015/Enero/14-15/R.%20N%C2%BA%20146-2014-CNB-INDECOPI.pdf>
50. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2015. Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre Envases y Embalajes, y Granos Andinos: Resolución comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias N° 58-2015/CNB-INDECOPI. El Peruano no 553222. Lima, Perú. Consultado 2 set 2015. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Contdoc03_2011.nsf/2d69b0b0b426716405257e22000cbc19/36c7c4d390e61eb405257e500043da09/\\$FILE/NL20150524.PDF](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Contdoc03_2011.nsf/2d69b0b0b426716405257e22000cbc19/36c7c4d390e61eb405257e500043da09/$FILE/NL20150524.PDF)
51. MIT (Massachusetts Institute of Technology). 2012. Bioplastics (en línea). Massachusetts, US. Consultado 14 abr. 2014. (Video). Disponible en <http://video.mit.edu/watch/bioplastics-10937/>
52. MVCS (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento). 2015. Decreto Supremo N° 001-2015-Vivienda. Se modifican diversos artículos del D.S. N° 021-2009 Vivienda, que aprobó los Valores máximos admisibles (VMA) de las descargas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su reglamento, aprobado mediante D.S. N°003-2011 Vivienda y modificado por el D.S. N°010-2012 Vivienda (en línea). Lima, PE. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/DS-001-2015-VIVIENDA.pdf>

53. Pall Technologies. AR. 2015. GN-6 MetriceL MCE membrane disc filters (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado 20 ago. 2015. Disponible en <http://www.pall.com/main/laboratory/product.page?lid=gri78lch>
54. Pazmiño Garcés, L.T. 2010. Aplicación de una tecnología de acondicionamiento para la elaboración de papa prefrita congelada tipo bastón. Tesis Ing. en alimentos. Ambato, EC. Universidad Técnica de Ambato. 210 p.
55. Quevedo Beltran, M. A. 2011. Evaluación de la biodegradación de las bolsas biodegradables del supermercado XY usando pilas de compostaje industrial. Tesis Ing. Amb.Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. 108 p.
56. Quimnet. 2014. Metabisulfito de sodio en tratamiento de aguas: Ósmosis inversa. Consultado 20 dic. 2015. Disponible en <http://www.quiminet.com/articulos/metabisulfito-de-sodio-en-tratamiento-de-aguas-4068642.htm>
57. Read, D. 2008. Plastics from potatoes: Practical demonstration (en línea). University of Southampton, School of Chemistry. Southampton, UK. Consultado 23 abr. 2014. (Video). Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=VUkyW1Pir9g>
58. REMAR (Red Energía y Medio Ambiente, ES). 2011. Bioplástico: Certificación y normativa. 5 p. (Guía práctica no. 2).
59. Ruiz Avilés, G. 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca. Ingeniería y Ciencia 2 (4): 5-28

60. Saraiva, A.F. 2012. Estudo da biodegradabilidade de bioplástico numa cultura de ciclo curto – Melão (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* N.). Tesis Mag. Ing. Amb. Lisboa, PT. Universidad Técnica de Lisboa. 95 p.
61. Scott J., G. 2011. Tendencias cruzadas: El consumo y utilización de la papa en América Latina entre 1961 y 2007 y sus implicancias para la industria. *Centrum*. Vol 16. 3, 18p.
62. Smith, C. R.; Rodríguez, D. s. f. Reducción de acidez volátil en vinos por medio de adsorción selectiva de ácido acético de un permeato separado del vino por Osmosis Inversa (en línea). Clifornia, US. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://www.vinovation.com/pdf/Spanish.pdf>
63. Sweeney, B. 2008. Make Your Own Bioplastic (en línea). Revisado 1 abr 2014. Disponible en <http://green-plastics.net/posts/10/video-brandon121233/>
64. Torres, F.G; Amaya, E.; Díaz, D.A.; Torres, C.; Troncoso, O.P. 2011. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules* 48: 603–606
65. Torres Martínez, K. 2007. Optimización de la etapa de hidrólisis ácida en el proceso de fosfatación de almidón por extrusión para la encapsulación de aceite esencial de naranja (en línea). Tesis Licenciada en Química de Alimentos. Hidalgo, MX. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 90 p. Revisado 16 set. 2015. Disponible en <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Optimizacion%20de%20la%20etapa%20de%20hidrolisis%20acida.pdf>

