

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA  
DE AMAZONAS"**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**TESIS**

**"OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE  
A PARTIR DE LA MEZCLA DE ALCOHOL POLIVINÍLICO  
Y AMILOSA EXTRAÍDA DEL ALMIDÓN DE Colocasia  
esculenta(VITUCA) PROVENIENTE DEL DISTRITO DE  
YAMBRASBAMBA".**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES : Bach. ELMER SÁNCHEZ FERNÁNDEZ  
Bach. OLGA ALVARADO SANTILLÁN**

**ASESOR : Ing. SEGUNDO VICTOR OLIVARES MUÑOZ**

**CO-ASESOR : Ms.C. ELÍAS ALBERTO TORRES ARMAS**



**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2015**

**24 AGO 2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**TESIS**

**OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA  
MEZCLA DE ALCOHOL POLIVINÍLICO Y AMILOSA EXTRAÍDA DEL  
ALMIDÓN DE *Colocasia esculenta* (VITUCA) PROVENIENTE DEL DISTRITO  
DE YAMBRASBAMBA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES** : Bach. ELMER SÁNCHEZ FERNÁNDEZ  
Bach. OLGA ALVARADO SANTILLÁN

**ASESOR** : Ing. SEGUNDO VICTOR OLIVARES MUÑOZ

**CO- ASESOR** : Ms.C. ELÍAS ALBERTO TORRES ARMAS

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2015**



**24 AGO 2015**

### **Dedicatoria**

Lo logrado y lo por lograr es dedicado a mi hijo, por ser la fuente energética capaz de cambiar el mundo a su alrededor.

A la compañera de mis odiseas, que en su corazón late todo lo necesario para hacerme feliz.

A mi Hermano Walter, quien me enseñó y apoyo en la creencia que lo simple se convierte en fabuloso inspirado por el motivo correcto.

Elmer Sánchez Fernández

### **Dedicatoria**

A mi hijo Elmer Sheldon Sánchez Alvarado por ser la fuente de inspiración para encaminarme por el camino correcto, a mi linda familia que tengo, que se han preocupado de mí desde el momento en que llegué a este mundo, me han formado para saber cómo luchar y salir victoriosa ante las diversas adversidades de la vida y muchos años después, sus enseñanzas que no cesan, a mis amigos y amigas por su apoyo, por sus esfuerzos por mantener siempre viva la amistad.

Olga Alvarado Santillán.

### **Agradecimiento**

“A nuestro Dios por permitirnos encontrar el camino hasta este logro, nuestras familias quienes forjaron nuestro ser con su apoyo, amor y solidaridad, a nuestros asesores y colaboradores con quienes emprendimos un ideal de investigación con dedicación, técnica y tolerancia.....Gracias a todos.

Elmer Sánchez & Olga Alvarado.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA  
RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES  
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA  
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**Ing. GUILLERMO IDROGO VASQUEZ  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

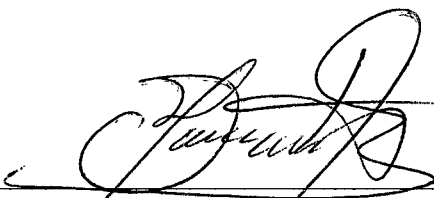
## VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El que al final suscribe, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, hace constar que ha asesorado la realización de tesis titulada “**Obtención de un polímero biodegradable a partir de la mezcla de alcohol polivinílico y amilosa extraída de almidón de *Colocasia esculenta* (vituca) proveniente del distrito de Yambrasbamba**” de los tesisistas egresados de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta casa superior de estudios.

- Bach. Elmer Sánchez Fernández
- Bach. Olga Alvarado Santillán

El suscrito da visto bueno al informe de la mencionada tesis, dándole pase para ser revisada por los miembros del Jurado, comprometiéndose a realizar el levantamiento de observaciones junto a los tesisistas que se presenten en la revisión y para su posterior sustentación.

Chachapoyas 25 de mayo del 2015



---

ING. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ  
DOCENTE AUXILIAR TC

## VISTO BUENO DEL COASESOR DE TESIS

El que al final suscribe, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, hace constar que ha Co-asesorado la realización de tesis titulada “**Obtención de un polímero biodegradable a partir de la mezcla de alcohol polivinílico y amilosa extraída de almidón de *Colocasia esculenta* (vituca) proveniente del distrito de Yambrasbamba**” de los tesisistas egresados de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta casa superior de estudios.

- Bach. Elmer Sánchez Fernández
- Bach. Olga Alvarado Santillán

El suscrito da visto bueno al informe de la mencionada tesis, dándole pase para ser revisada por los miembros del Jurado, comprometiéndose a realizar el levantamiento de observaciones junto a los tesisistas que se presenten en la revisión y para su posterior sustentación.

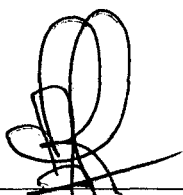
Chachapoyas 25 de mayo del 2015



---

M. Sc. ELÍAS ALBERTO TORRES ARMAS  
DOCENTE ASOCIADO TC

**JURADO EVALUADOR**



---

Ing. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA  
PRESIDENTE



---

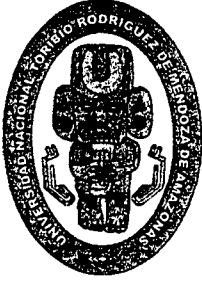
Ing. LIZETTE DAMIANA MÉNDEZ FASABI  
SECRETARIA



---

Ing. SANTOS TRIUNFO LEIVA ESPINOZA  
VOCAL





# UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE Ingeniería y Ciencias Agrarias

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de Julio del año 2015, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Erick Aldo Auguierman Silva

Secretario: Lizette Daniana Méndez Fasabi

Vocal: Santo Triunfo Silva Espinoza

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Elmer Sánchez Fernández

titulado Obtención de un polímero biodegradable a partir de la mezcla de alcohol polivinílico y amoníaco extraído del aluvión de colosasia secuenta Vituco proveniente del distrito de Yamboraambo

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (X), DESAPROBACIÓN ( ) por mayoría ( ), por unanimidad (X); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 11:50 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
PRESIDENTE

[Signature]  
VOCAL





# UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE Ingeniería y Ciencias Agrarias

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de Julio del año 2015, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Grick Aldo Arquimiro Silva

Secretario: Lizette Damiana Minda Fasabi

Vocal: Santo Truenfo Justa Espinoza

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Olga Alvarado Santillón

titulado Obtención de un polímero biodegradable a partir de la mezcla de alcohol polivinílico y amilosa extraída del almidón de Colocasia esculenta (Ulluco) proveniente del distrito de Yambora, Pucallpa

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (  ), DESAPROBACIÓN (  ) por mayoría (  ), por unanimidad (  ); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 11:50 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL



Form6- T

## INDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
V° B° DEL ASESOR.....	v
V° B° DEL COASESOR.....	vi
V° B° DEL JURADO.....	vii
ACTAS DE SUSTENTACIÓN.....	viii
INDICE GENERAL.....	x
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Polímero Biodegradable .....	2
Principio de la biodegradación.....	2
Criterio de Biodegradación.....	3
Clasificación de los polímeros biodegradables.....	5
Propiedades los polímeros.....	7
Uso de los polímeros biodegradables.....	12
1.2. La Vituca ( <i>colocasia esculenta</i> ).....	14
Origen.....	14
Descripción taxonómica.....	15
Producción y distribución.....	15
Composición Química.....	15
1.3. Almidón.....	16
Propiedades físicas y químicas del almidón.....	17
Almidón de Vituca.....	19
1.4. La Amilosa.....	19
1.5. La amilopectina.....	20
1.6. El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o PVal).....	21
Propiedades físicas y químicas del alcohol polivinílico.....	22
Usos y aplicaciones del alcohol polivinílico.....	23
1.7. Anhídrido acético.....	24

Propiedades del anhídrido acético.....	25
Producción del anhídrido acético.....	25
Usos del anhídrido acético.....	25
II. MATERIAL Y MÉTODOS	
2.1. Lugar de ejecución.....	26
2.2. Materia Prima.....	26
2.3. Procedimiento Experimental.....	26
Extracción de Almidón de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	26
Extracción de Amilosa <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	29
Obtención de Polímero Biodegradable.....	31
2.4. Evaluación de las Propiedades Físicas, químicas y biológicas del Polímero Biodegradable.....	32
Humedad.....	32
pH.....	32
Acidez titulable.....	32
Análisis microbiológico.....	32
Resistencia tensil.....	32
Módulo de Young.....	32
Porcentaje de Biodegradación.....	32
Tiempo de Biodegradación.....	33
2.5. Análisis estadístico.....	33
III. RESULTADOS	
3.1. Evaluación de las Propiedades físicas, químicas y biológicas del polímero biodegradable.....	36
3.2. Análisis de la Biodegradación de los Polímeros Biodegradables en los diferentes tratamientos.....	55
3.3. Evaluación Estadística de los Supuestos del Diseño Completamente al Azar DCA.....	60
IV. DISCUSION.....	61
V. CONCLUSION.....	64

VI. RECOMENDACIÓN.....	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	70

## INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Valores de resistencia tensil de los principales polímeros.....	8
Tabla 2. Valores de elasticidad de los polímeros comunes.....	9
Tabla 3. Principales compañías que emplean polímeros biodegradables desde un punto de vista comercial.....	13
Tabla 4. Valores promedio de la composición química proximal de los cornos de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	16
Tabla 5. Composición proximal, contenido de fosforo, amilosa y pureza de los almidones de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	19
Tabla 6. Claves de los diferentes tratamientos.....	35
Tabla 7: Interpretación estadística.....	35
Tabla 8. Características generales del polímero biodegradable.....	36
Tabla 9. Valores de Humedad del polímero biodegradable.....	36
Tabla 10. Valores de Acidez titulable del polímero biodegradable.....	37
Tabla 11. Valores análisis microbiológico del polímero biodegradable.....	37
Tabla 12. Valores de pH del polímero biodegradable.....	38
Tabla 13. Valores Promedio de Tensión Cortante (N) del Polímero Biodegradable en Condiciones Ambientales.....	38
Tabla 14. Valores Promedio de Deformación Unitaria del Polímero Biodegradable en condiciones ambientales.....	39
Tabla 15. Valores Promedio de Resistencia tensil Pa del Polímeros Biodegradable en Condiciones Ambientales.....	39
Tabla 16. Valores Promedio del Módulo de Young Pa del Polímero Biodegradable en condiciones ambientales.....	40
Tabla 17. Valores Promedio de Tensión Cortante N en los diferentes tratamientos.....	41
Tabla 18. Valores Promedio de Deformación Unitaria en los diferentes Tratamientos...	44
Tabla 19. Valores Promedio de Resistencia tensil Pa. en los diferentes Tratamientos...	48
Tabla 20. Valores Promedio de Modulo de Young Pa en los diferentes tratamientos....	52
Tabla 21. Valores de Tiempo de biodegradación (días) en los diferentes Tratamientos.	55
Tabla 22. Valores Promedio del Porcentaje de Biodegradación en los diferentes Tratamientos.....	56
Tabla 23. Valores estadísticos de los diferentes tratamientos en un diseño completamente al azar DCA.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Diagrama de los factores que intervienen en la degradación del biopolímero..	3
Figura 2: Curva de tensión VS elongación.....	11
Figura 3: Curva de tensión VS elongación para plásticos flexibles.....	12
Figura 4: Principales usos de los polímeros biodegradables en el mundo.....	13
Figura 5: Granos de almidón en células de patata visto con un microscopio electrónico de barrido.....	18
Figura 6: Estructura Química y distribución de la amilosa.....	20
Figura 7: Estructura Química y distribución de la amilopectina.....	21
Figura 8. Estructura química abreviada del alcohol de polivinilo.....	23
Figura 9. Distribución química del anhídrido acético.....	25
Figura 10. Diagrama de flujo en la extracción almidón de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	28
Figura 11. Diagrama de flujo en la obtención de la amilosa de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	30
Figura 12. Diagrama de Flujo en la elaboración del Polímero biodegradable.....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pag.</b>
Grafico 1. Tensión Cortante VS Tiempo / Ambiente.....	38
Grafico 2. Deformación Unitaria Vs Tiempo / Ambiente.....	39
Grafico 3. Resistencia tensil Promedio (Pa) VS Tiempo / Ambiente.....	40
Grafico 4. Módulo de Young Promedio (Pa) VS Tiempo / Ambiente.....	40
Grafico 5. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T1.....	41
Grafico 6. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T2.....	41
Grafico 7. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T3.....	42
Grafico 8. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T4.....	42
Grafico 9. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T5.....	42
Grafico 10. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T6.....	43
Grafico 11. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T7.....	43
Grafico 12. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T8.....	43
Grafico 13. Tensión Cortante VS Tiempo / Tratamiento T9.....	44
Grafico 14. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T1.....	44
Grafico 15. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T2.....	45
Grafico 16. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T3.....	45
Grafico 17. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T4.....	45
Grafico 18. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T5.....	46
Grafico 19. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T6.....	46
Grafico 20. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T7.....	46
Grafico 21. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T8.....	47
Grafico 22. Deformación Unitaria VS Tiempo / Tratamiento T9.....	47
Grafico 23. Resistencia tensil promedio VS Tiempo / Tratamientos T1.....	48
Grafico 24. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T2.....	49
Grafico 25. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T3.....	49
Grafico 26. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T4.....	49
Grafico 27. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T5.....	50
Grafico 28. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T6.....	50
Grafico 29. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T7.....	50
Grafico 30. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T8.....	51
Grafico 31. Resistencia tensil Promedio VS Tiempo / Tratamientos T9.....	51
Grafico 32. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T1.....	52



Grafico 33. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T2.....	53
Grafico 34. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T3.....	53
Grafico 35. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T4.....	53
Grafico 36. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T5.....	54
Grafico 37. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T6.....	54
Grafico 38. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T7.....	54
Grafico 39. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T8.....	55
Grafico 40. Módulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T9.....	55
Grafico 41. Tiempo de Degradación VS Tratamientos.....	56
Grafico 42. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T1.....	56
Grafico 43. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T2.....	57
Grafico 44. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T3.....	57
Grafico 45. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T4.....	57
Grafico 46. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T5.....	58
Grafico 47. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T6.....	58
Grafico 48. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T7.....	58
Grafico 49. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T8.....	59
Grafico 50. Porcentaje de Biodegradación VS Tiempo / Tratamiento T9.....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pag.</b>
ANEXO 1: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL POLIMERO BIODEGRADABLE.....	70
Anexo 1.1. Método para la determinación de la humedad.....	70
Anexo 1.2. Método para la determinación del pH.....	70
Anexo 1.3. Método para la determinación de la acidez titulable.....	70
Anexo 1.4. Método para el Análisis Microbiológico.....	71
Anexo 1.5. Método para el análisis de la resistencia tensil.....	71
Anexo 1.6. Método para el análisis de la elasticidad.....	71
Anexo 1.7. Método seguido para el cálculo del porcentaje de biodegradación.....	72
Anexo 1.8. Método seguido para el cálculo del Tiempo de biodegradación.....	73
ANEXO 2. DATOS ESTADISTICOS.....	74
Anexo 2.1. Valores del Tiempo de Biodegradación del Polímero Biodegradable Obtenido de una mezcla entre Amilosa de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca” y Alcohol Polivinílico..	74
Anexo 2.1. Valores Promedio del tiempo de Biodegradación en los diferentes Tratamientos del Polímero Biodegradable analizados estadísticamente.....	75
Anexo 2.3. Análisis estadístico del Tiempo de Biodegradación del Polímero Biodegradable.....	76
ANEXO 3. BALANCE DE MATERIA.....	81
Anexo 3.1. Balance de materia en la extracción de almidón de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	81
Anexo 3.2: Balance de materia en la extracción de amilosa de <i>Colocasia esculenta</i> “Vituca”.....	82
Anexo: .3: Balance de materia en la obtención de Polímero Biodegradable.....	83
ANEXO 4. PRUEBAS MECANICAS.....	84
Anexo 4.1. Valores de Tensión Cortante(N) Reportado en el sensor de Fuerza DUAL – RANGE ( $\pm 10N @ \pm 50N$ ) y Procesado Por el software Lagger Pro 3.6.0.....	84
Anexo 4.2. Graficas de Tensión Cortante(N) VS Tiempo(s) reportado por el Sensor de Fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10N @ \pm 50N$ ) Procesado en el Software Lagger Pro 3.6.0...	94

ANEXO 5. MEDIOS DE DEGRADACIÓN.....	109
Anexo 5.1. Características Químicas y biológicas de la Tierra Orgánica usada como Medio de Degradación (B3).....	109
Anexo 5.2. Características del Fisicoquímicas y biológicas del agua residual usada como Medio de Degradación (B2).....	109
Anexo 5.3. Características del Fisicoquímicas y biológicas de la Solución de Levadura al 1% usada como Medio de Degradación (B1).....	109
 ANEXO 6.....	 110
Anexo 6.1. Costos de Producción en la Obtención del Polímero Biodegradable.....	110
 ANEXO 7.....	 111
Anexo 7.1. Diseño del equipo de soporte para el Sensor de Fuera DUAL RANGE ( $\pm 10$ N @ $\pm 50$ N) y cálculo de la variación de Longitud del Polímero después de la acción de las Fuerzas.....	111
 ANEXO 8. FOTOGRAFIAS.....	 112
Anexo 8.1. Fotografías de la ejecución de la Tesis.....	112

## RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo la obtención de un polímero biodegradable a partir de una mezcla de alcohol polivinílico en diferentes concentraciones de 3:1, 2:2 y 1:3 y amilosa extraída de almidón de *Colocasia esculenta* “vituca”; proveniente de la localidad de Yambrasbamba, región Amazonas – Perú, se obtuvo películas de polímero biodegradable, las cuales se sometieron a evaluaciones por 30 días; se observaron las propiedades físicas, químicas y biológicas, teniendo en cuenta diferentes medios de degradación como la levadura al 1% (B1), agua residual (B2), tierra orgánica (B3), y en condiciones del medio ambiente; dichas evaluaciones fueron la humedad, el pH, la acidez titulable, el análisis microbiológico, el análisis de resistencia, el módulo de Young, el porcentaje de degradación y tiempo de degradación. De los diferentes tratamientos, obteniéndose un polímero biodegradable traslucido de 50 cm<sup>2</sup> (5cm x 10cm) de la mezcla de alcohol polivinílico y amilosa en concentración de 3:1, que presentó una resistencia máxima de 12446.67 Pa, un módulo de Young máximo de 14171.16 Pa, a condiciones medioambientales y un tiempo mínimo de degradación de 2 días en un medio de degradación con levadura al 1%.