66. Tovar Benítez, T. 2008. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos del aislamiento (en línea). Tesis Licenciado en Química de los alimentos. Hidalgo, MX. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 68 p. Consultado el 4 Set. 2015. Disponible en <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/508/1/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf>
67. Vaclavick, V.A. 1998. Essentials of Food Science (en línea). Trad. Acribia. 1 ed. New York, US. Kluwer Academic/Plenum Publisher. p. 45-55. Consultado 14 may. 2015. Disponible en http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Vaclavik/_portada.pdf
68. ZOGBI, Distribuidora Comercial. MX. 2015. Filtración (en línea). México D.F., MX. Consultado 25 ago. 2015. Disponible en <http://www.dczogbi.com/filtracion.html>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN



1. Lavado y pesado



2. Pelado de la papa



3. Enjuague de la toca



4. Pesado de la malla.



5. Decantación 1. Eliminación del sobrenadante



6. Filtración. Decantación 2



7. Secado



8. Acondicionamiento y almacenamiento.

ANEXO 2: PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



1. Medir la cantidad necesaria de agua, almidón, ácido acético y glicerina.



2. En un vaso agregar el almidón, la glicerina y el ácido acético, mezclar hasta tener una solución homogénea.



3. Colocar el vaso sobre el agitador térmico a la temperatura y revoluciones indicadas.



4. Untar una placa de vidrio con aceite.



5. Colocar la mezcla del bioplástico sobre las placas.



6. Colocar la placa al horno y luego de 24 horas retirarlo de la placa

ANEXO 3: RESULTADOS DEL ENSAYO 1 – EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

MUESTRA		ALMIDÓN (ml)	MUESTRA		ALMIDÓN (ml)
m1.1	Ap	0.12	m5.1	Ap	0.17
	Am	0.80		Am	1.10
m1.2	Ap	0.12	m5.2	Ap	0.13
	Am	0.80		Am	0.80
m2.1	Ap	0.15	m6.1	Ap	0.30
	Am	1.00		Am	1.80
m2.2	Ap	0.18	m6.2	Ap	0.27
	Am	1.00		Am	1.40
m3.1	Ap	0.15	m7.1	Ap	0.25
	Am	1.00		Am	1.40
m3.2	Ap	0.20	m7.2	Ap	0.20
	Am	1.00		Am	1.20
m4.1	Ap	0.25	m8.1	Ap	0.27
	Am	1.20		Am	1.30
m4.2	Ap	0.23	m8.2	Ap	0.10
	Am	1.00		Am	0.80

El anexo 2 muestra los resultados del promedio de las 6 alícuotas (Ap) y la alícuota obtenidas por la mezcla de la decantación del almidón de las 6 alícuotas (Am), esto para apreciar mejor la variación en cada muestra.

ANEXO 4: RESULTADOS ENSAYO 2 – EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

MUESTRA	PESO DE PAPA(Kg)	PESO DE RESIDUO SÓLIDO (g)	PESO DE ALMIDÓN (g)	EFICIENCIA (%)
m6.1	2.02	80	36.23	45.29
R1 (m6.1)	2.02	50	13.15	26.3
R2 (m6.1)	2.02	78	26.2	33.59
m6.2	2.02	90	35.16	39.07
R1 (m6.2)	2.02	45	10.34	22.98
R2 (m6.2)	2.02	60	19.6	32.67
m7.1	2.02	60	13.43	22.38
R1 (m7.1)	2.00	35	6.56	18.74
R2 (m7.1)	2.04	35	10.46	29.89
m7.2	2.05	40	7.45	18.63
R1 (m7.2)	2.01	35	6.19	17.69
R2 (m7.2)	2.03	45	12.05	26.78

ANEXO 5: ENSAYO DE ESPECTROFOTOMETRÍA POR INFRARROJO EN EL ALMIDÓN

	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

INFORME DE ENSAYO N° 371-2015

Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Atención : Srta. Paola Nathali Meza Ramos
Dirección : Av. La Molina S/N – La Molina
Referencia USAQ : 300-01/02
Muestra : ALMIDÓN/BIOPOLIMERO DE ALMIDÓN
Cotización : 353-2015/USAQ-FQIQ
Fecha de Recepción : 05/10/2015
Fecha de Emisión : 12/10/2015

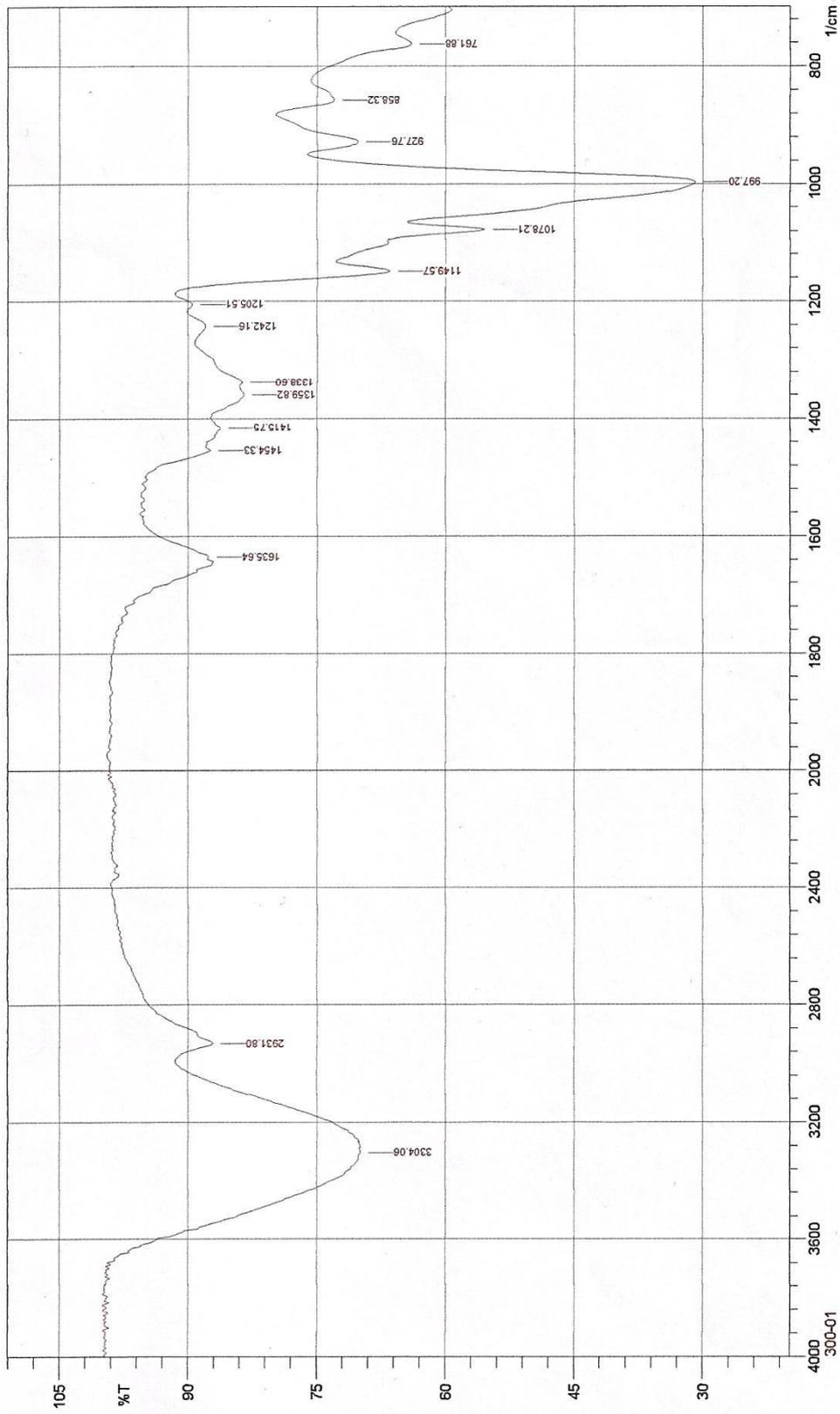
RESULTADO DE ANALISIS DE: ESPECTROFOTOMETRIA INFRARROJA

Código USAQ.	Código Cliente	Observaciones
300-01	MUESTRA ALMIDÓN	Del análisis FT-IR se observa que el espectro de la muestra presenta los siguientes picos: (cm ⁻¹) 761.88 858.32 927.76 997.20 1078.21 1149.57 1205.51 1242.16 1338.60 1359.82 1415.75 1454.33 1635.64 2931.80 3304.06 El espectro de la muestra es similar al espectro de SOLUBLE STARCH en 89.80% de probabilidad según la biblioteca espectral <ul style="list-style-type: none"> • 165 – Irs ATR Reagent2

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-371-2015 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (Página 1 de 2)