**Palabras clave:** Polímero, Biodegradable, amilosa, alcohol polivinílico

## ABSTRACT

The research was aimed at obtaining a biodegradable polymer from a mixture of polyvinyl alcohol in different concentrations of 3: 1, 2: 2 and 1: 3 and amylose starch extracted from *Colocasia esculenta* "Vituca"; 1 from the town of Yambrasbamba, Amazonas - Peru, biodegradable polymer films were obtained, which were subjected to evaluations by 30 days; physical, chemical and biological properties were observed, taking into account different means of degradation and 1% yeast (B1), wastewater (B2), organic soil (B3), and environmental conditions; these assessments were moisture, pH, titratable acidity, microbiological analysis, strength analysis, Young's modulus, the percentage of degradation and degradation time. Of different treatments to give a translucent biodegradable polymer of 50 cm<sup>2</sup> (5cm x 10cm) of the mixture of polyvinyl alcohol and amylose concentration of 1: 1, which showed a maximum resistance of 12446.67 Pa, a Young's modulus maximum of 14171.16 Pa , to environmental conditions and minimal degradation time of 2 days in a medium degradation with 1% yeast.

**Key Words:** Biodegradable, amylose, polyvinyl alcohol.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en todo el mundo se sabe que la generación de plásticos sintéticos como medios que contribuyen a la comodidad o ergonomía de los seres humanos en el manejo de fluidos o sólidos denominándose envases, embalajes o empaques; es una amenaza muy grande a la estabilidad de los diferentes ecosistemas y medio ambiente, ya que como se sabe un polímero sintético para degradarse demora cientos de años, llegando a proliferarse como un enemigo de la sostenibilidad y sustentabilidad del medio ambiente. Se estima que el mercado mundial actual de biopolímeros está alrededor de las 250.000 ton/año, en el que el consumo de Europa está alrededor de las 50.000 ton/año. De mantenerse el crecimiento continuo que se ha presentado hasta ahora, la capacidad global de producción de biopolímeros estuvo cerca del millón de toneladas en el año 2010 (Estrada, 2008).

Uno de los mayores problemas que tiene la sociedad actual es la creciente producción de residuos domésticos inertes, pues con el ritmo actual de incremento de los residuos domésticos o domiciliarios el almacenamiento y disposición final en vertederos estarán colmados en 10 años; Además, puede producir diversos efectos sobre el aire y las aguas superficiales y subterráneas como incendios y explosiones si no existe una salida adecuada de los gases que emanan y una buena recogida y tratamiento de los lixiviados líquidos. Los búsqueda de nuevos polímeros biodegradables constituyen una alternativa de solución a los grandes problemas medioambientales que atraviesa la sociedad actual, pues debido a que la sociedad moderna actual exige como requisito indispensable a la adquisición de un producto para su consumo con una adecuada presentación (envase, embalaje y etiqueta, etc.), utilizando para ello polímeros a base de petróleo, que en muchos casos su degradación es muy lenta. (Estrada, 2008).

La investigación permitió obtener un polímero translucido, resistente, elástico y estable en condiciones ambientales (19°C, 75% HRA), pero 100% biodegradable en Agua Residual, levadura al 1% y tierra orgánica en un tiempo máximo de 28 días. Generando así nuevas tecnologías para el cuidado del medio ambiente y alternativas para el uso de la Vituca como cultivo comercial en el Distrito de Yambrasbamba.

## **1.1. Polímero Biodegradable**

Producto que tiene la funcionalidad de ser biodegradable bajo determinadas condiciones (humedad, enzimas catalíticas, microorganismos), su biodegradabilidad se puede valorizar por digestión anaeróbica o plantas de compostaje industrial. Los criterios que definen si un material es compostable están definidos por las normas: EN 13432, EN 14995, ASTM D6400 y la ISO 17088. (James, 2009)

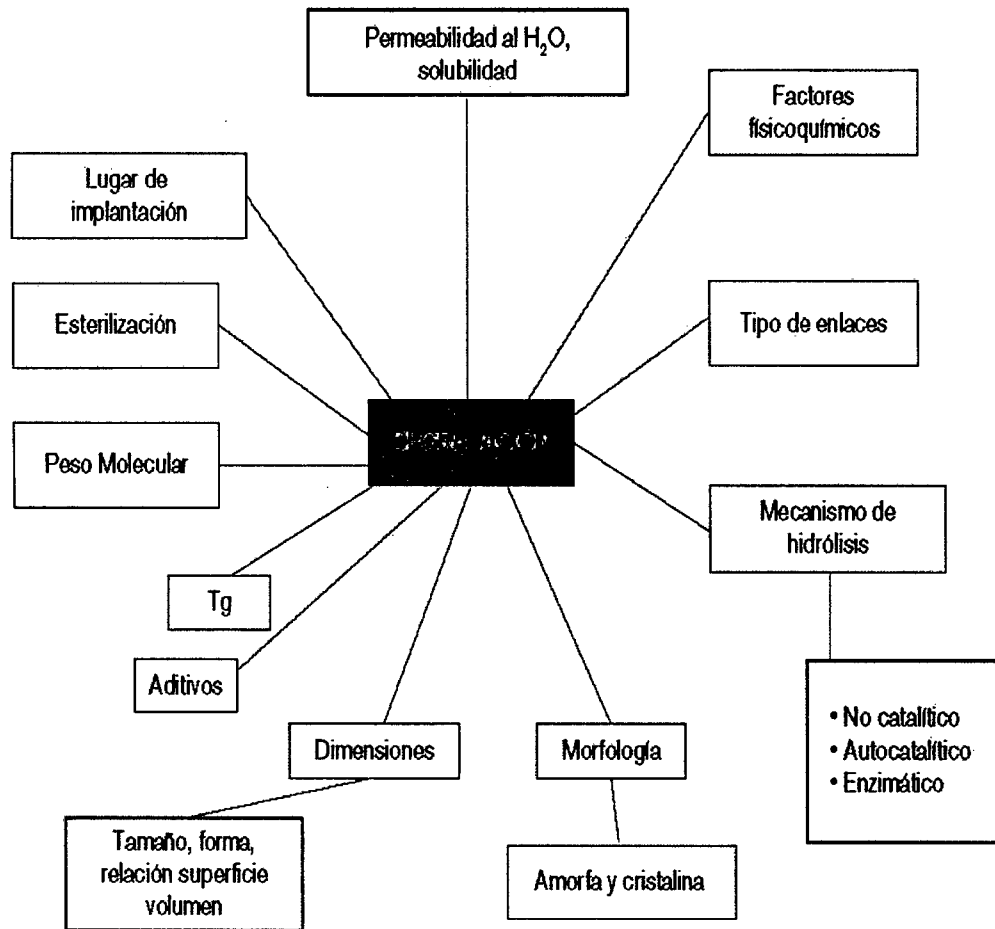
### **Principio de la biodegradación**

En los últimos años se han hecho varios intentos para definir de forma consensuada los términos degradación y biodegradación. Sin embargo, dada su dificultad, la comunidad científica no ha llegado a un acuerdo para una definición precisa desde el punto de vista químico. Por degradación de un polímero se entiende aquel cambio en su estructura química que conlleve una modificación apreciable de sus propiedades. Lo que se pretende con los polímeros degradables es que se mantengan las propiedades durante el período de utilización del polímero y un posterior cambio de su estructura química para descomponerse en componentes compatibles con el medio ambiente. En el caso de la biodegradación, se trata de un proceso de degradación química llevado a cabo por agentes biológicos (enzimas, bacterias y microorganismos). En concreto, la biodegradación producto de la exposición ambiental implica la acción de microorganismos y tiene como consecuencia una reducción del grado de polimerización, así como la degradación del polímero en fragmentos orgánicos simples. (Baillie C, 2004)

La biodegradación no depende del origen del material, sino de su estructura química y molecular. Un material es biodegradable si la degradación es consecuencia de la acción de microorganismos y hongos; como resultado final del proceso, el material se convierte en agua, dióxido de carbono y/o metano y biomasa. (James, 2009)

Los plásticos biodegradables como el poli (3-hidroxitirato) (PHB), que se descompone biológicamente por la acción de microorganismos y acaba volviendo a la tierra en forma de productos simples ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ). Pero el alto costo de producción de este poliéster así como su carácter quebradizo y baja resistencia a la degradación térmica, han limitado su comercialización y campo de aplicaciones. (Nonato 2001).

**Figura 1. Diagrama de los factores que intervienen en la degradación del biopolímero.**



**Fuente:** Stevens ES (2002). Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press, New Jersey.

### **Criterio de degradación de un biopolímero**

El criterio general para seleccionar un polímero como material biodegradable considera tanto las propiedades mecánicas requeridas como el tiempo de degradación necesario para la aplicación particular. Las características de estos dos parámetros son:

#### **a) Propiedades mecánica**

Los factores que influyen en las propiedades mecánicas son la selección del monómero y del iniciador de reacción, la presencia de aditivos y las condiciones de procesado.



## b) **Velocidad de degradación**

- Condiciones del medio: temperatura, humedad y pH
- Características del polímero: Presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, hidrofobicidad, estereoquímica, peso molecular, cristalinidad, superficie específica, temperatura de transición vítrea y de fusión.
- Características de los microorganismos: cantidad, variedad, fuente, actividad.

## c) **Mecanismos de degradación**

Entre los mecanismos básicos de degradación de un polímero, se aceptan cinco básicos:

### ➤ **Foto degradación**

Incluye los cambios físicos y químicos que se producen en el polímero debido a la irradiación del material con luz ultravioleta o visible; se pueden obtener polímeros fotodegradables introduciendo en su estructura grupos funcionales sensibles a la radiación ultravioleta (grupos carbonilo) o bien introduciendo aditivos, catalizadores y peroxidantes fotosensibles que aceleren el proceso de degradación.

### ➤ **Degradación mecánica**

Es causada por los esfuerzos a los que se somete el material, ya que suelen ir acompañados de rotura de enlaces en la cadena principal.

### ➤ **Degradación térmica**

Se refiere a casos en los que el polímero, a elevadas temperaturas, sufre cambios químicos sin la contribución de ningún otro factor, que no sea la energía térmica. Generalmente, es difícil distinguir entre la degradación térmica y la termoquímica, ya que el polímero raramente se encuentra en estado puro y las impurezas o aditivos pueden reaccionar con la matriz polimérica si la temperatura es bastante alta. En los últimos años se ha estado investigando sobre polímeros termoestables, en los cuales no hay pérdida de propiedades con la temperatura. La forma de conseguirlos es aumentando la rigidez del polímero o aumentando la cristalinidad; esto se consigue mediante la inclusión de grupos rígidos en la cadena principal o con polímeros estereo regulares, que aumentan la temperatura de reblandecimiento.

➤ **Degradación química**

Se refiere exclusivamente a procesos en los que la degradación es inducida por el contacto del polímero con productos químicos reactivos. En estos casos puede observarse una gran conversión, aunque sólo a elevadas temperaturas, debido a la energía de activación de dichas reacciones. Uno de los tipos de degradación química más frecuentes es la degradación hidrolítica, en la que la causa de la degradación es el contacto del material con un medio acuoso; la penetración del agua dentro de la matriz polimérica produce el hinchamiento, rotura de los puentes de hidrógeno intermoleculares, hidratación de las moléculas y, finalmente, la hidrólisis de los enlaces inestables.

➤ **Degradación mediante microorganismos (bacterias, hongos o algas)**

Dichos microorganismos producen una gran variedad de enzimas que son capaces de reaccionar con polímeros sintéticos y naturales. El ataque enzimático del material es un proceso químico inducido por la necesidad de encontrar alimento por parte de los microorganismos (la cadena principal de los polímeros es una fuente de carbono).

### **Clasificación de los polímeros biodegradables**

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar principalmente en cuatro categorías distintas:

**a. Polímeros naturales (Celulosa, almidón y proteínas).**

El almidón se considera actualmente uno de los principales materiales biodegradables con mayor aplicación. El almidón, termoplástico de carácter fuertemente hidrofílico, de bajo costo y de alta disponibilidad, puede utilizarse como aditivo biodegradable o material de sustitución en plásticos tradicionales. Este compuesto acelera la degradación o la fragmentación de las cadenas de los polímeros sintéticos. La acción microbiana consume el almidón, creando poros en el material, que pueden llevar a su rotura.

**b. Polímeros naturales modificados (acetato de celulosa o los poli alcanatos).**

**c. Materiales compuestos que combinan partículas biodegradables**

El almidón, la celulosa regenerada o gomas naturales mezcladas con polímeros sintéticos (mezclas de almidón y poli estireno, o almidón y policaprolactona).

**d. Polímeros sintéticos:** poliésteres, poli esteramidas y poliuretanos entre otros.

Polímeros naturales tales como carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos presentan átomos de oxígeno y nitrógeno en su cadena principal. Si estos átomos son incluidos en polímeros sintéticos, el material se vuelve más fácilmente degradable. Además, grupos carbonilos absorben energía lumínica que permite que estos materiales sean fotodegradables.

Las características descritas anteriormente pueden ser contempladas en las estructuras de algunos de los polímeros degradables que se utilizan actualmente.

➤ **Ácido poli láctico (PLA):**

El homo polímero derivado del monómero natural, L-láctico (L-PLA), presenta un elevado grado de cristalinidad (37%) debido a su estéreo regularidad. El material es de alta resistencia a la tensión y baja elongación, y consecuentemente tiene un módulo de Young elevado. El polímero es muy adecuado para aplicaciones que tienen que soportar una carga como son las suturas y fijaciones ortopédicas. Sus características térmicas se encuentran definidas por un alto punto de fusión y una temperatura de transición vítrea entre 60 °C y 65 °C.

➤ **Polihidroxibutirato (PHB):**

El PHB es un polímero no cristalino que se convierte en cristalino durante el proceso de extracción. Esta transformación se debe a la pérdida de las propiedades mecánicas. Las propiedades del PHB son similares a las del polipropileno, exceptuando su biodegradación. Respecto a sus propiedades físicas, el PHB es insoluble en agua y relativamente resistente a la hidrólisis. Sus principales aportaciones se encuentran en aplicaciones médicas y embalaje para agricultura.

➤ **Policaprolactona (PCL)**

Es un polímero semicristalino con una temperatura de transición vítrea de alrededor de 60 °C. Se trata de un polímero con baja viscosidad y fácil de procesar. La PCL presenta una alta permeabilidad al agua, oxígeno y CO<sub>2</sub>, además de unas propiedades mecánicas comparables a las del polietileno de baja densidad. De este modo, la PCL se puede considerar un excelente material para mejorar las propiedades mecánicas de otros polímeros. Entre sus principales aplicaciones se halla su uso en suturas, adhesivos, revestimientos superficiales, etcétera

**Propiedades de los polímeros**

**a. La resistencia tensil:**

Un polímero tiene resistencia tensil si soporta un estiramiento forzado mediante una fuerza colateral a su centro, siendo esta importante para un material que va a ser extendido o va a estar bajo tensión. Para medir la resistencia tensil de una muestra polimérica, tomamos la muestra y tratamos de estirla con fuerzas colaterales a su centro, generalmente la estiramos con una máquina llamada **Instron**. Esta máquina simplemente sujeta cada extremo de la muestra y luego procede a estirla. Mientras dura el estiramiento de la muestra, va midiendo la fuerza (F) que está ejerciendo. Cuando conocemos la fuerza que se está ejerciendo sobre la muestra, dividimos ese número por el área (A) de la muestra. El resultado es la tensión que está experimentando la muestra.

$$\frac{F}{A} = \text{stress}$$

Luego, usando nuestra máquina, seguimos incrementando la fuerza, y obviamente la tensión, sobre la muestra hasta que ésta se rompe. La tensión requerida para romper la muestra representa la resistencia tensil del material.

Asimismo, podemos imaginar ensayos similares para medir la resistencia a la compresión o a la flexión. En todos los casos, la resistencia es la tensión necesaria para romper la muestra. Puesto que la resistencia tensil es la fuerza aplicada sobre la muestra dividida por el área de la misma, tanto la tensión como la resistencia tensil se miden en unidades de fuerza por unidad de área, generalmente N/cm<sup>2</sup>.

La tensión y la resistencia también pueden ser medidas en mega pascales (MPa) o Giga pascales (GPa). Resulta sencilla la conversión entre diferentes unidades, ya que 1 MPa = 100 N/cm<sup>2</sup>, 1 GPa = 100.000 N/cm<sup>2</sup>, y obviamente, 1 GPa = 1.000 MPa.

Otras veces, la tensión y la resistencia se miden en las viejas unidades del sistema inglés, libras por pulgada cuadrada, o psi. Para convertir psi a N/cm<sup>2</sup>, el factor de conversión es 1 N/cm<sup>2</sup> = 1.45 psi.

**Tabla 1. Valores de resistencia tensil de los principales polímeros**

Polímero	Módulo teórico (GPa)	Resistencia tensil teórica (GPa)
Polietileno	182-340	19-36
Nylon 6,6	196	-
Poli (etilen tereftalato)	122	-
Politetrafluoretileno	160	15-16
Celulosa	56,5	12-19

Fuente: SJ Krause et al.. polimer 29, 1354 (1988)

**b. Elasticidad:**

La elasticidad es estudiada por la teoría de la elasticidad, que a su vez es parte de la mecánica de sólidos deformables. La teoría de la elasticidad (TE) como la mecánica de sólidos (MS) deformables describe cómo un sólido (o fluido totalmente confinado) se mueve y deforma como respuesta a fuerzas exteriores. La diferencia entre la TE y la MS es que la primera solo trata sólidos en que las deformaciones son termodinámicamente reversibles y en los que el estado tensiones  $\sigma$  en un punto  $\mathbf{x}$  en un instante dado dependen solo de las deformaciones  $\epsilon$  en el mismo punto y no de las deformaciones anteriores (ni el valor de otras magnitudes en un instante anterior). Para un sólido elástico la ecuación constitutiva funcionalmente es de la forma:

$$\sigma(\mathbf{x}, t) = \hat{T}(\epsilon(\mathbf{x}, t); \mathbf{x}), \quad \hat{T} : \mathcal{T}_2(\mathbb{R}^3) \times \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathcal{T}_2(\mathbb{R}^3)$$

Donde  $\mathcal{T}_2(\mathbb{R}^3)$  denota el conjunto de tensores simétricos de segundo orden del espacio euclídeo. Si el sólido es homogéneo el valor de la función anterior no dependerá del segundo argumento.

La propiedad elástica de los materiales está relacionada, como se ha mencionado, con la capacidad de un sólido de sufrir transformaciones termodinámicas reversibles e independencia de la velocidad de deformación (los sólidos viscoelásticos y los fluidos, por ejemplo, presentan tensiones dependientes de la velocidad de deformación). Cuando sobre un sólido deformable actúan fuerzas exteriores y éste se deforma se produce un trabajo de estas fuerzas que se almacena en el cuerpo en forma de energía potencial elástica y por tanto se producirá un aumento de la energía interna. El sólido se comportará elásticamente si este incremento de energía puede realizarse de forma reversible, en este caso se dice que el sólido es elástico.