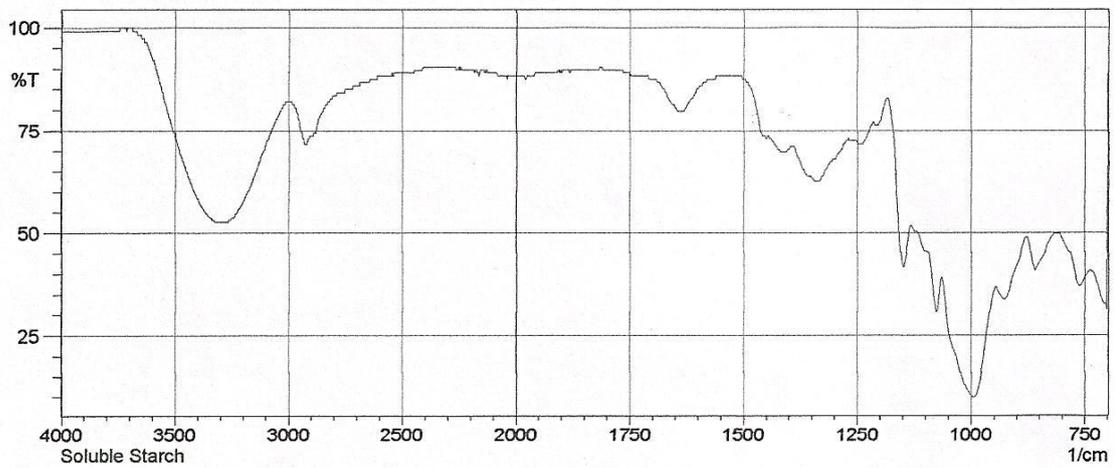
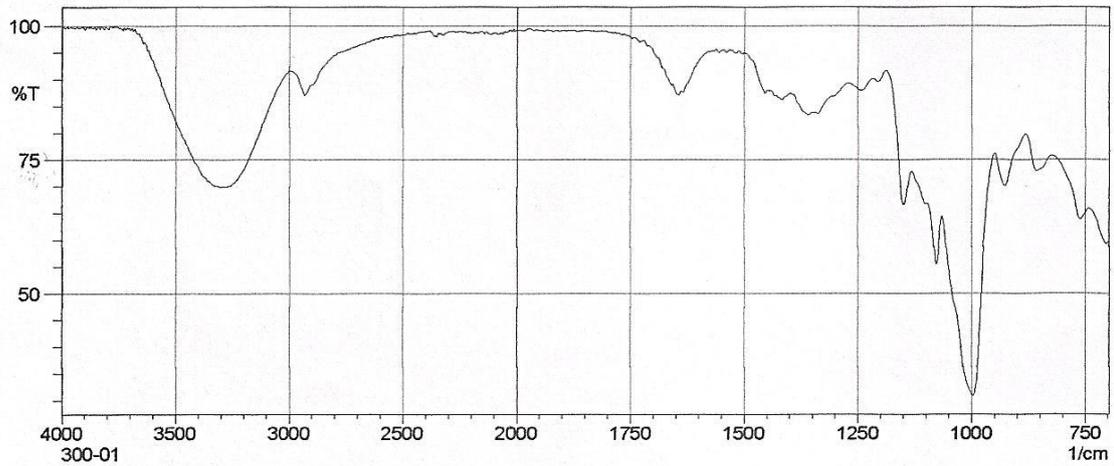

 P. 114



Date/Time: 06/10/2015 12:59:12 p.m.
User: USUARIO

No. of Scans;
Resolution;
Apodization;

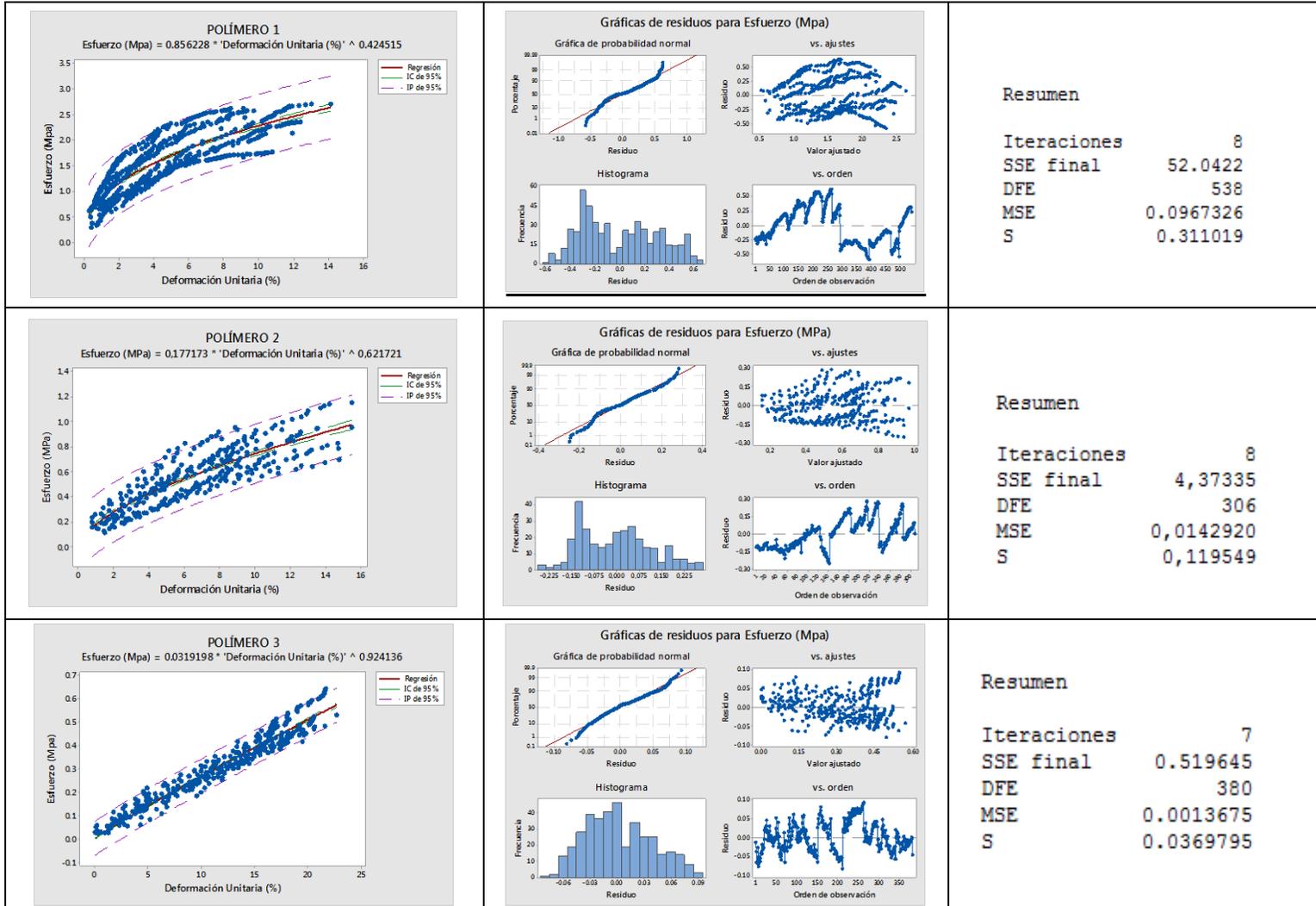
Comment:
300-01

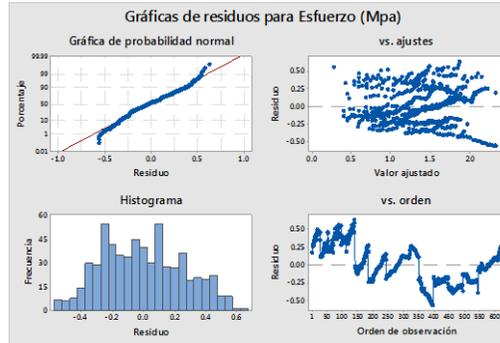
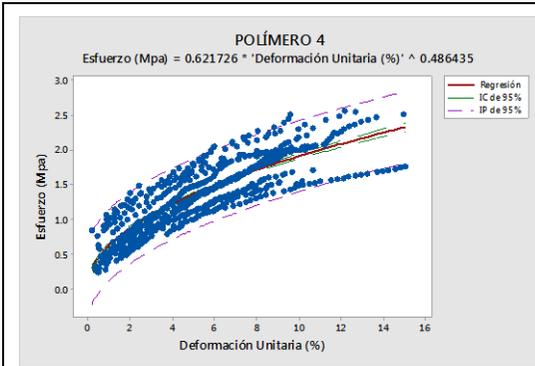


	Score	Library	Note found / Title
1	898	165 - IRs ATR Reagent2	165; DESCRIPTION= Soluble Starch

Esta última imagen muestra la comparación entre el espectro de la muestra de almidón (300-01) y el espectro correspondiente de la base de datos de espectros (Soluble Starch). En base a esta comparación se da como resultados una similitud de 89.8%.

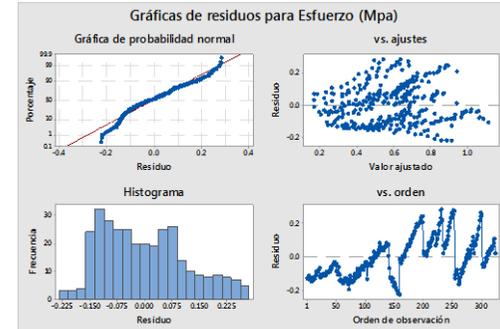
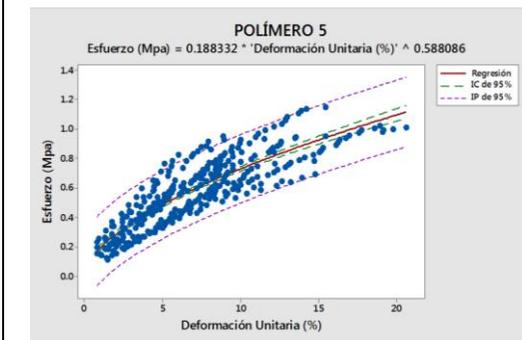
ANEXO 6: ANÁLISIS ESTADÍSTICO