**Tabla 2. Valores de elasticidad de los polímeros comunes**

Polímero	Módulo de elasticidad (Y)		Coeficiente de Poisson
	GPa	106psi	
PVC (Cloruro de polivinilo)	2,41 – 4,14	0,35 – 0,60	0,38
Fenólico	2,76 – 4,83	0,40 – 0,70	-
Nylon 6,6	1,59 – 3,79	0,23 – 0,55	0,39
Poli butileno tereftalato (PBT):	1,93 - 3,00	0,280 - 0,435	-
Policarbonato (PC)	2,38	0,345	0,36
Poliéster (termofijo)	2,06 – 4,41	0,30 – 0,64	-
Poli estireno (PS)	2,28 – 3,28	0,33 – 0,475	0,33
Poliéster-éter-cetona (PEEK)	1,10	0,16	-
Polietileno alta densidad (HDPE)	1,08	0,157	-
Polimetil metacrilato (PMMA)	2,24 – 3,24	0,325 – 0,47	-
Polipropileno (PP)	1,14 – 1,55	0,165 – 0,225	-

**Fuente:** Modern Plastic Encyclopedia 96, the McGraw-Hill Companies, New York, NY R. F. Floral and S. T Peters.

**c. La resistencia a la compresión.**

Un polímero tendrá resistencia a la compresión si soporta una compresión ejercida por un peso encima, debe poseer buena resistencia a la compresión.

**d. La resistencia a la flexión.**

Un polímero tiene resistencia a la flexión si soporta una flexión ya sea cuando es puesto bajo torsión o *impacto*. Una muestra tiene resistencia al impacto si es fuerte cuando se la golpea agudamente de repente, como con un martillo.

**e. Elongación**

Las propiedades mecánicas de un polímero no se remiten exclusivamente a conocer cuán resistente es. La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo. Pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra polimérica. La elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga. Obviamente llamamos a esto elongación.

Por lo general, hablamos de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento ( $L$ ), dividido por el largo original ( $L_0$ ), y multiplicado por 100.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongation}$$

Existen muchas cosas relacionadas con la elongación, que dependen del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirársela, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. Esto es importante si el material

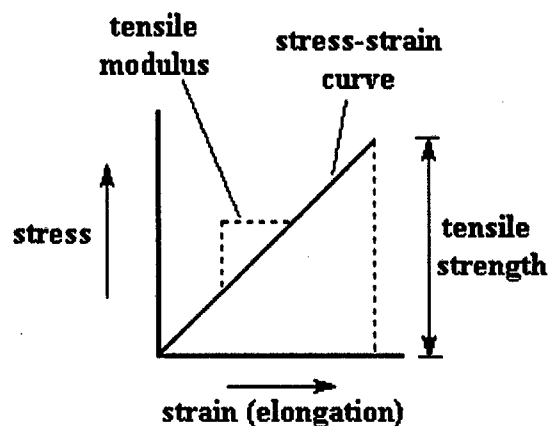
es un elastómero. Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante y luego recuperar su longitud original.

La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original es inconvenientes.

#### f. Módulo

Los elastómeros deben exhibir una alta elongación elástica. Pero para algunos otros tipos de materiales, como los plásticos por lo general es mejor que no se estiren o deformen tan fácilmente. Si queremos conocer cuánto un material resiste la deformación, medimos algo llamado *módulo*. Para medir el módulo tensil, hacemos lo mismo que para medir la resistencia y la elongación final. Esta vez medimos la resistencia que estamos ejerciendo sobre el material, tal como procedimos con la resistencia tensil. Incrementamos lentamente la tensión y medimos la elongación que experimenta la muestra en cada nivel de tensión, hasta que finalmente se rompe. Luego graficamos la tensión versus elongación, de este modo:

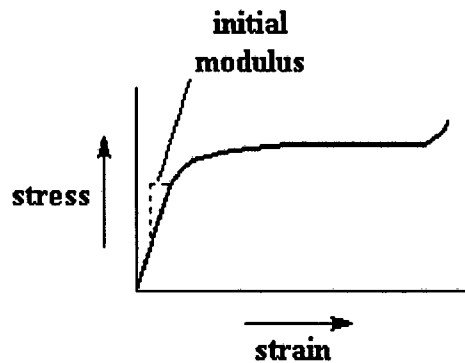
Figura 2. Curva de tensión VS elongación



Hay ocasiones en que la curva tensión-estiramiento no es una recta, como vimos arriba. Para algunos polímeros, especialmente plásticos flexibles, obtenemos curvas extrañas, como ésta:



**Figura 3. Curva de tensión VS elongación para plásticos flexibles**



**After Odian, George; *Principles of Polymerization*,  
3rd ed., J. Wiley, New York, 1991, p.34.**

A medida que la tensión se incrementa, la pendiente, es decir el módulo, no es constante, sino que va experimentando cambios con la tensión. En casos como éste, generalmente tomamos como módulo la pendiente inicial, como puede verse en la curva de arriba.

En general, las fibras poseen los módulos tensiles más altos, y los elastómeros los más bajos, mientras que los plásticos exhiben módulos tensiles intermedios.

El módulo se mide calculando la tensión y dividiéndola por la elongación. Pero dado que la elongación es adimensional, no tiene unidades por cual dividir las. Por lo tanto el módulo es expresado en las mismas unidades que la resistencia, es decir, en  $N/cm^2$ .

### **Uso de los polímeros biodegradables**

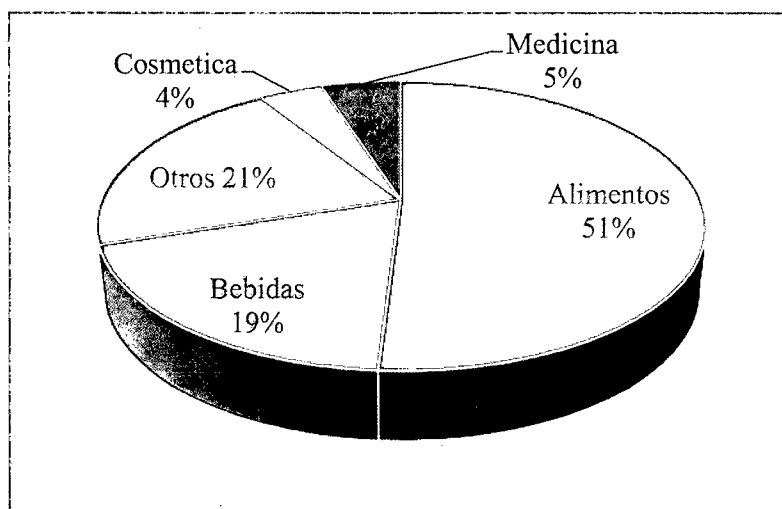
Existen evidencias de la elaboración de plásticos biodegradables entre la mezcla de amilosa de maíz, yuca y el alcohol polivinílico, con lo que se obtuvo películas con características de resistencia, elasticidad y biodegradables al contacto con agentes hemolíticos (hongos, microorganismos y levadura), el uso de estos polímeros biodegradables tienen un amplio abanico de aplicaciones dentro del campo del envasado, la medicina, la industria alimentaria, etc. (J. Cabrera, 2007).

**Tabla 3. Principales compañías que emplean polímeros biodegradables desde un punto de vista comercial.**

Compañía	Sede	Nombre Comercial	Polímeros biodegradables
Nonamont	Italia	Mater Bi	Almidón / Alcohol polivinílico
BASF	Alemania	Ecoflex	Copoliester
Biop	Alemania	Biopar	Almidón/Poliestireno
Biotec	Alemania	Bioplast	Almidón/Copoliester
Natureworks	EE.UU	Natureworks	Ácido Poli láctico
P&G/Kaneka	EE.UU	Nodax	PHA

**Fuente:** Stevens ES (2002). Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press, New Jersey.

**Figura 4: Principales usos de los polímeros biodegradables en el mundo**



**Fuente:** Stevens ES (2002). Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press, New Jersey.

## 1.2. La Vituca (*colocasia esculenta*)

Planta herbácea suculenta y perenne tropical, alcanza de 1m a 2m de altura, produce corno central comestible, grande esférico, elipsoidal o cónico, el color de la pulpa es por lo general de color blanco pero puede presentarse clones colorados hasta llegar a morado (Morín, 1983).

El corno de la vituca se divide en la zona cortical y el cilindro central, donde la primera es angosta y de apariencia compacta y está formado por parénquima de células isodiamétricas con alto contenido de almidón. El cilindro central el tejido básico es parénquima pero de células irregulares y con paredes delgadas, constituidas principalmente por almidón. (León, 1987).

Es un tubérculo rico en minerales y carbohidratos beneficiosos para la salud. El tallo de la planta también constituye un remedio natural, fuente de tiamina, riboflamina, hierro, fósforo, y zinc, un buen recurso de vitamina B6, vitamina C, niacina, potasio, cobre y manganeso. Los **cornos** (tallo bulboso subterráneo) tienen un alto contenido en almidón y son fuente de fibra dietética. El ácido oxálico puede estar presente en el corno y especialmente en la hoja, por lo que no puede ser ingerido por personas con problemas de riñones, gota o artritis reumática. (Núñez; 1989).

### Origen

La Vituca (*Colocasia esculenta*) es una planta de origen asiático introducida en las islas de Korea y Japón, distribuida en América tropical y sub tropical, adaptado en ambientes de selva y ceja de selva, con altas precipitaciones entre 1800 a 2500 mm, temperaturas entre 12°C a 35°C y alta luminosidad. Algunas variedades crecen en suelos donde el agua es suministrada por irrigación (cultivos secos), mientras que otras crecen en bajo el agua, requieren aproximadamente 7 meses para madurar, pudiéndose cultivar todo el año. (Morín, 1983).

La vituca o pituca es uno de las materias primas poco utilizadas, teniendo una composición del 27% de almidón, posee tamaños de granulo de almidón entre 1 a 6,5 micras, cualidad que le hace un almidón de calidad, pues mientras más pequeño sea el tamaño del granulo de almidón, mayor será su digestibilidad. En el Perú a esta raíz se le conoce como “Pituca o Vituca” variando en algunos departamentos como

“Aratrina” en Huánuco. “Taro” en Moyobamba, “Michutsi”, en lugares de selva alta, “Witina” en el bajo Amazonas.”, mientras que otros países toma diferentes nombres como “Malanga” en Puerto Rico, “Cara” en Brasil, “Ñame” en Costa Rica, “Taro” en Centro América. (Núñez, 1989).

### **Descripción taxonómica**

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Alismatales
Familia	: Araceae
Subfamilia	: Aroideae
Tribu	: Colocasieae
Género	: Colocasia
Especie	: <i>Colocasia esculenta</i>
Nombre común	: Vituca, Pituca, Taro, Malanga, Witina, etc.

Fuente: Morín, 1983.

### **Producción y distribución**

Se cultiva y se usa en la ceja de selva en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco y Ucayali, siendo un alimento importante en la dieta de la población rural, sin embargo en los últimos años su uso y comercialización se incrementó hasta llegar a los mercados de las zonas urbanas, esto debido a que los cormos pueden ser consumidas en diversas maneras y por ser ricas en carbohidratos, aminoácidos, vitaminas y fibra, y bajas en grasas, cenizas y de origen orgánico. (Núñez, 1989).

### **Composición Química**

La vituca es un alimento bajo en proteínas y grasas, siendo su mayor valor alimenticio en su contenido de carbohidratos y nutritivamente frente a la yuca, la papa y cereales la vituca resulta de mayor valor alimenticio (Morín, 1983).

**Tabla 4: Valores promedio de la composición química proximal de los cornos de Vituca.**

<b>Componentes</b>	<b>% Base húmeda</b>	<b>% Base seca</b>
Humedad	74,3	-
Proteína	1,5	5,8
Grasa	0,6	2,3
Fibra	0,9	3,5
Ceniza	1,2	4,7
Carbohidratos	21,5	83,7
<b>Otros análisis</b>		
Almidón (g/100gm.s)	-	73,8
Acido oxálico g/100gm.s)	-	15,6
<b>Carbohidratos</b>		

**Fuente:** Morín (1983).

### 1.3. Almidón

Se denomina almidón al producto amiláceo que se extrae de los cereales y como fécula al producto amiláceo que se extrae de los tubérculos, raíces y rizomas de los vegetales (Itintec 1974).

El almidón es un biopolímero y uno de los carbohidratos más abundante presente en alimentos, estos pueden ser aislados de raíces, tubérculos, cereales, almendras, semillas, fruta y polen (Van 1996), de las cuales las más estudiadas fueron del arroz, maíz y papas, presentan un tamaño de 0.5-17  $\mu\text{m}$ . (Alvares 2003). Estos gránulos son esfero cristales visibles al microscopio electrónico, que dan con rayos X redes de difracción; contienen muy poca agua y su tamaño varía entre 2 -100 $\mu\text{m}$  en el caso de papas y 5-25 $\mu\text{m}$  en el caso del maíz. Son insolubles en agua (Cheftel, 1976).

Los almidones nativos se obtienen a partir de las fuentes de cereales y tubérculos (a partir de grano o subproductos) conservando la estructura nativa del almidón, su utilidad consiste en que regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades gelificantes y espesantes (French,1984).

Estos compuestos son una excelente materia prima, su funcionalidad depende del contenido de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular dentro del gránulo (Chen J, 1994).

El almidón es una materia prima con muchas aplicaciones que van desde formación de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Zhao y Whistler, 1994).

Ampliamente el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, por lo que es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48,5 millones de ton/año (FAOSTAT, 2001), existe una demanda insatisfecha del mismo.

### **Propiedades físicas y químicas del almidón**

Sus propiedades han sido ampliamente estudiadas debido a su posibilidad de ser convertido en un termoplástico y luego usarse en diferentes aplicaciones como consecuencia de su disponibilidad, biodegradabilidad y características económicas (Alvares, 2003).

Antes se aceptaba que los gránulos de almidón poseían una cubierta de naturaleza celulósica. Sin embargo, las últimas investigaciones indican que el almidón carece de pared externa, porque su capacidad de resistencia al hinchamiento se debe a las fuerzas originadas por la disposición regular de los cristalitos y almidón en el interior del gránulo. Los almidones naturales son insolubles en agua fría, pero por acción del agua caliente los gránulos se hinchan llegando incluso a romperse y solubilizarse (gel), si el agua se encuentra en exceso. Los gránulos de almidón también pueden romperse por acción mecánica (Kent J y Amos, 1956).

Los almidones se distinguen unos de otros por la forma y dimensiones de los gránulos, la proporción de amilosa y amilopectina (el contenido de amilopectina es de 75%) y las impurezas que contienen. Así los almidones de cereales pueden contener residuos de gluten, que los tubérculos y raíces no tienen. (Kerr, 1950).

Algunos almidones muestran una cierta adherencia a las impurezas residuales que otros. También se distinguen por las características de las suspensiones coloidales que forman en el agua; la temperatura a la cual se gelifica, su transparencia, viscosidad, fluencia, potencia adhesiva y capacidad de película que tienen mayor penetración, dureza, elasticidad, transparencia, etc. (Kerr, 1950).

El almidón químicamente, es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina las cuales contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo, tienen parecido grado de cristalinidad que los almidones normales. La disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón en un gránulo resulta evidente al observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro) en un microscopio de polarización cuando se colocan los polarizadores a 90° entre sí. (Fennema, 1993).

**Figura 5. Granos de almidón en células de patata visto con un microscopio electrónico de barrido.**



### Almidón de Vituca

En el mundo, se encuentra diversas materias primas para la extracción de almidón, entre ellas cereales, raíces y tubérculos. La Vituca (*Colocasia esculenta*) es una de las materias primas poco utilizadas, tiene una composición alrededor de 27% de almidón. Posee tamaños de granulo entre 1-6.5 micras, cualidad que la hace un almidón de calidad, pues mientras más pequeño sea el tamaño de los gránulos de almidón, mayor será su digestibilidad (Marcano L. 1991).

**Tabla 5. Composición proximal, contenido de fosforo, amilosa y pureza de los almidones de colocasia esculenta**

Parámetros	Peso en base seca de 100 lb	Valor Porcentual %
Humedad	9,01	9, 01
Proteína cruda	4,57	4, 57
Grasa cruda	0,41	0,41
Amilosa	24,56	24,56
Amilo pectina	56, 50	56, 50
Fosforo	0,13	0,13
Calcio	0,07	0,07
Magnesio	0,04	0,04
Fibra	3,89	3,89
Otros	0,82	0,82

Fuente: Torrez, 2013

#### 1.4.La amilosa

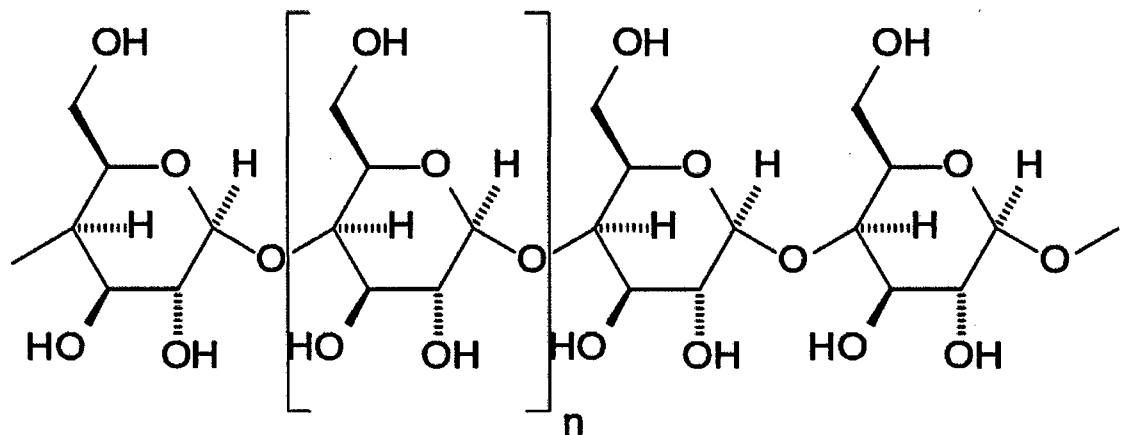
Es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha(1,4)$ , que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D- (1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la a-maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilos están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen



comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75%. La mayor parte de la amilosa es una cadena lineal de unidades de  $\alpha$ -D-glucopiranosilo unidas por enlaces (1-4), aunque existen también moléculas que poseen pocas ramificaciones en posición (1-6), alrededor de una cada 180-320 unidades, o lo que es lo mismo (0.3 - 0.5%) de los enlaces.

Las ramificaciones de la amilosa pueden ser muy largas o muy cortas, pero los puntos de ramificación están separados por largas distancias, de manera que las propiedades físicas de las moléculas de amilosa son esencialmente de moléculas lineales. Las moléculas de amilosa tienen pesos moleculares de alrededor de  $10^6$  (Fennema, 2000).

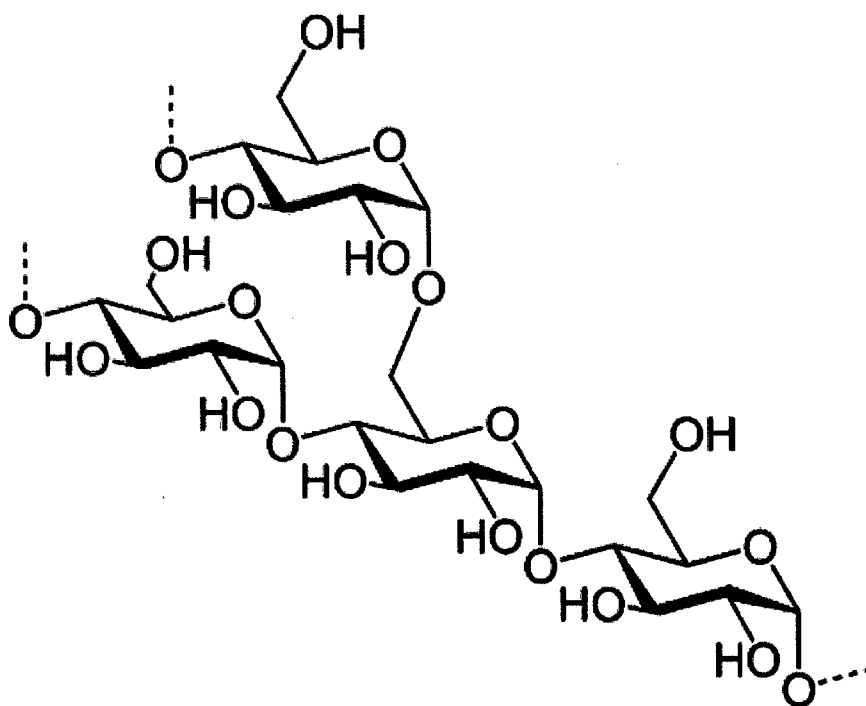
**Figura 6. Estructura Química y distribución de la amilosa.**



### 1.5. La amilopectina

Es un polisacárido que se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol, las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 25-30 unidades lineales de glucosa. Su masa y su peso molecular son muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos. La amilopectina de patata es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3. Se diferencia del glucógeno por tener las ramificaciones  $\alpha$ -(1,6) cada 25-30 monómeros, pues éste tiene sus ramificaciones cada 8-12 unidades de glucosa.

**Figura 7.** Estructura Química y distribución de la amilopectina.



### 1.6. El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o PVal)

También llamado polietenol o poli (alcohol vinílico), es un polímero sintético soluble en agua, de fórmula química general  $(C_2H_4O)_n$ . No debe confundirse con acetato de polivinilo, un popular pegamento de madera. (Álvarez, 2012)

A diferencia de muchos polímeros vinílicos, el PVOH no es preparado por la polimerización del correspondiente monómero. Dado que el alcohol vinílico es inestable con respecto a la isomerización a acetaldehído su polímero debe prepararse por métodos indirectos. El monómero, alcohol vinílico, existe casi exclusivamente en la forma tautoméricas, el acetaldehído. El PVOH se prepara por alcoholólisis (se emplean también los términos menos exactos hidrólisis y saponificación) parcial o total de acetato de polivinilo para eliminar los grupos acetato. (Álvarez, 2012)

Para efectuar la alcoholólisis puede utilizarse etanol o metanol, con un ácido o una base como catalizador. La hidrólisis alcalina es mucho más rápida. La hidrólisis ácida es más probable que produzca algunos enlaces en la cadena por medio de un mecanismo

que implica la pérdida de una molécula de agua de dos grupos hidroxilos adyacentes. Se trata de una reacción no deseable. La alcoholólisis se lleva a cabo usualmente disolviendo el poli (acetato de vinilo) en el alcohol, añadiendo el catalizador y calentando, el poli (alcohol de vinilo) precipita de la disolución. Se puede controlar esta reacción de modo que queden grupos acetato en el polímero, lo que se obtiene entonces, es un copolímero de poli (alcohol vinílico) y de poli (vinil acetato) llamado poli (alcohol vinílico-co-vinil acetato). Es un copolímero al azar, parecido al poli (alcohol vinílico) excepto que cada tanto tiene unidades repetitivas de vinil acetato. (Brady, 1992).

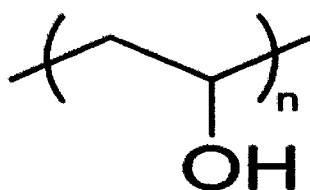
### **Propiedades físicas y químicas del alcohol polivinílico**

El alcohol polivinílico tiene excelentes propiedades para formar películas, como emulsionante y como adhesivo. También es resistente al aceite, grasas y disolventes. Es inodoro y no tóxico. Tiene alta resistencia y flexibilidad, así como alta propiedades de barrera para el oxígeno y los aroma. Sin embargo, estas propiedades dependen de la humedad, es decir, con mayor humedad más agua es absorbida. El agua, que actúa como un plastificante, a su vez reducirá su resistencia a la tracción, pero aumentan su elongación y resistencia al desgarro.

El alcohol polivinílico (PVOH) es totalmente degradable y se disuelve rápidamente. El PVOH tiene un punto de fusión de 230°C y 180-190°C para los grados totalmente hidrolizado y parcialmente hidrolizado respectivamente. Se descompone rápidamente por encima de 200°C. El poli (alcohol de vinilo) no funde como un termoplástico, sino que se descompone por pérdida de agua de dos grupos hidroxilos adyacentes a temperaturas superiores a 150°C. Los enlaces dobles permanecen en la cadena y, a medida que se forman más en posiciones conjugadas, tiene lugar una coloración importante. Aunque el poli (alcohol de vinilo) es amorfo cuando no está estirado, puede estirarse dando una fibra cristalina por ser los grupos hidroxilo lo bastante pequeños para encajar en un retículo cristalino a pesar de la estructura de cadena atáctica. El poli (alcohol de vinilo) es soluble en agua. Se disuelve lentamente en agua fría, pero lo hace más rápidamente a temperaturas elevadas, y puede normalmente disolverse a más de 90°C. Las disoluciones acuosas no son particularmente estables, especialmente si hay presentes trazas de ácido o base. Las disoluciones pueden sufrir una compleja serie de reacciones de gelación reversibles e irreversibles.

Por ejemplo, puede producirse entrecruzamiento en los enlaces éter, lo que resulta en un aumento de viscosidad por la formación de productos insolubles. El poli (alcohol de vinilo) puede reacetilarse por calentamiento con un exceso de anhídrido acético en presencia de piridina. El poli (acetato de vinilo) resultante puede o no tener la misma estructura que el polímero madre a partir del cual se obtuvo el alcohol, debido a la naturaleza de la estructura de cadena ramificada del polímero. (Solomons, 1999).

**Figura 8.** Estructura química abreviada del alcohol de polivinilo



### Usos y aplicación del alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico es la materia prima para hacer otros polímeros como:

#### a) Nitrato de polivinilo (PVN)

Se trata de un éster del ácido nítrico y el alcohol de polivinilo. El nitrato de vinilo se puede utilizar en algunos propulsores y explosivos moldeables.

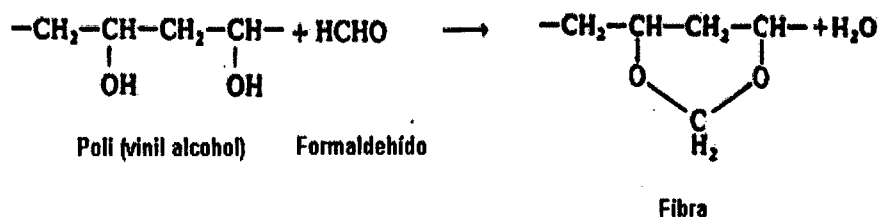
#### b) Polivinil acetales

Los poli (acetales de vinilo) se preparan por reacción de aldehídos con el alcohol de polivinilo. El polivinil butiral (PVB) y polivinil formal (PVF) son ejemplos de esta familia de polímeros. Se preparan a partir de alcohol de polivinilo, por reacción con butiraldehído y el formaldehído, respectivamente. La preparación de butiral de polivinilo es el mayor uso del alcohol polivinílico en los EE.UU. y Europa Occidental. El polímero más importante, por mucho, de entre ellos es el poli (vinil butiral), que se usa como capa plástica intermedia para los vidrios de seguridad de aviones y automóviles. El poli (vinil formal) se utiliza en esmaltes para recubrimientos de cables eléctricos y en tanques de gasolina de auto-sellado.



El alcohol polivinílico se utiliza como ayuda en la polimerización en emulsión, como coloide protector, para hacer dispersiones de acetato de polivinilo. Esta es la aplicación más grande del mercado en China.

En Japón, su uso principal es la producción de fibra vinylon o vinalon. En las fibras de poli (alcohol de vinilo), la forma final del polímero es insoluble en agua como resultado de un tratamiento químico. El polímero se hila en húmedo a partir de agua caliente pasando por una disolución acuosa concentrada de sulfato de sodio que contiene ácido sulfúrico y formaldehído. El polímero se insolubiliza por la formación de grupos forma.



Aproximadamente una tercera parte de los grupos hidroxilo se hace reaccionar para insolubilizar la fibra. Un cierto grado de acetilación entre las cadenas es deseable para reducir la contracción de la fibra, pero debe controlarse cuidadosamente la cantidad. Las fibras de poli (alcohol de vinilo) poseen una absorción de agua (un 30 %) superior a las demás fibras. Pudiendo de este modo reemplazar al algodón en aquellos usos en los que la fibra está en contacto con el cuerpo. El tacto del tejido puede variarse de similar a la lana a similar al lino.

Esta fibra se lava fácilmente, se seca pronto y tiene buena estabilidad dimensional. La tenacidad y resistencia a la abrasión son buenas (Wallace, 2003).

### 1.7. Anhídrido acético

Comúnmente abreviado Ac<sub>2</sub>O, es uno de los anhídridos carboxílicos más simples con fórmula química (CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O, es uno de los reactivos más ampliamente usados en síntesis orgánica. Es un líquido incoloro, que huele fuertemente a vinagre (ácido acético) debido a su reacción con la humedad del aire.

### Propiedades del anhídrido acético

El anhídrido acético se disuelve en agua hasta aproximadamente un 2,6% (m/m). Sin embargo, una solución acuosa de anhídrido acético no es estable porque éste descompone en unos pocos minutos (el tiempo exacto depende de la temperatura) en una solución de ácido acético.

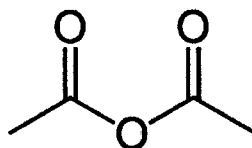
### Producción del anhídrido acético

Industrialmente el anhídrido acético puede ser producido por oxidación del acetaldehído con  $O_2$ , formándose ácido peracético  $CH_3C(=O)OOH$  que reacciona catalíticamente con otra molécula de acetaldehído para dar el anhídrido acético; o por pirólisis del ácido acético a cetona  $CH_2=C=O$ , la cual a continuación en una segunda etapa reacciona con una molécula de ácido acético para formar el anhídrido acético; o por carbonilación catalítica (empleando monóxido de carbono) del acetato de metilo.

### Usos del anhídrido acético

El  $Ac_2O$  es ampliamente empleado en química para la acetilación de alcoholes y aminas. La mayor parte de la producción de anhídrido acético va a parar a la fabricación de acetato de celulosa (plásticos y fibras textiles). Otras aplicaciones, por ejemplo, son la síntesis de la tetra acetil etil enodiamina (TAED) en la industria de detergentes, y la síntesis de fármacos tales como el ácido acetilsalicílico (aspirina) o el paracetamol.

**Figura 9.** Distribución química del anhídrido acético



## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de ejecución

Tesis ejecutada en los laboratorios de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, distrito y provincia de Chachapoyas.

### 2.2. Materia Prima

En la tesis se utilizó raíces de “Vituca” *Colocasia esculenta*, de aproximadamente 10 meses de edad, proveniente de la localidad de Yambrasbamba, distrito de Yambrasbamba, Provincia de Bongará, Región Amazonas.

### 2.3. Procedimiento Experimental

#### Extracción de Almidón de Vituca

Mediante el diagrama de flujo descrito en la Figura 10, se muestra el procedimiento por el cual se obtuvo el almidón de Vituca, según el siguiente detalle:

#### a) Obtención de la materia prima

Se recolecto las raíces de *Colocasia esculenta* “Vituca”, en un estado de madurez adecuada (9 meses aprox.), de los campos de cultivo de la localidad de Yambrasbamba.

#### b) Selección y clasificación

Se clasifico las raíces de la colocasia esculenta teniendo en cuenta su estado de madurez, tamaño y sanidad.

#### c) Pelado

Se retiró la cascara de manera manual, teniendo en cuenta la eliminación de impurezas y partes con prodimión o sobre madurez.

#### d) Pesado

Pesar las raíces peladas y calcular los rendimientos, mediante la diferencia con la pérdida de peso debido a la eliminación de las cascara.

**e) Lavado 1**

Se lavó con chorro continuo de agua potable, hasta eliminar las impurezas con repeticiones de hasta 3 veces en agua abundante.

**f) Troceado**

Cortar uniformemente las raíces de colocasia esculenta en cubitos de 1cm de lado.

**g) Lavado 2**

Los cubos son sumergidos en una solución de bisulfito de sodio a una concentración de 2000 ppm, en una relación de 1: 3 (p/v), por un periodo de 30 minutos y luego se eliminó el agua.

**h) Licuado**

Se licuo por un 1 minuto, mediante el uso de una licuadora domestica de 0.25 hp, a una revolución de 250 Rev/min. En una relación de 1:3 (p/v).

**i) Tamizado**

Se procedió a tamizar la lechada en una malla N° 100, repitiendo el proceso con la masa resultante mezclando con agua en la relación de 1:1 (p/v), hasta que la lechada sea transparente.

**j) Sedimentación**

El líquido resultante se puso a sedimentar por 24 horas a una temperatura de 4 °C.

**k) Sifoneo**

Pasado el tiempo de sedimentación se observó la formación de dos capas (solido líquido), procediéndose a eliminar la parte liquida, mediante el Sifoneo.

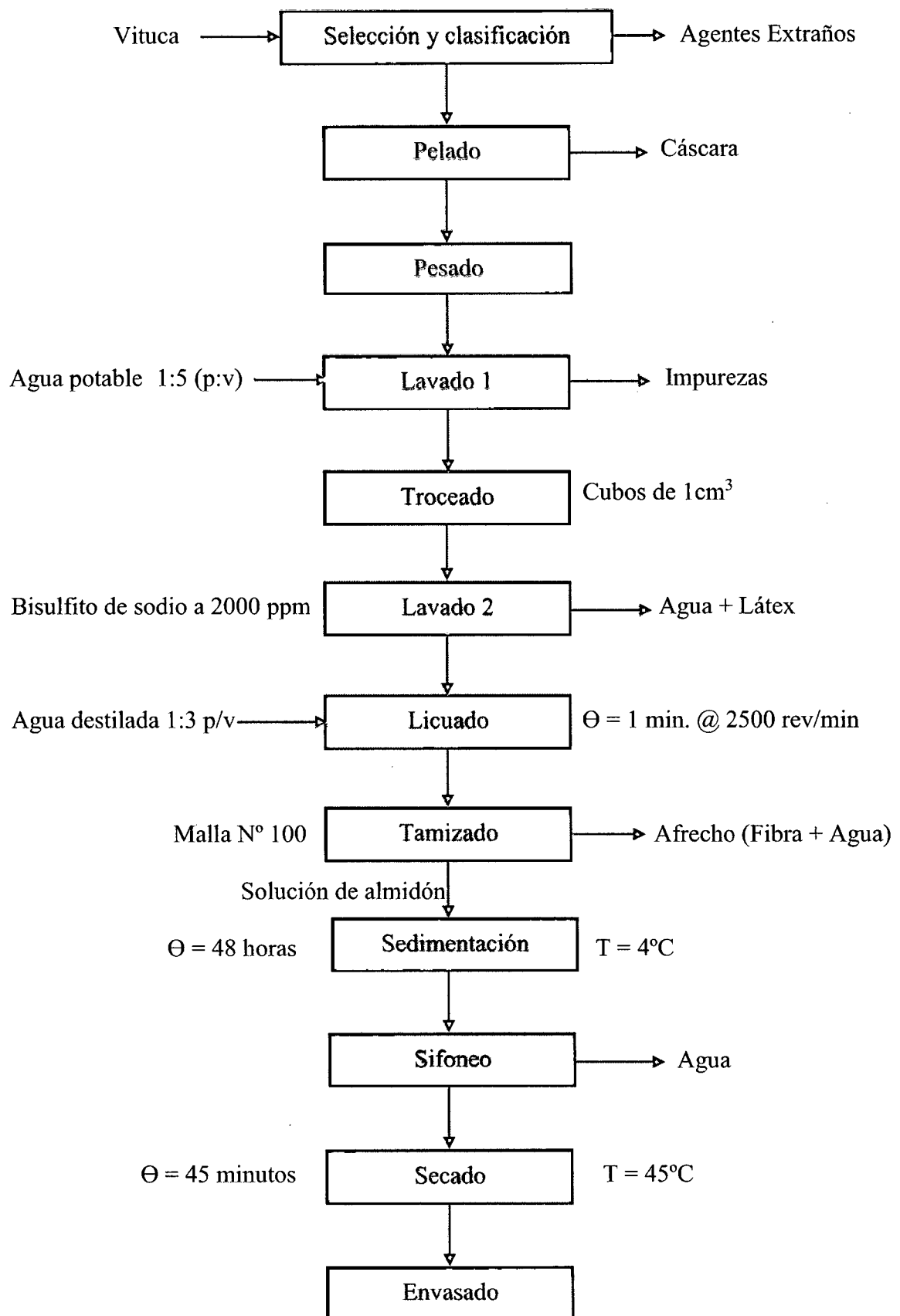
**l) Secado**

La parte solida se secó en un secador de bandejas a 45 ° C por un tiempo de 30 Minutos.

**m) Envasado**

El almidón se envaso en bolsas de polietileno.





**Figura 10.** Diagrama de flujo en la extracción almidón de *Colocasia esculenta* “Vituca”

**Fuente:** Elaboración Propia / 2014

## **Extracción de amilosa**

Según el diagrama de flujo descrito en la figura 11, se detalla la obtención de la amilosa de *Colocasia esculenta*, según el siguiente detalle:

### **a) Selección y Clasificación**

Se seleccionó el almidón sin impurezas, fino y seco.

### **b) Pesado 1**

Con el fin de calcular los rendimientos se pesó la muestra.

### **c) Fraccionamiento**

Se agregó agua a 70°C y se agitó brevemente hasta formar una solución homogénea, después de un minuto de reposo separar retirar la solución lechosa (amilosa) y desechar la fracción precipitada (amilopectina).

### **d) Sedimentación**

La solución lechosa resultante, se dejó reposar por 12 horas a 4°C, tiempo en la que se precipito la amilosa.

### **e) Sifoneo**

Se eliminó el agua, y recuperando la parte solida precipitado en el fondo del recipiente.