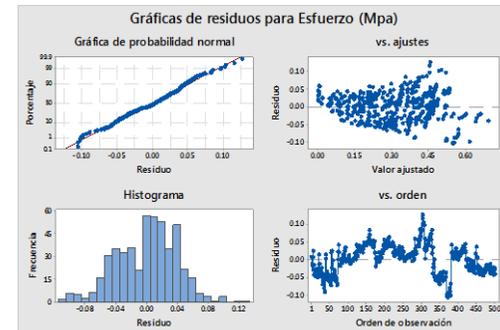
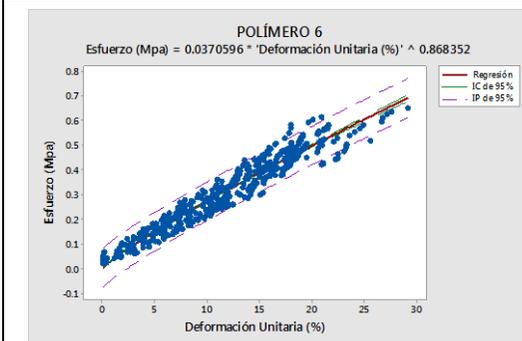
Resumen

Iteraciones	8
SSE final	42.0536
DFE	621
MSE	0.0677192
S	0.260229



Resumen

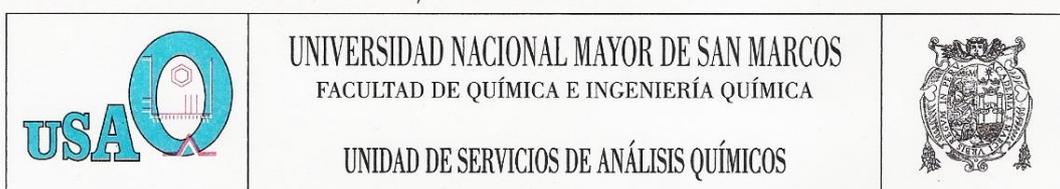
Iteraciones	9
SSE final	4.48016
DFE	322
MSE	0.0139135
S	0.117956



Resumen

Iteraciones	7
SSE final	0.796868
DFE	500
MSE	0.0015937
S	0.0399216

ANEXO 7: ENSAYO DE ESPECTROFOTOMETRÍA POR INFRARROJO EN EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN



RESULTADO DE ANALISIS DE: ESPECTROFOTOMETRIA INFRARROJA

Código USAQ.	Código Cliente	Observaciones
300-02	MUESTRA BIOPOLIMERO DE ALMIDÓN	<p>Del análisis FT-IR se observa que el espectro de la muestra presenta los siguientes picos: (cm⁻¹)</p> <p>850.61 923.90 1018.41 1078.21 1105.21 1151.50 1207.44 1238.30 1330.88 1415.75 1456.26 1649.14 1745.58 2887.44 2931.80 3296.35</p> <p>El espectro de la muestra es similar al espectro de SOLUBLE STARCH en 85.10% de probabilidad según la biblioteca espectral</p> <ul style="list-style-type: none"> • 165 – Irs ATR Reagent2

Muestra Proporcionada por el Cliente.