### **f) Secado**

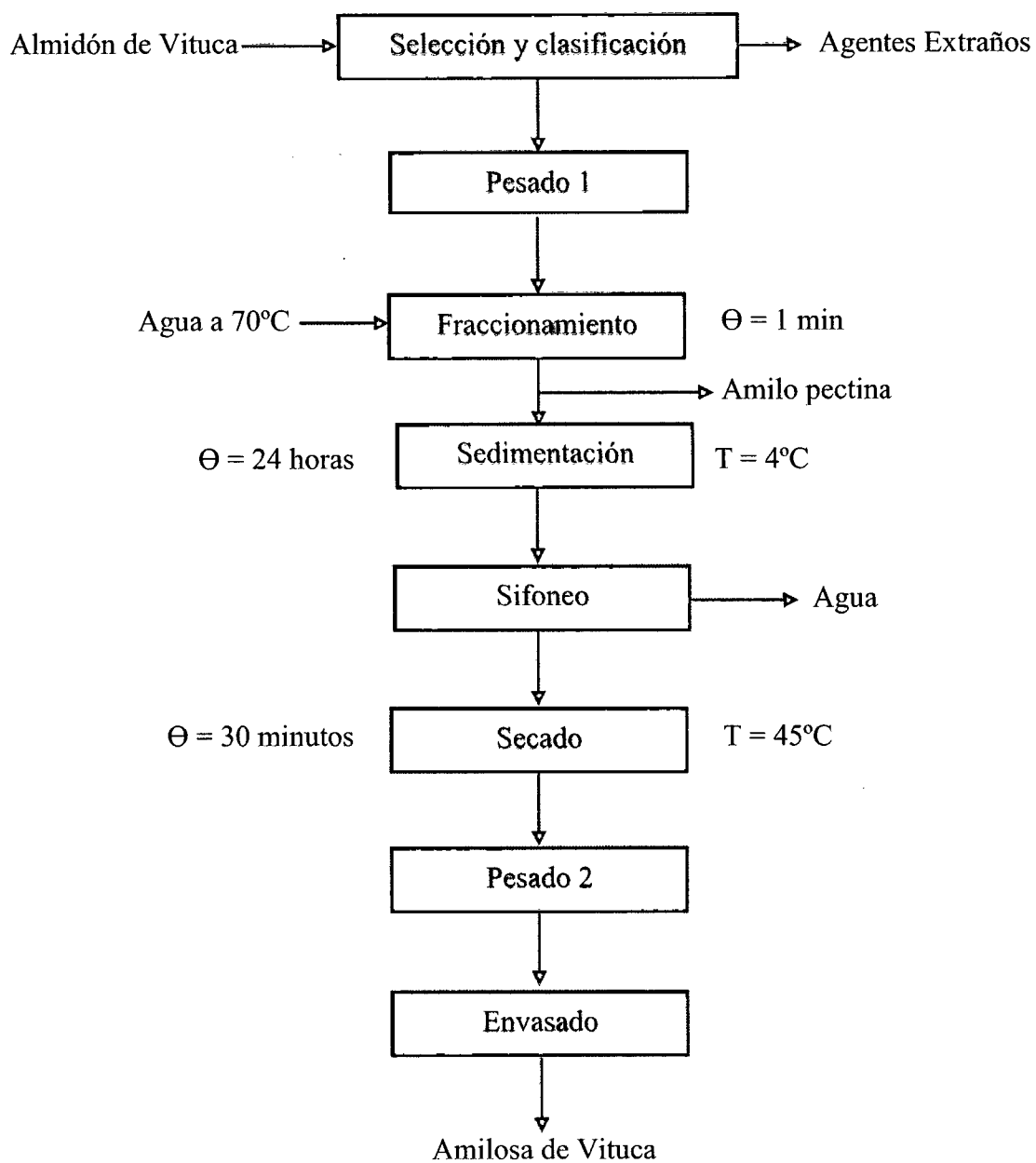
Se secó en un Secador de Bandejas a 45 °C, por un tiempo de 10 minutos.

### **g) Pesado 2**

Para calcular los rendimientos se pesó la amilosa resultante.

### **h) Envasado**

Se envaso en bolsas de polietileno.

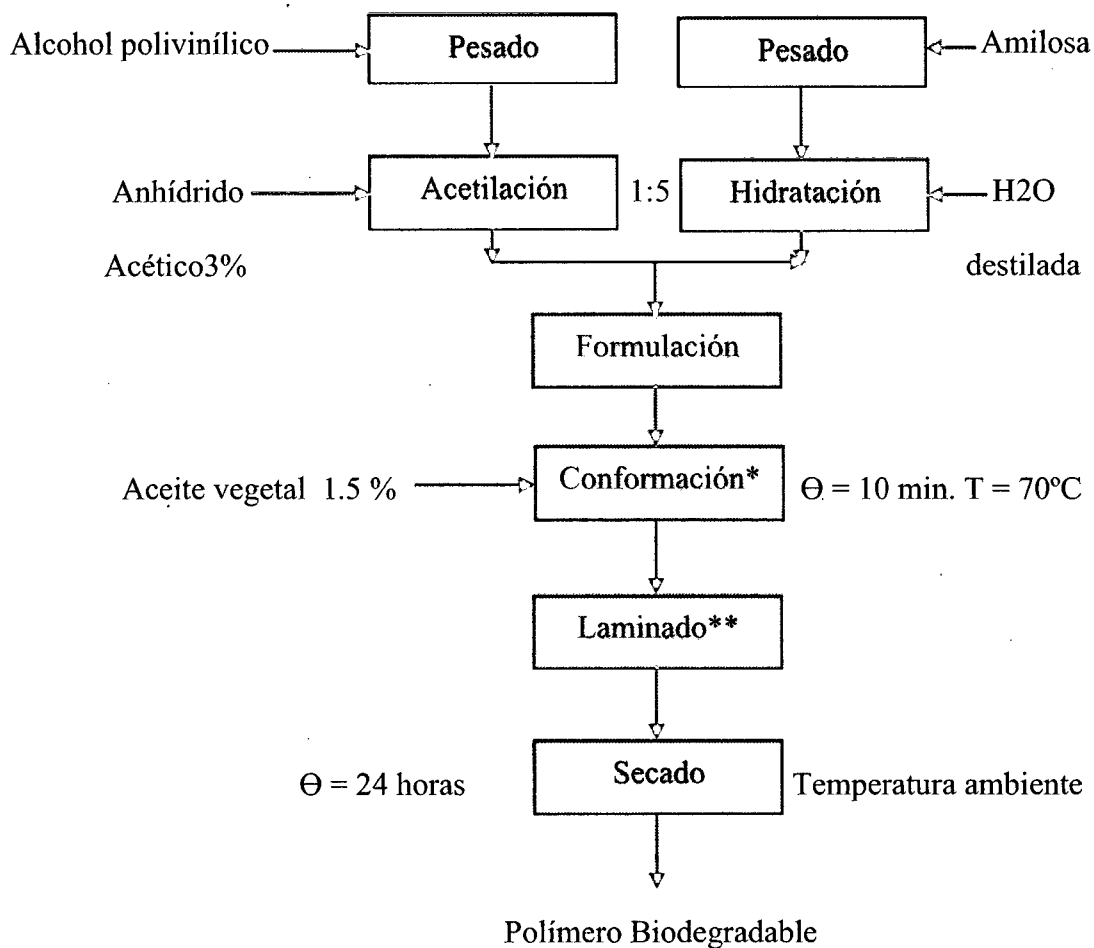


**Figura 11.** Diagrama de flujo en la obtención de la amilosa de *Colocasia esculenta*.

**Fuente:** Elaboración Propia / 2014

### Obtención de polímero biodegradable

Se realizó la elaboración del biopolímero siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la figura 12, según el siguiente detalle:



**Figura 12.** Diagrama de Flujo en la elaboración del Polímero biodegradable

**Fuente:** Elaboración Propia / 2015

\* usar aceite entre 0.5% - 2% del volumen del molde, para evitar que el polímero se pegue.

\*\* extender en el molde en condiciones de presión y temperatura controlada, según tamaño deseado.

## **2.4. Evaluación de las Propiedades Físicas, químicas y biológicas del Polímero Biodegradable**

### **Humedad**

La cantidad de agua presente en la película biodegradable se cuantificó en porcentaje, siguiendo el método Oficial de AACC, (1993), según el anexo 1.1.

### **pH**

El pH se de la Película Biodegradable, se obtuvo a partir del método oficial de la AACC, (1993), según el anexo 1.2

### **Acidez Titulable**

La medición de la acidez titulable de la película del polímero biodegradable se realizó empleando el método oficial de la AACC, (1993), según el anexo 1.3.

### **Análisis Microbiológico**

Se realizó el análisis microbiológico de la película de polímero biodegradable, mediante el Método (AOAC OFFICIAL METHOD 966.23.C), usando la técnica recuento estándar en placa, en medio de cultivo de Agar Plate Count, tal como se detalla en el anexo 1.4.

### **Resistencia**

La película del polímero biodegradable se evaluó su resistencia con el uso del sensor de fuerza DUAL – RANGE ( $\pm 10\text{N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ) y el software Logger Pro 3.6.0, según el anexo 1.5

### **Elasticidad**

La película del polímero biodegradable se evaluó su elasticidad con el uso del sensor de fuerza DUAL – RANGE ( $\pm 10\text{N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ) y el software Logger Pro 3.6.0, según el anexo 1.6

### **Porcentaje de Biodegradación:**

La película del polímero biodegradable se evaluó su biodegradación en los diferentes medios y en condiciones ambientales, según el anexo 1.7

## **Tiempo de Biodegradación**

La Película del polímero biodegradable se evaluó el tiempo de biodegradación de los diferentes medios, según el anexo 1.8

### **2.5. Análisis estadístico**

#### **Evaluación del Polímero Biodegradable**

Para evaluar estadísticamente el tiempo de degradación del polímero biodegradable, se empleó un experimento bifactorial del tipo 3Ax3B, bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 3 repeticiones por unidad experimental utilizando el software estadístico SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

#### **Factores:**

##### **A. Proporción de amilosa y alcohol polivinílico**

a<sub>1</sub>: 75 % de alcohol polivinílico + 25 % Amilosa.

a<sub>2</sub>: 50 % de alcohol polivinílico + 50 % Amilosa.

a<sub>3</sub>: 25 % de alcohol polivinílico + 75% Amilosa.

##### **B. Medios de degradación**

b<sub>1</sub>: Levadura al 1%

b<sub>2</sub>: Agua residual

b<sub>3</sub>: Tierra orgánica

#### **Variables respuestas:**

##### **i. Características físico mecánicas:**

Y<sub>1</sub>: resistencia

Y<sub>2</sub>: elasticidad.

Y<sub>3</sub>: tiempo de degradación

**Unidad Experimental:** Película de polímero biodegradable

### Modelo Aditivo Lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

#### Dónde:

$Y_{ijk}$  : Tiempo de degradación experimentado en el i-ésimo porcentaje de amilosa; j - ésimo medio de degradación; k - ésima unidad experimental.

$\mu$  : Efecto de la media general.

$\alpha_i$  : Efecto de la i - ésima proporción de amilosa de Vituca.

$\beta_j$  : Efecto del j-ésimo medio de degradación.

$(\alpha\beta)_{ij}$  : Efecto de la interacción de i- ésima proporción de amilosa de Vituca y j- ésimo medio de degradación.

$\varepsilon_{ijk}$  : Error experimental.

### Comparaciones múltiples

Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos se empleó la prueba Tukey con:

Nivel de Significancia ( $\alpha$ ) : 5%

Nivel de Confianza ( $1-\alpha$ ) : 95%

**Tabla 6. Claves de los diferentes tratamientos**

<b>CLAVE</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
<b>T1</b>	75% alcohol polivinílico + 25% amilosa, Levadura 1%
<b>T2</b>	75% alcohol polivinílico + 25% amilosa, agua residual
<b>T3</b>	75% alcohol polivinílico + 25% amilosa, tierra orgánica
<b>T4</b>	50% alcohol polivinílico + 50% amilosa, Levadura 1%
<b>T5</b>	50% alcohol polivinílico + 50% amilosa, agua residual
<b>T6</b>	50% alcohol polivinílico + 50% amilosa, tierra orgánica
<b>T7</b>	25% alcohol polivinílico + 75% amilosa, Levadura 1%
<b>T8</b>	25% alcohol polivinílico + 75% amilosa, agua residual
<b>T9</b>	25% alcohol polivinílico + 75% amilosa, tierra orgánica

**Fuente:** elaboración propia / 2015

**Tabla 7: Interpretación estadística**

<b>CLAVE</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>A</b>	Si es una misma letra pertenece a un grupo homogéneo.
<b>B</b>	
<b>C</b>	
<b>D</b>	Si es diferente letra, existe diferencia estadística significativa
<b>E</b>	
<b>F</b>	
<b>G</b>	

**Fuente:** Elaboración propia / 2015



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Propiedades físico - químicas del polímero biodegradable

**Tabla 8. Características generales del polímero biodegradable**

Polímero	Largo (Cm)	Ancho (Cm)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Espesor (µm)	Color
A1	10	5	50	20	Traslucidos
A2	10	5	50	20	
A3	10	5	50	20	

**Tabla 9. Valores de Humedad del polímero biodegradable**

Muestra	Repetición	Humedad %	Humedad promedio %
Polímero Biodegradable A1(75% APV + 25% amilosa)	1	11.23	11.8966
	2	12.45	
	3	12.01	
Polímero Biodegradable A2(50% APV + 50% amilosa)	1	11.80	11.8666
	2	12.04	
	3	11.76	
Polímero Biodegradable A3(25% APV + 75% amilosa)	1	11.25	11.9033
	2	11.98	
	3	12.48	

**Tabla 10. Valores de Acidez titulable del polímero biodegradable**

Muestra	Repetición	Acidez titulable %	Acidez titulable promedio %
Polímero Biodegradable A1(75% APV + 25% amilosa)	1	0.67	0.610
	2	0.60	
	3	0.56	
Polímero Biodegradable A2(50% APV + 50% amilosa)	1	0.54	0.536
	2	0.58	
	3	0.49	
Polímero Biodegradable A3(25% APV + 75% amilosa)	1	0.54	0.530
	2	0.51	
	3	0.51	

**Tabla 11. Valores análisis microbiológico del polímero biodegradable**

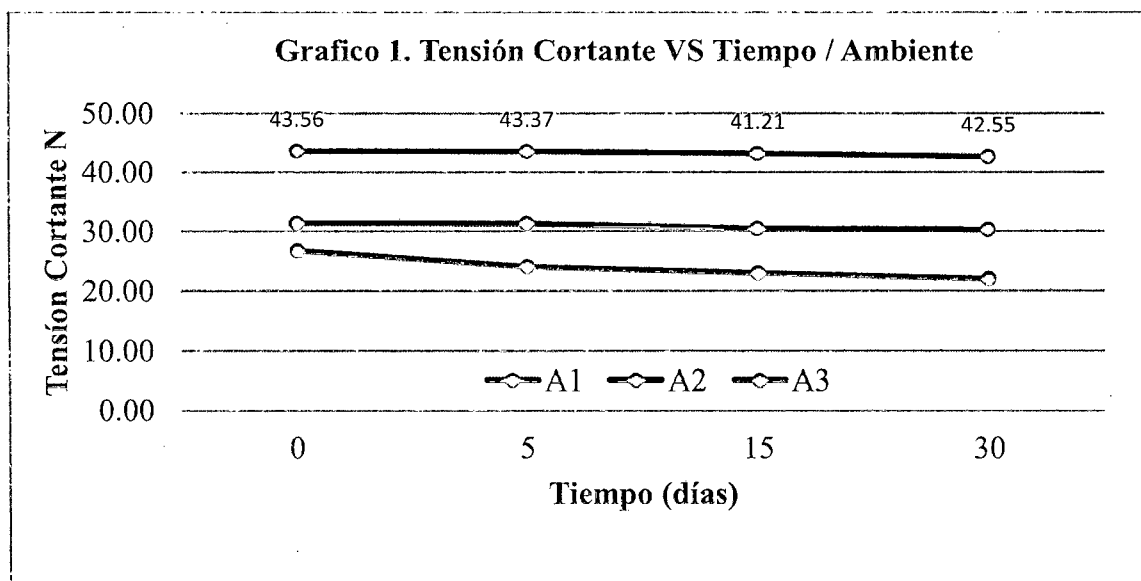
Muestra	Método	Recuento proximal de microorganismos mesófilos viables
Polímero Biodegradable A1(75% APV + 25% amilosa)	1	UFC < 100
	2	
	3	
Polímero Biodegradable A2(50% APV + 50% amilosa)	1	
	2	
	3	
Polímero Biodegradable A3(25% APV + 75% amilosa)	1	
	2	
	3	

**Tabla 12. Valores de pH del polímero biodegradable**

Muestra	Repetición	pH	pH promedio
Polímero Biodegradable A1(75% APV + 25% amilosa)	1	6.78	6.7133
	2	6.45	
	3	6.91	
Polímero Biodegradable A2(50% APV + 50% amilosa)	1	6.80	6.5333
	2	6.24	
	3	6.56	
Polímero Biodegradable A3(25% APV + 75% amilosa)	1	6.25	6.5766
	2	6.70	
	3	6.78	

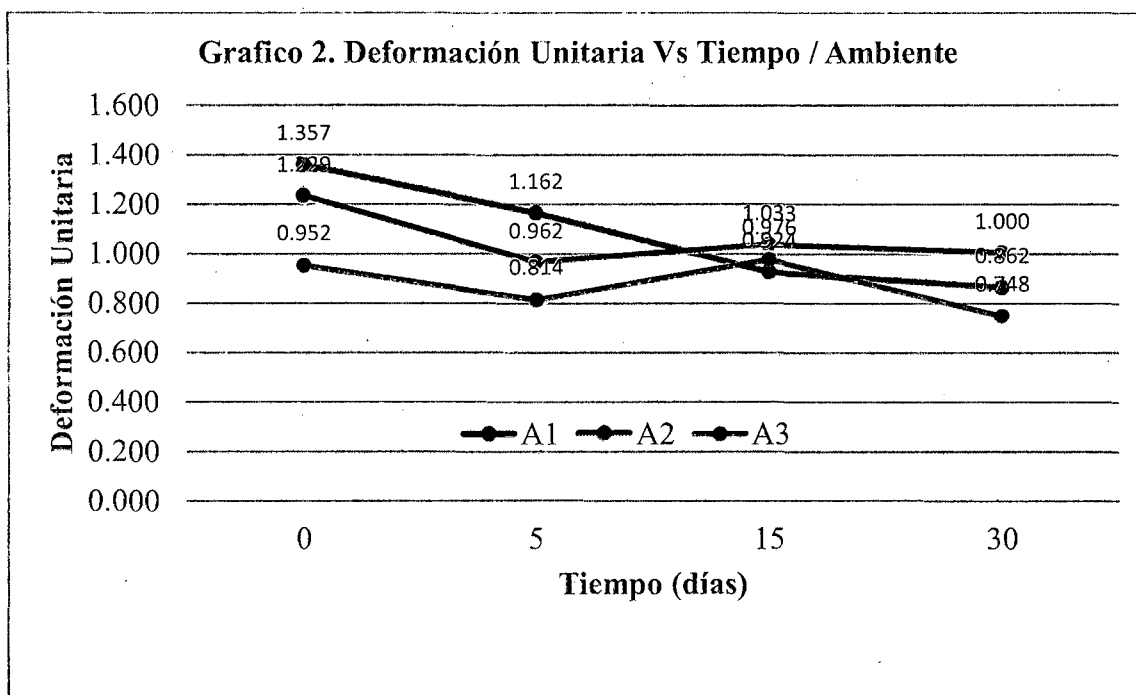
**Tabla 13. Valores Promedio de Tensión Cortante (N) de los Polímeros Evaluado en Condiciones Ambientales**

Tiempo (días)	A1	A2	A3
0	43.56	31.33	26.75
5	43.37	31.26	24.10
15	41.21	30.41	23.00
30	42.55	30.26	22.00



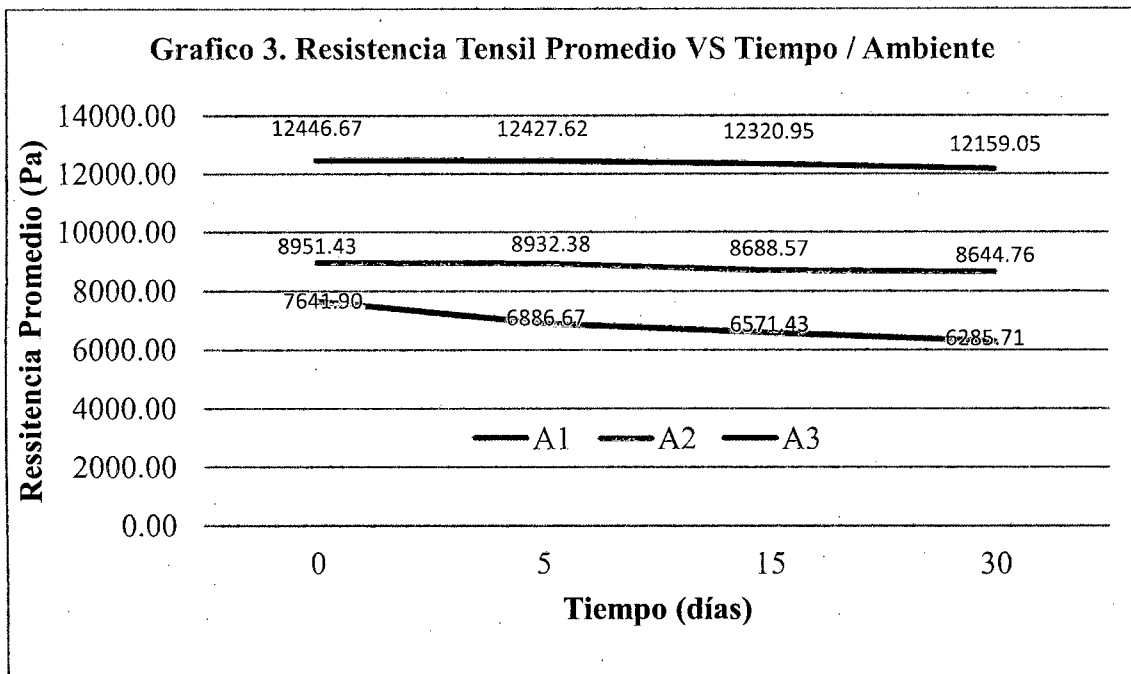
**Tabla 14. Valores Promedio de Deformación Unitaria de los Diferentes Polímeros  
Evaluados en condiciones ambientales**

Tiempo (días)	A1	A2	A3
0	1.357	1.229	0.952
5	1.162	0.962	0.814
15	0.924	1.033	0.976
30	0.862	1.000	0.748



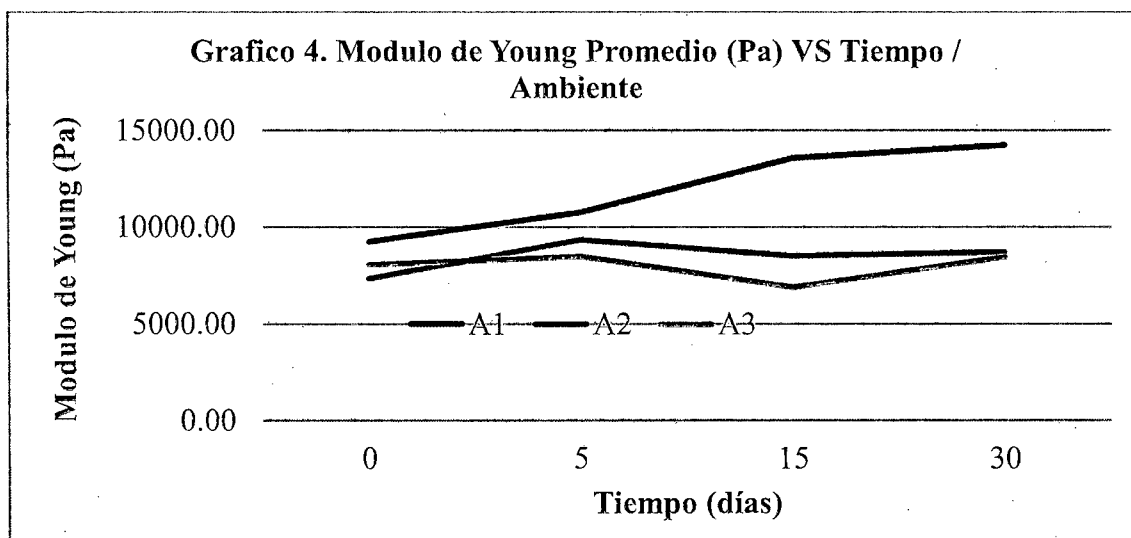
**Tabla 15. Valores Promedio de Resistencia Tensil Pa de los Diferentes Polímeros  
Biodegradables evaluados en Condiciones Ambientales**

Tiempo (días)	A1	A2	A3
0	12446.67	8951.43	7641.90
5	12427.62	8932.38	6886.67
15	12320.95	8688.57	6571.43
30	12159.05	8644.76	6285.71



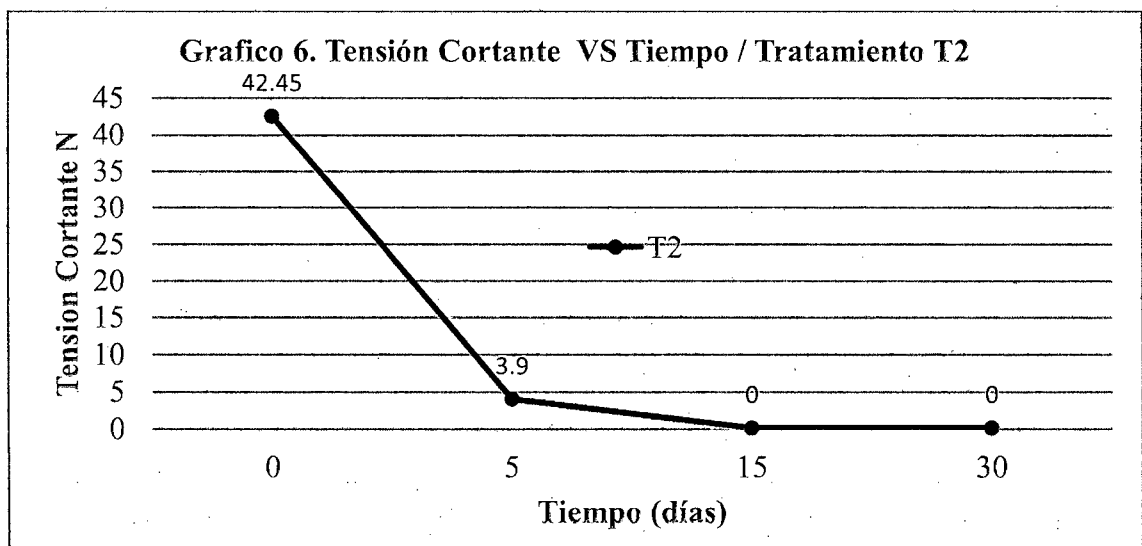
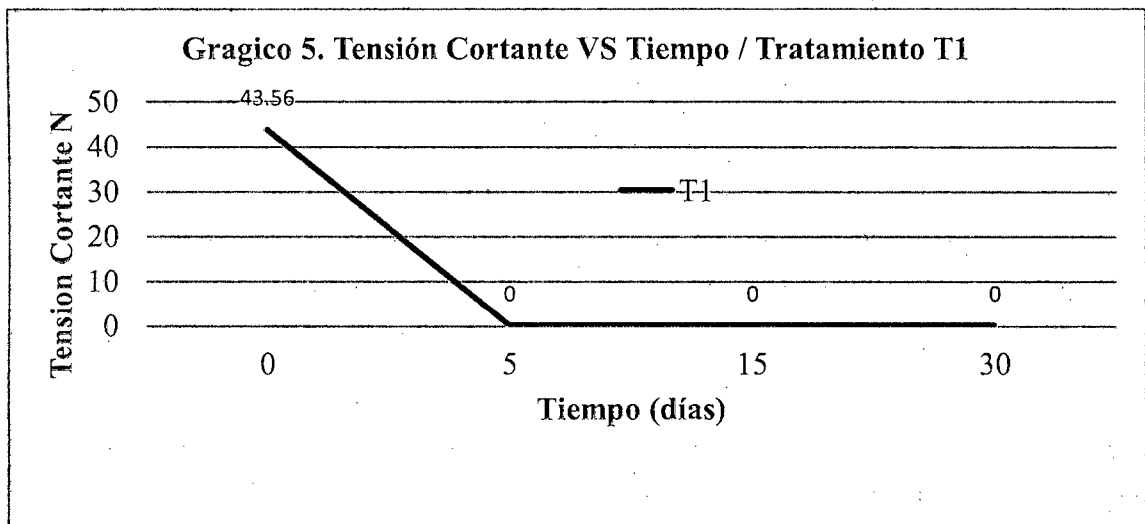
**Tabla 16. Valores Promedio del Módulo de Young Pa de los Polímeros biodegradables evaluados en condiciones ambientales**

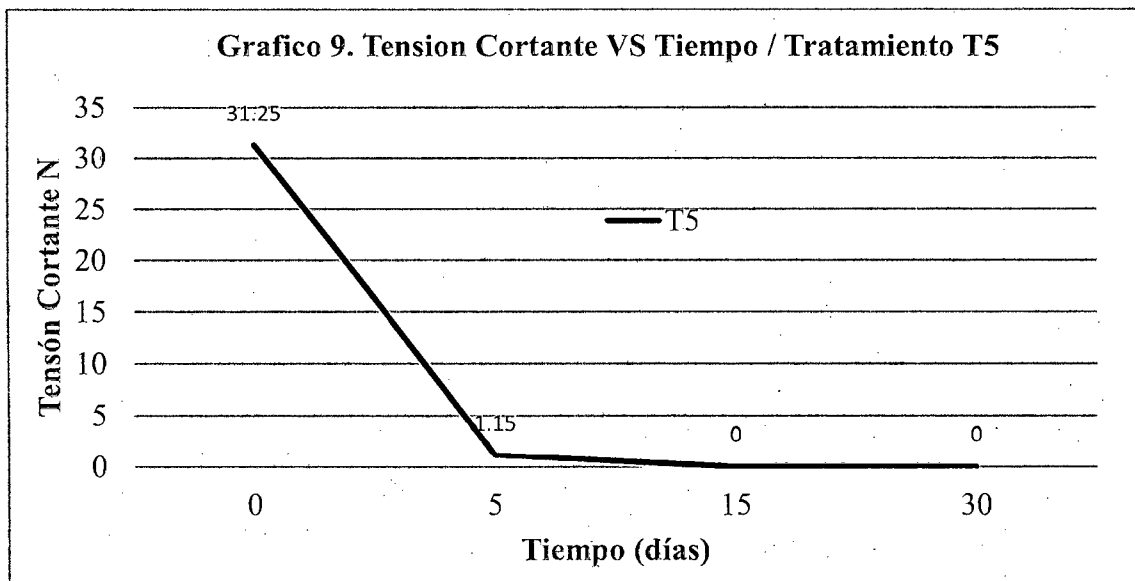
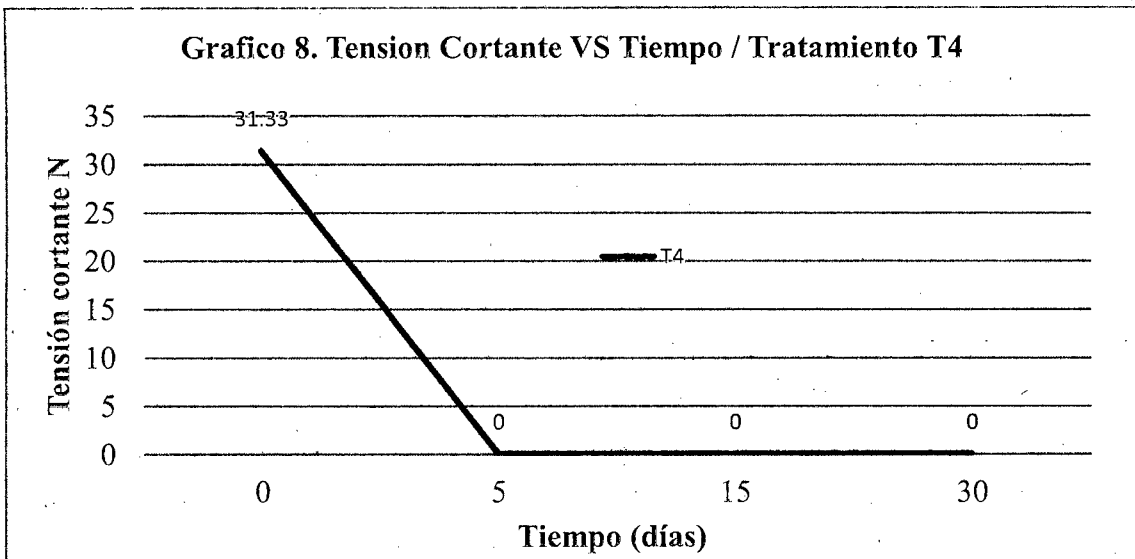
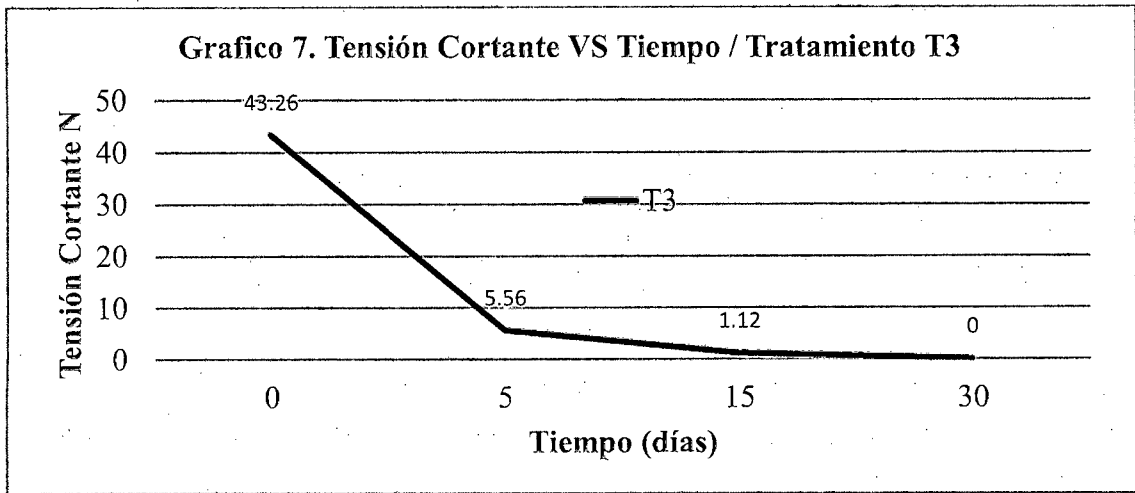
Tiempo (días)	A1	A2	A3
0	9185.77	7295.98	8027.76
5	10693.73	9291.41	8460.87
15	13491.83	8464.90	6866.47
30	14171.06	8664.09	8432.87

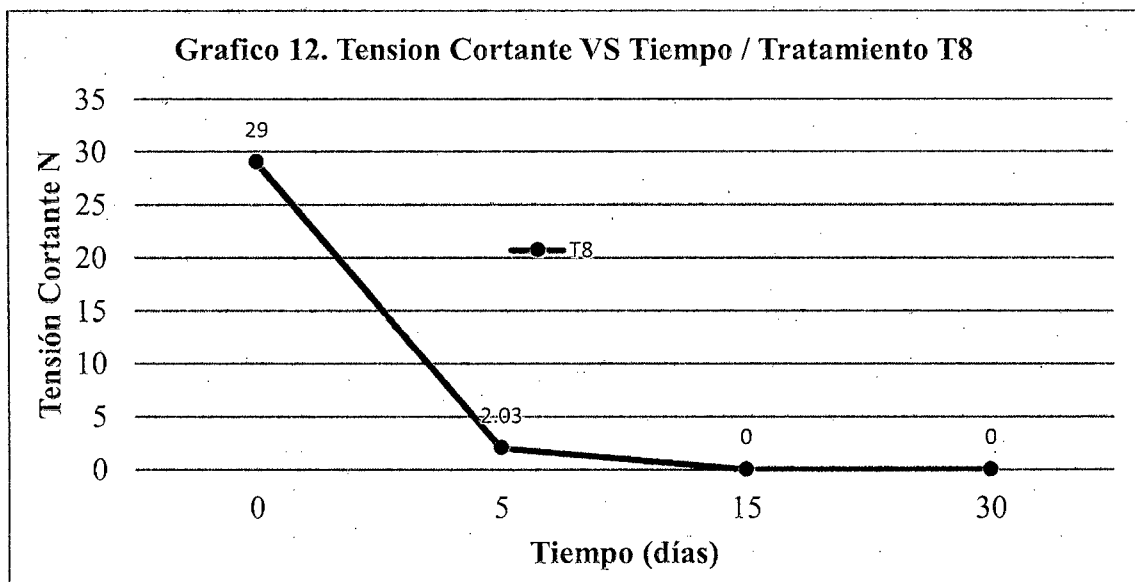
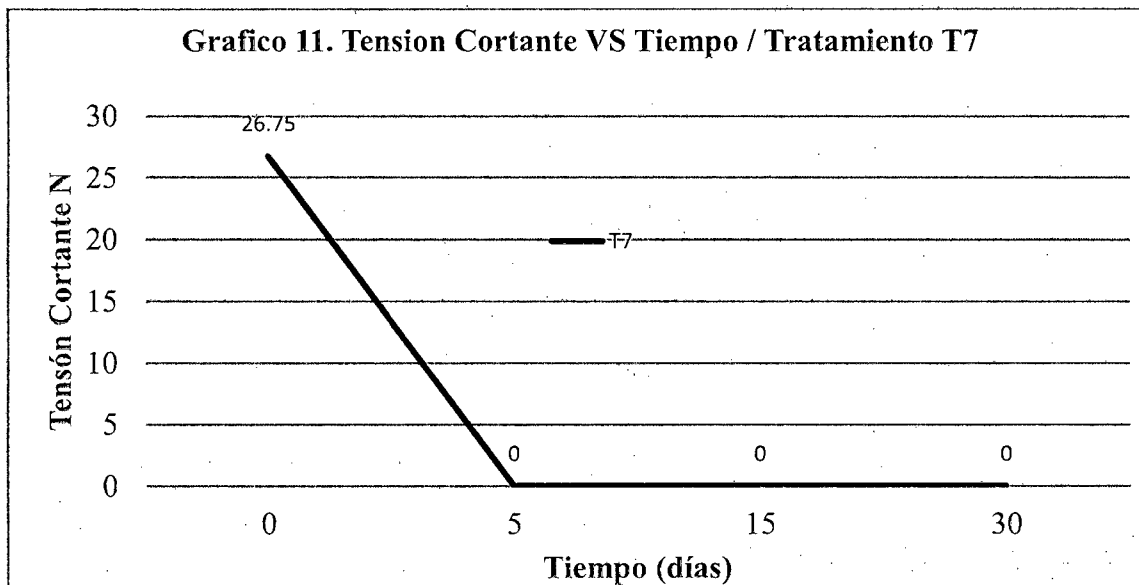
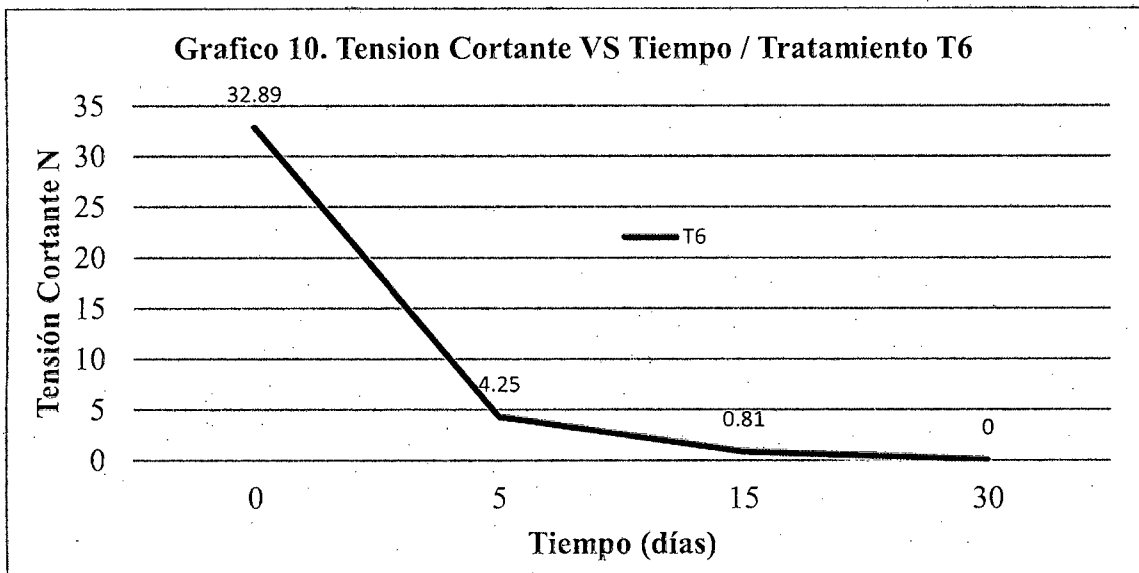