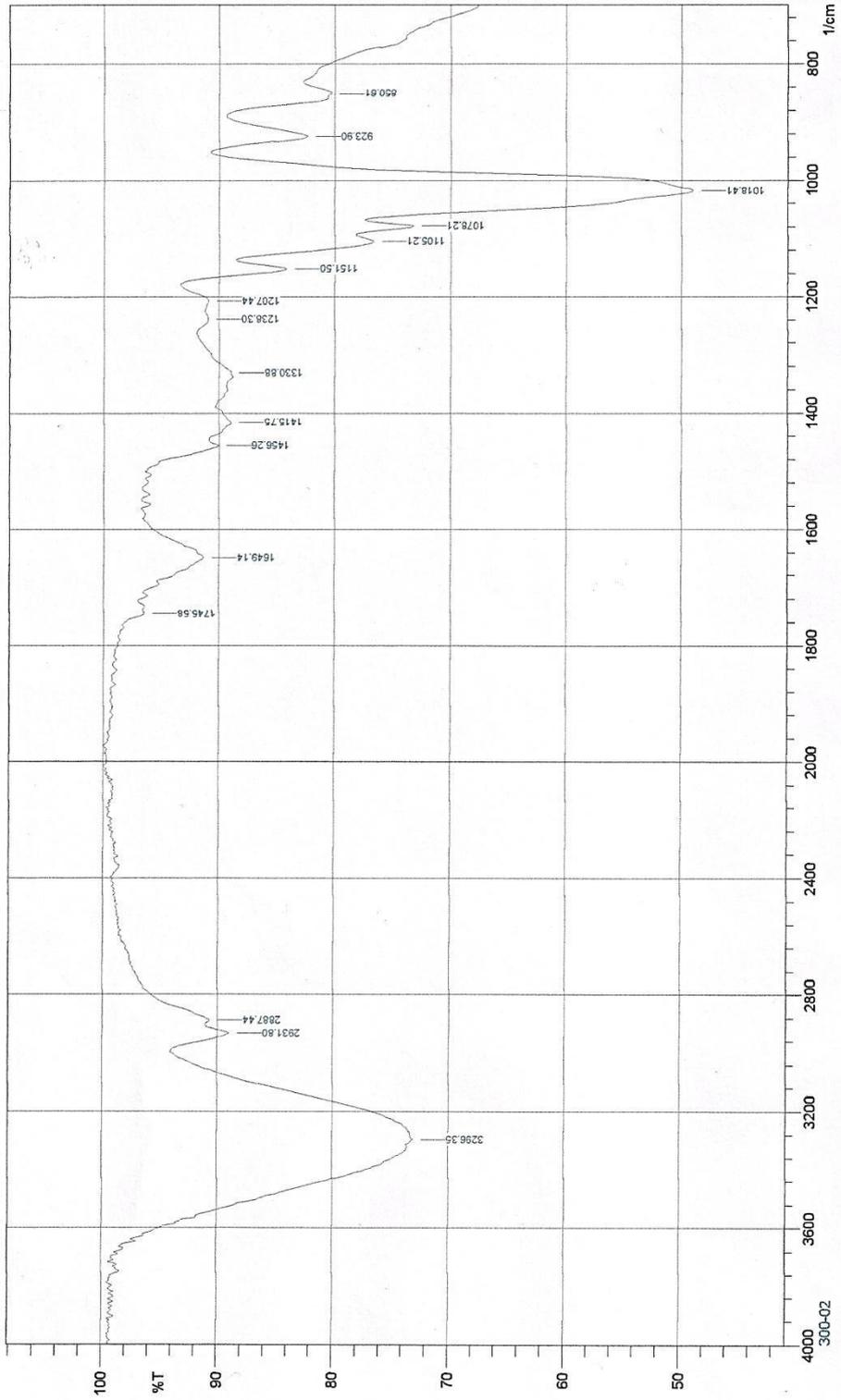
Método: USAQ-ME-10 DETERMINACION DE COMPUESTOS POR FT-IR


 Quím. María Angélica Rodríguez Best
 Directora de la USAQ
 CQP: 597

Nota: El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.

Observ.: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendarios de entregado el Informe de Ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

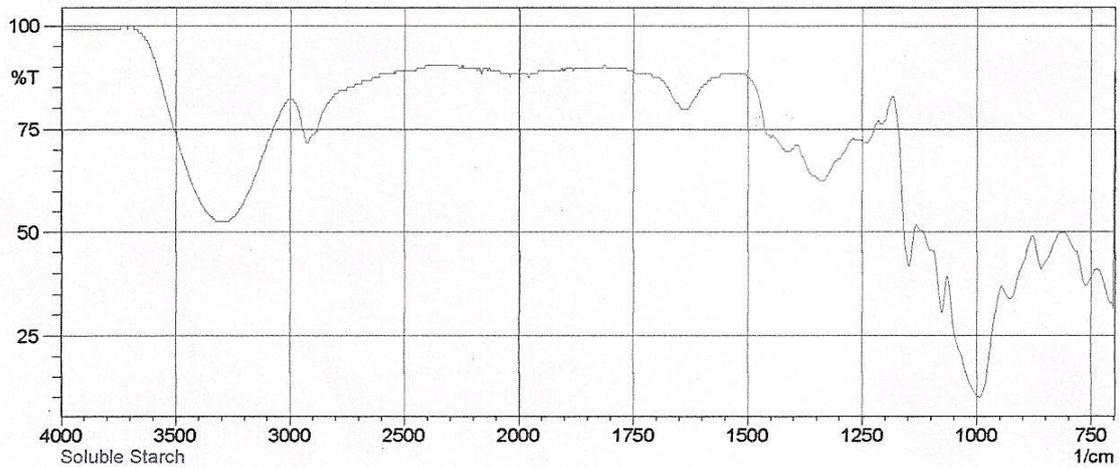
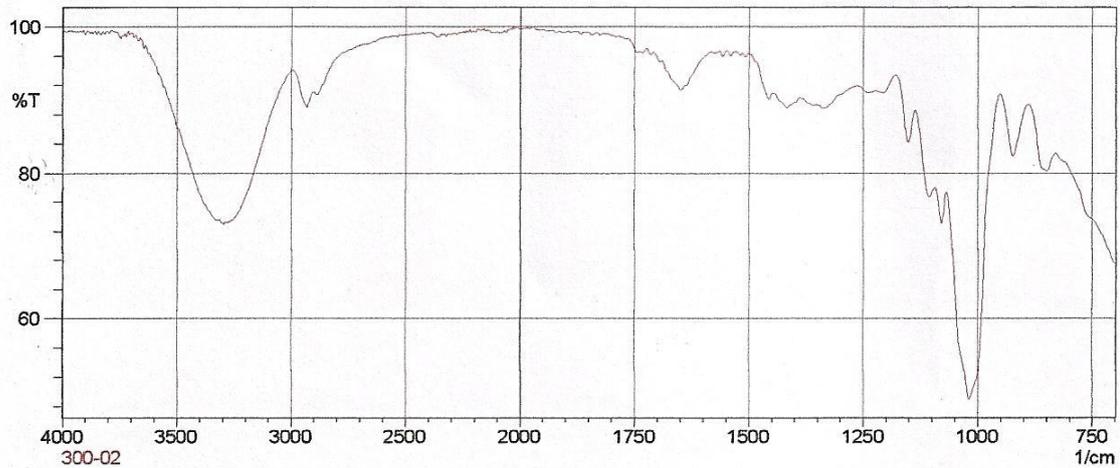
IE-371-2015 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (Página 2 de 2)



Date/Time; 06/10/2015 01:07:15 p.m.
User; USUARIO

No. of Scans;
Resolution;
Apodization;

Comment;
300-02



	Score	Library	Note found / Title
1	851	165 - IRs ATR Reagent2	165; DESCRIPTION= Soluble Starch

La imagen muestra el comparativo del espectro del bioplástico del almidón (300-02) con el espectro de la base de datos (Soluble Starch), cabe resaltar que no se encontró el espectro del polímero de almidón por lo que la comparación se hizo con el “almidón soluble”, por ende el porcentaje de similitud es menor (85.10%).

ANEXO 8: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

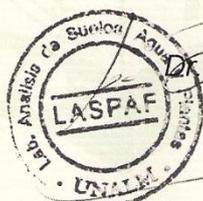


INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : PAOLA MEZA RAMOS
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : COMPOST
REFERENCIA : H.R. 49966
FACTURA : 28918
FECHA : 09/06/15

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
317		7.02	3.49	29.06	1.28	2.21	0.29

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
317		4.79	1.09	40.77	0.16



Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

ANEXO 9: ANÁLISIS CANTIDAD DE CARBONO EN MUESTRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS ESPECIAL

CARBONO TOTAL DETERMINADO CON ANALIZADOR DE C (SHIMADZU TOC-L)

SOLICITANTE : PAOLA MEZA RAMOS

MUESTRA DE : PAPEL FILTRO DE CELULOSA Y BIOPOLÍMERO DE ALMIDÓN

PROCEDENCIA: LIMA

REFERENCIA : H.R.: 50116

FACTURA : 28982

FECHA : 15/06/2015

Código de muestra	Código de campo	% C total
2329	Papel filtro	26.60
2330	Biopolímero	34.36



Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio de Microbiología

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

(*) Análisis en filtro de membrana de celulosa de la marca Pall realizados con el equipo Shimadzu TOC-L



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : PAOLA MEZA RAMOS
PROCEDENCIA : ESTADOS UNIDOS
MUESTRA DE : CELULOSA SIN CENIZA
REFERENCIA : H.R. 52101
FACTURA : 34093
FECHA : 16/11/15

Nº LAB	CLAVES	C Total %
4753		44.72



[Signature]
Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

(*) Análisis en filtro de papel celulosa sin ceniza de la marca Whatman realizados con el equipo Shimadzu TOC-L



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : PAOLA NATHALI MEZA RAMOS
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA/ CEMTRAR
MUESTRA DE : COMPOST
REFERENCIA : H.R. 50852
FACTURA : 29375
FECHA : 20/08/15

Nº LAB	CLAVES	C Orgánico %	C Inorgánico %
519		14.82	1.53



Dr. Sady García Bendeziú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 10: ENSAYO DE BIODEGRADACIÓN



Tamizar del compost



Colocar el compost en los frascos de vidrio



Colocar la muestra a ensayar y homogenizar.



Puesta en marcha del sistema de biodegradación.