**Tabla 17. Valores Promedio de Tensión Cortante N de los Polímeros Biodegradables en los diferentes tratamientos**

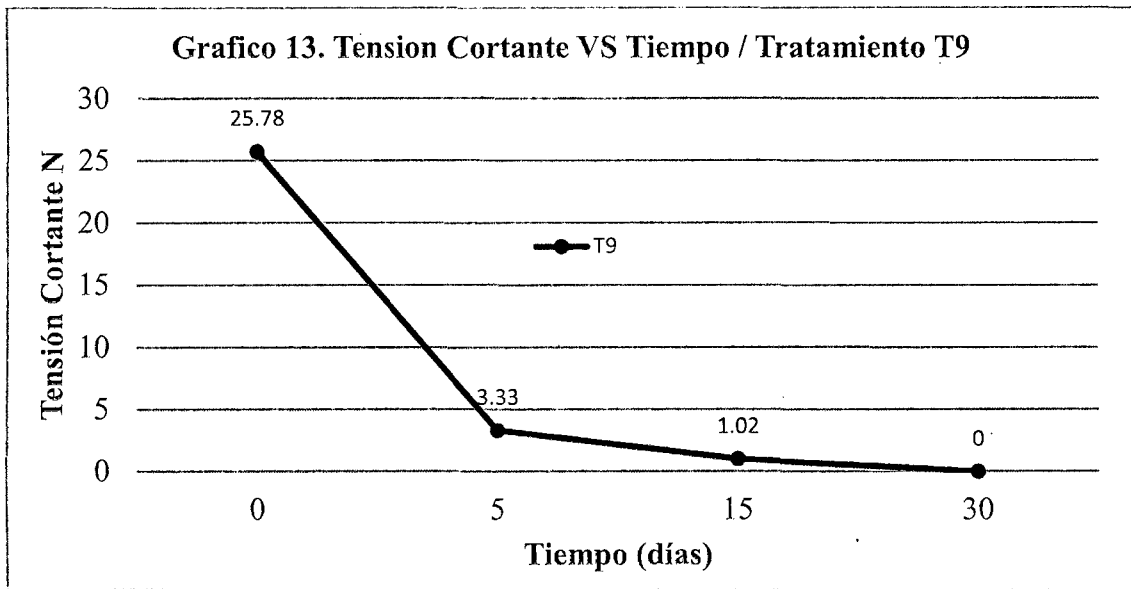
Tiempo (días)	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	43.56	42.45	43.26	31.33	31.25	32.89	26.75	29.00	25.78
5	0	3.9	5.56	0	1.15	4.25	0	2.03	3.33
15	0	0	1.12	0	0	0.81	0	0	1.02
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0





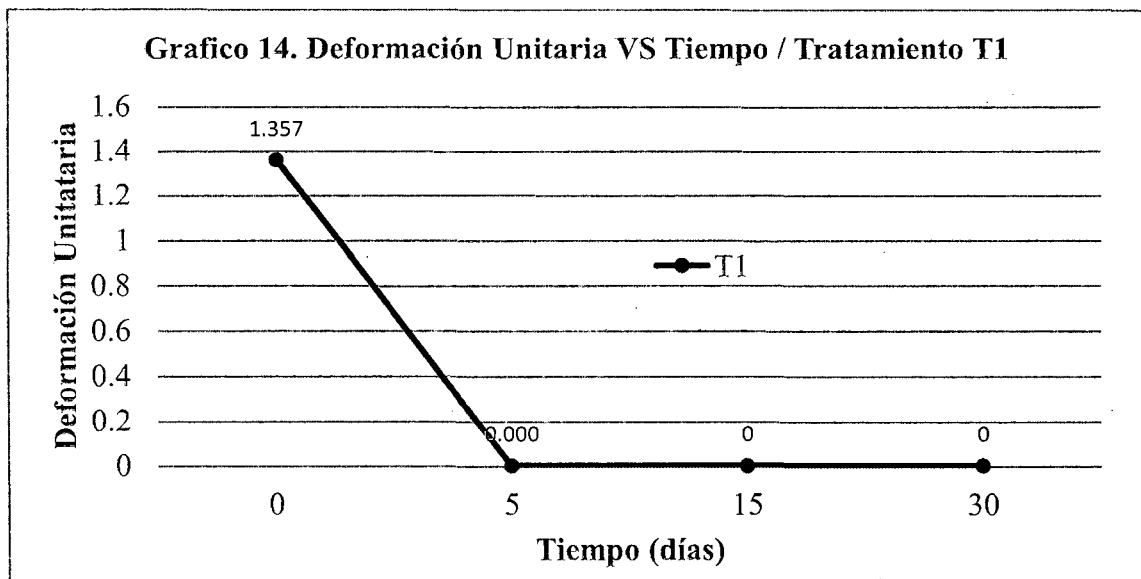


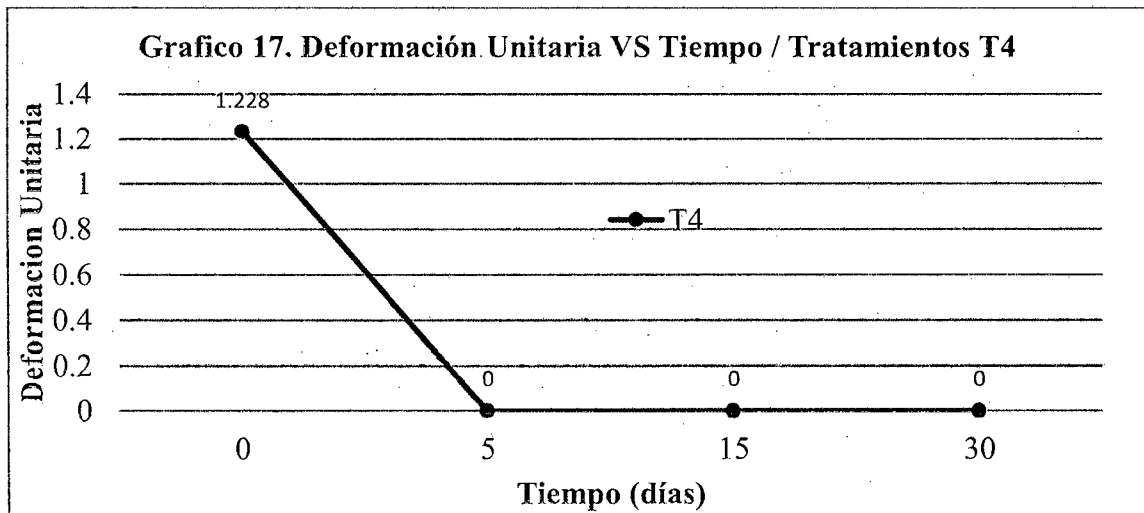
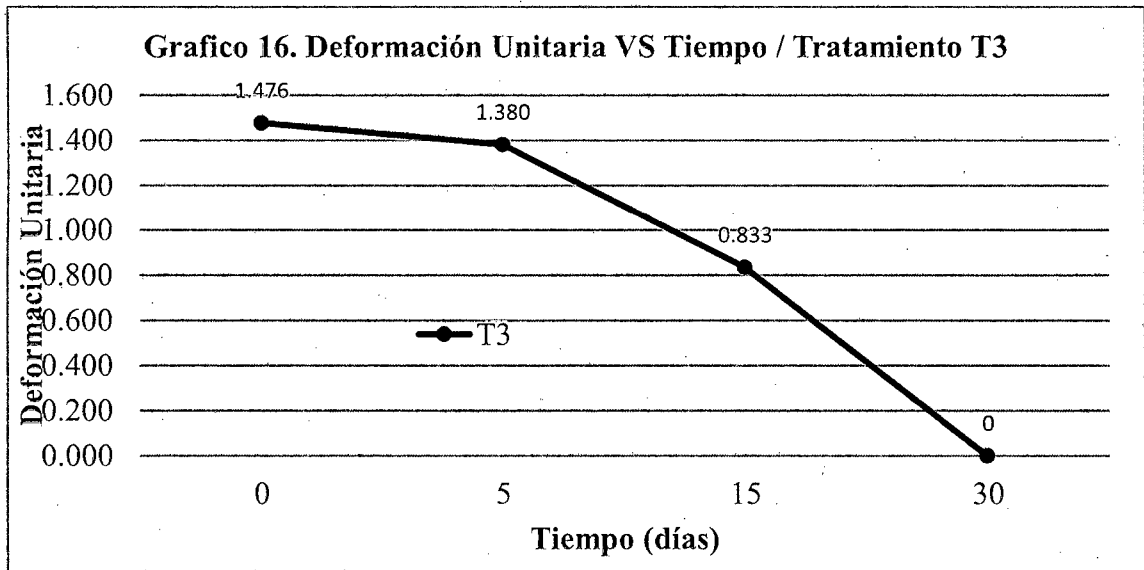
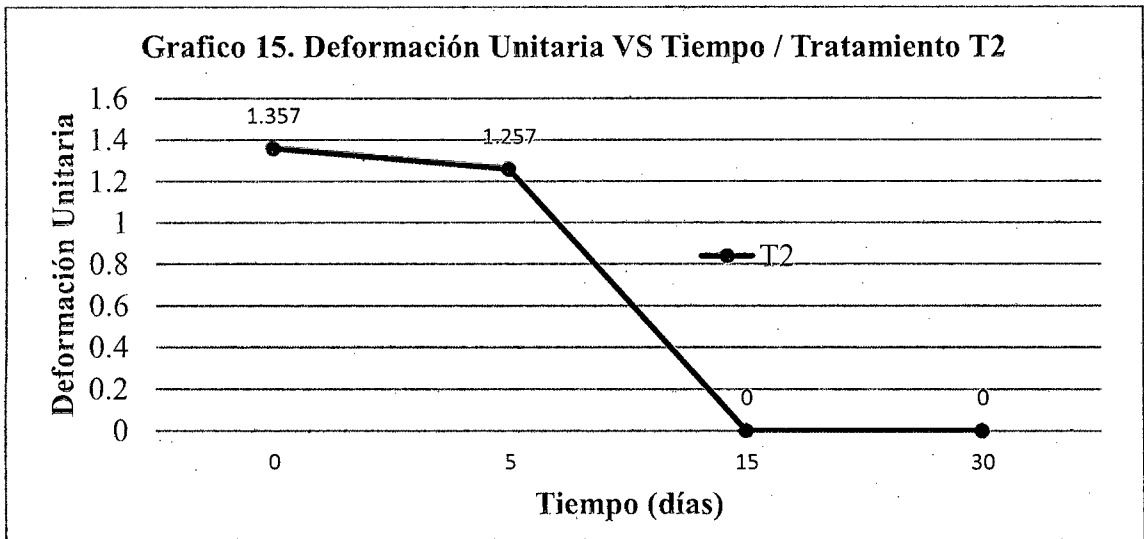


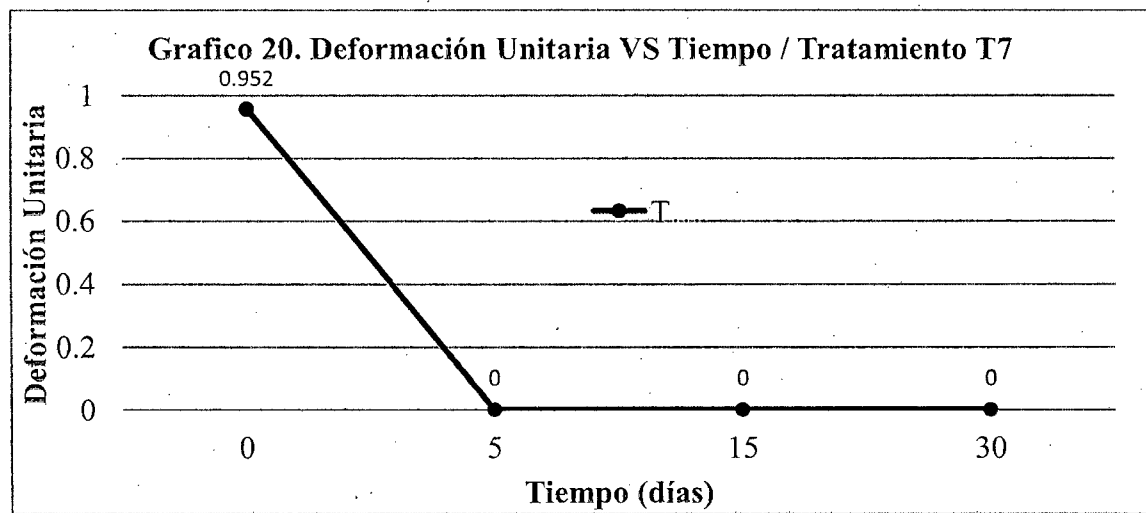
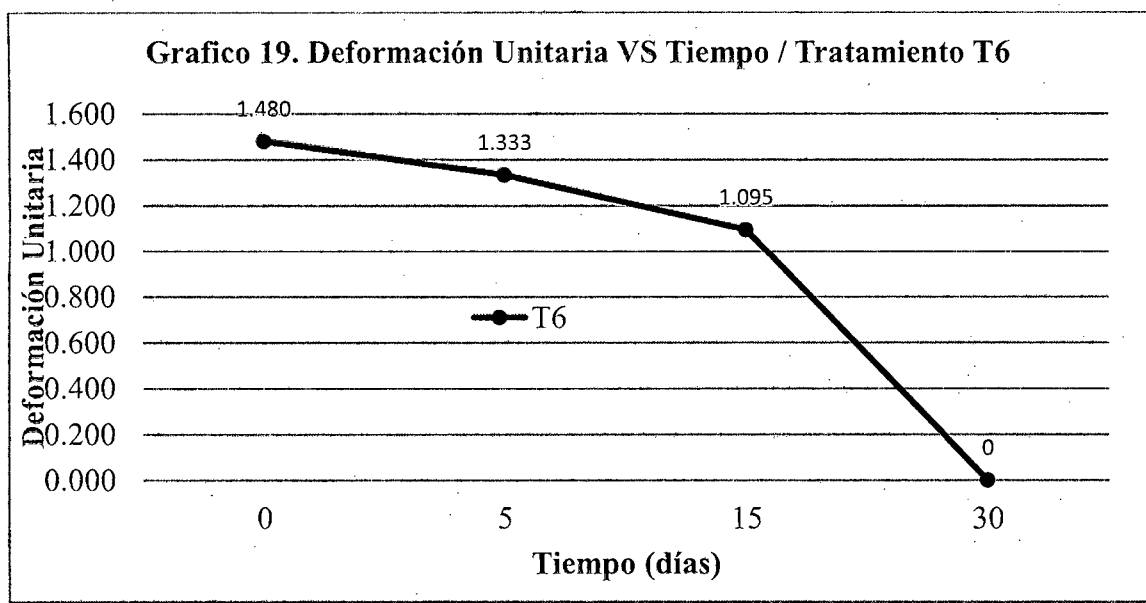
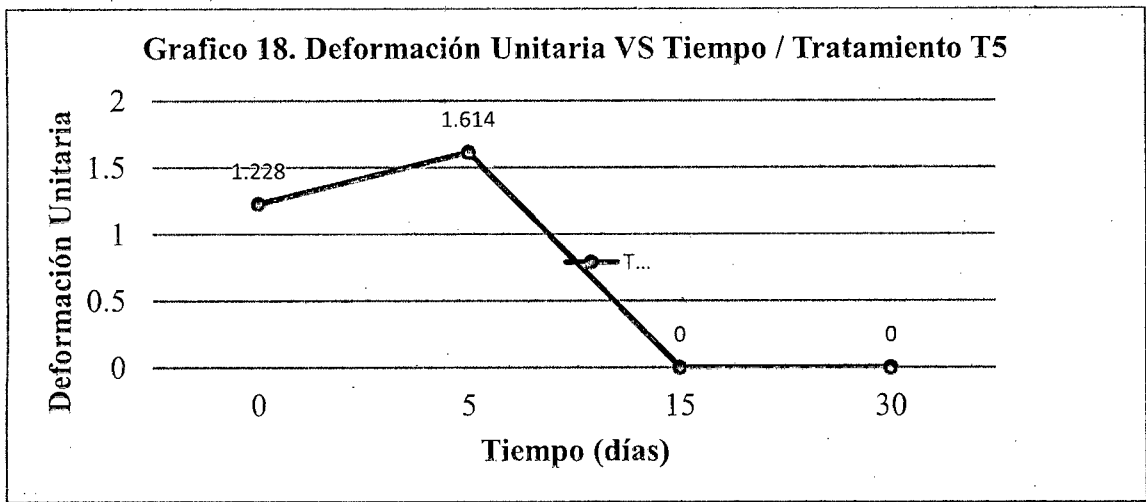


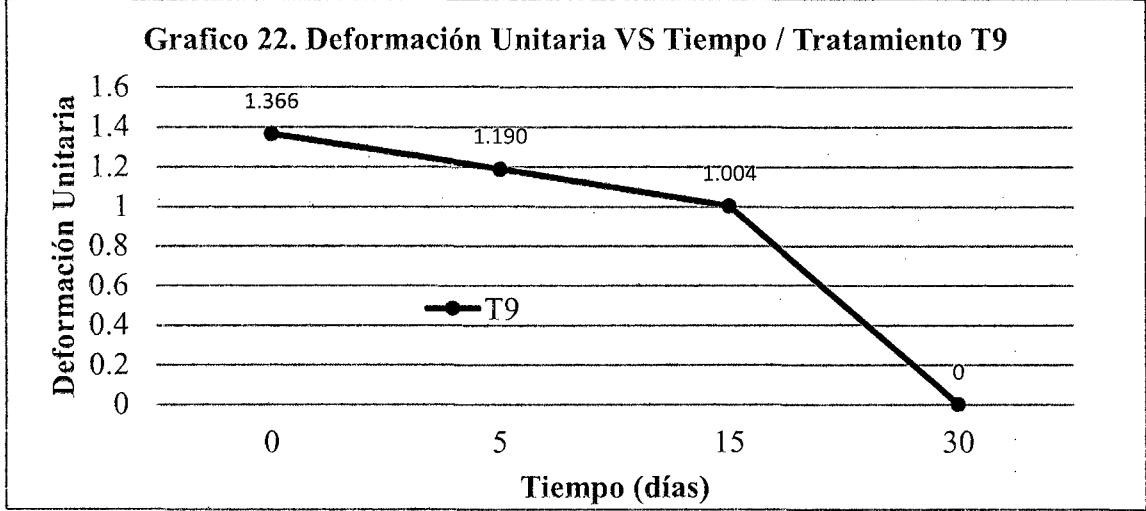
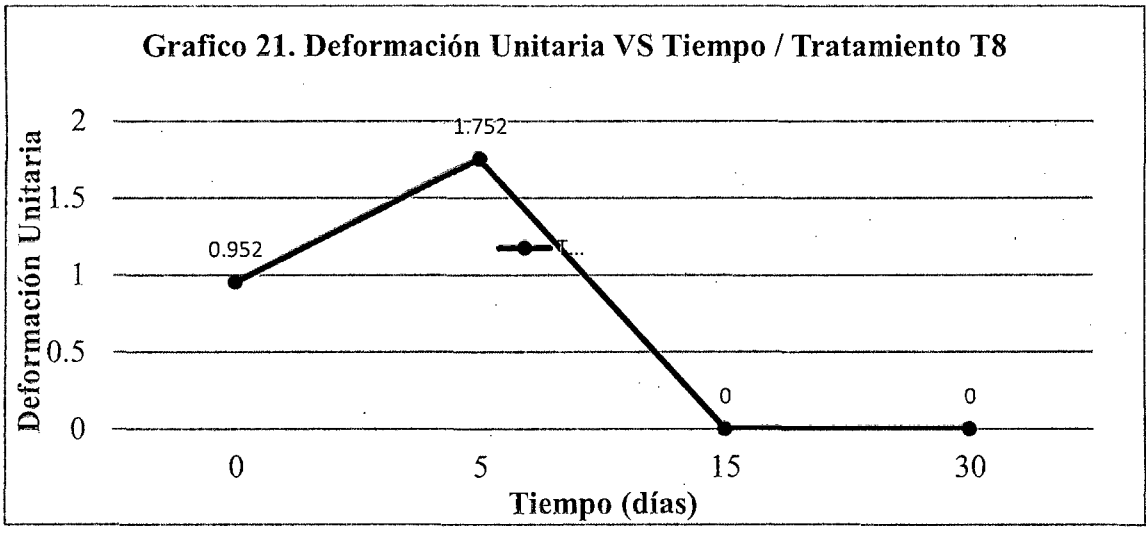
**Tabla 18. Valores Promedio de Deformación Unitaria de los Polímeros Biodegradables en los Diferentes Tratamientos**

Tiempo (días)	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	1.357	1.357	1.476	1.228	1.228	1.480	0.952	0.952	1.366
5	0	1.257	1.380	0	1.614	1.333	0	1.752	1.190
15	0	0	0.833	0	0	1.095	0	0	1.004
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0



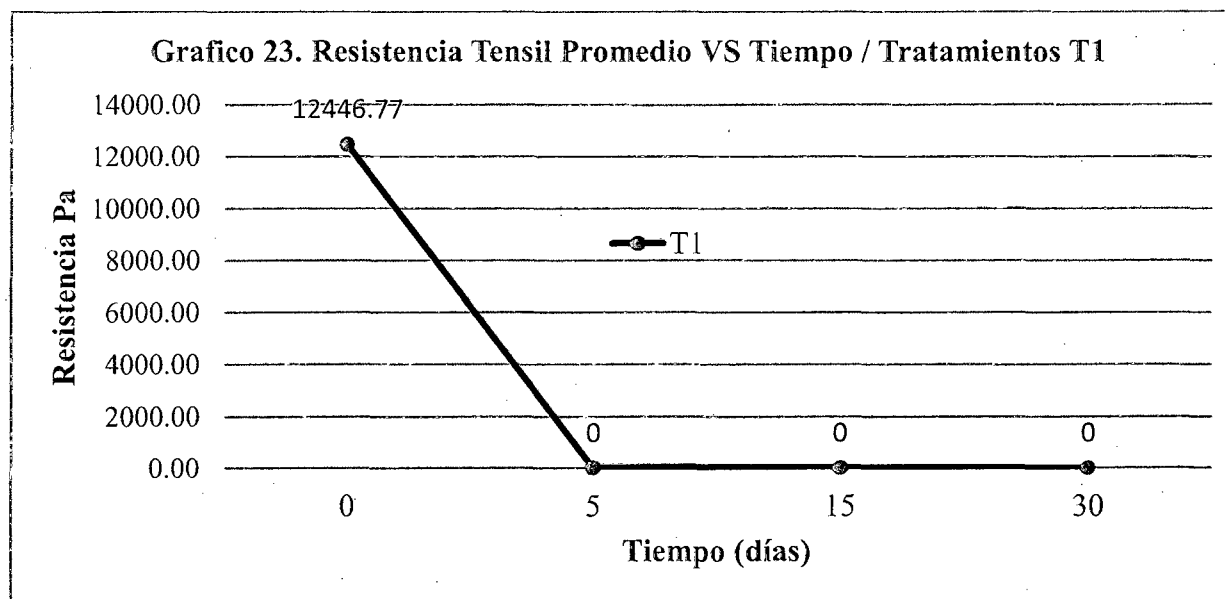


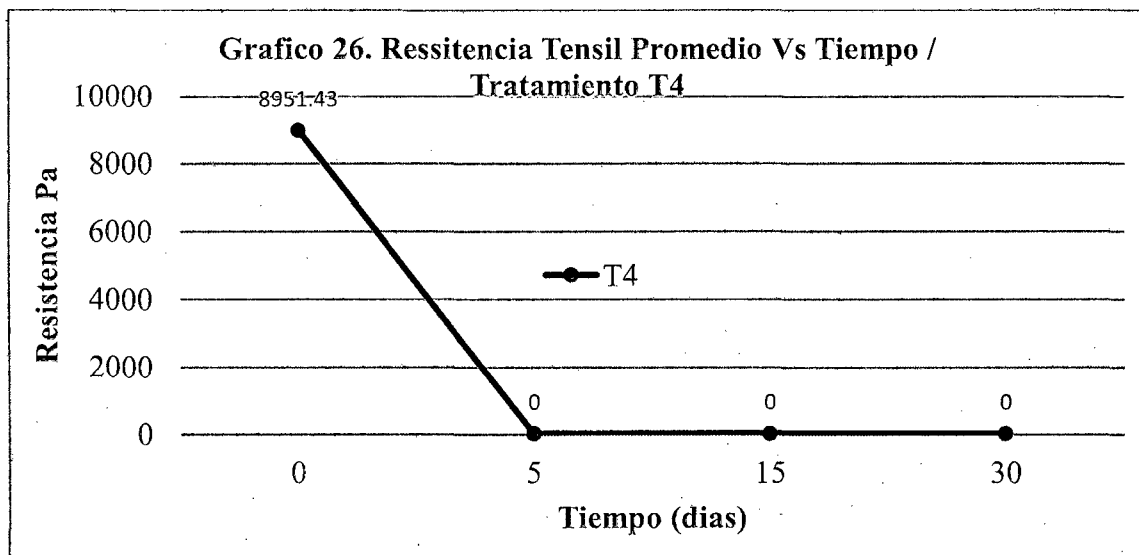
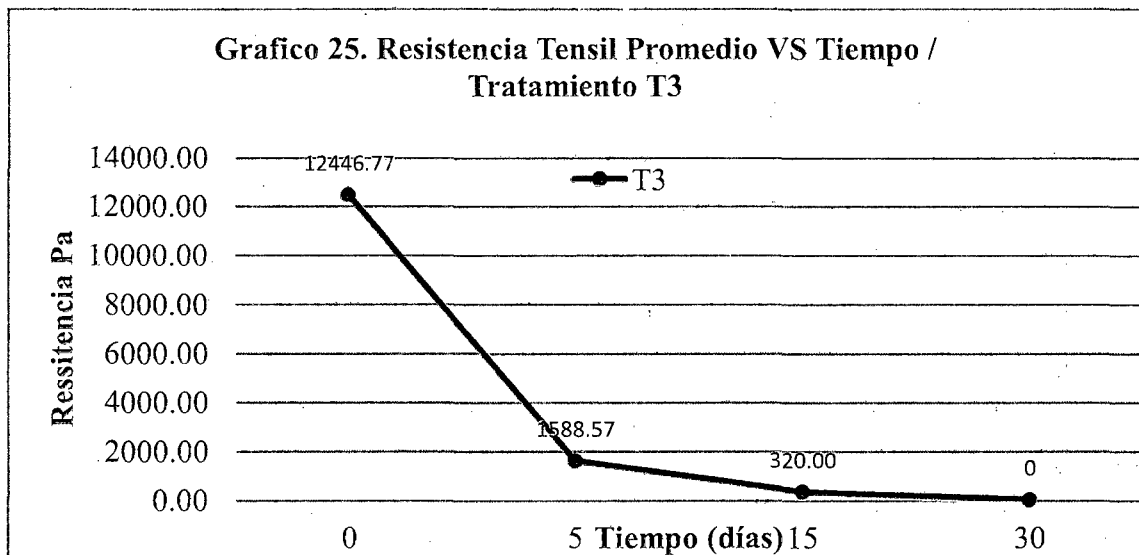
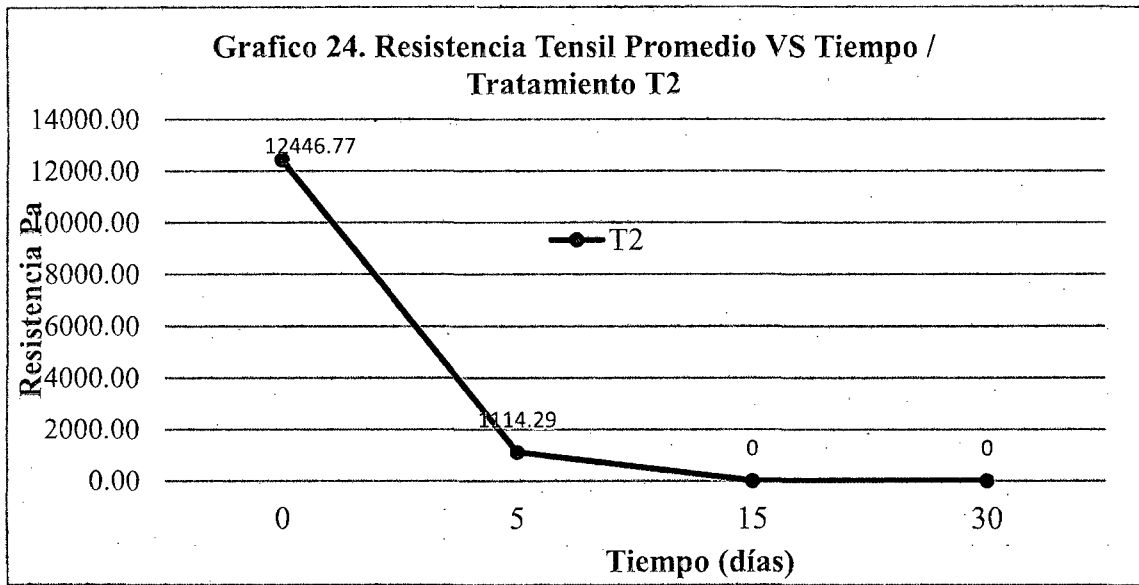


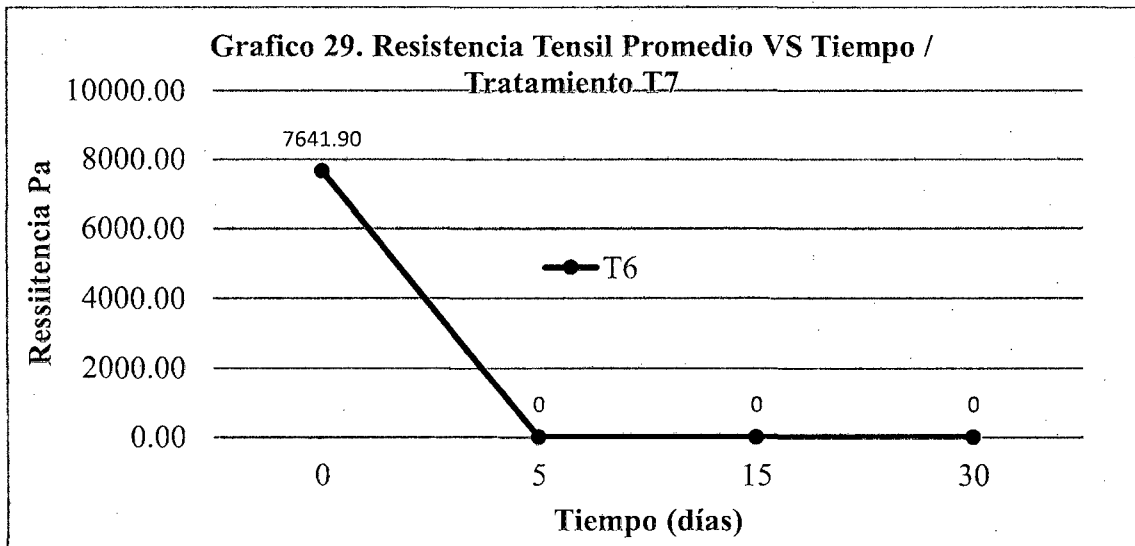
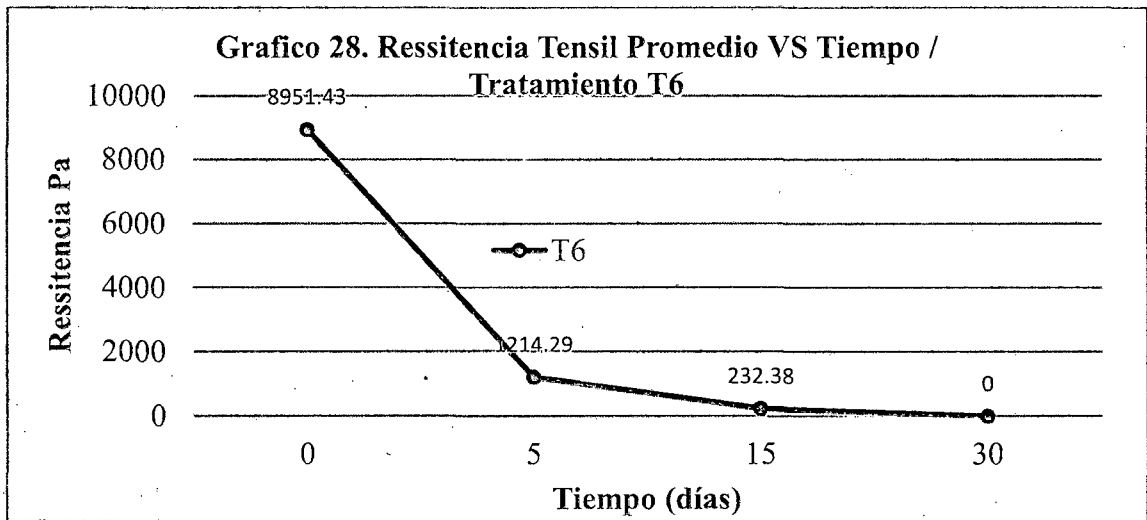
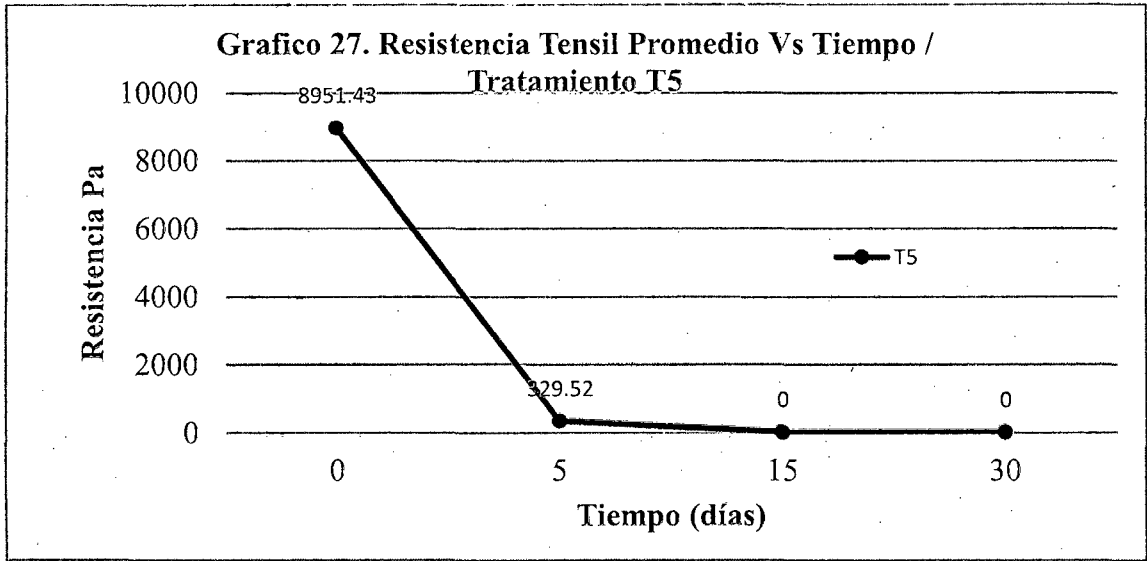


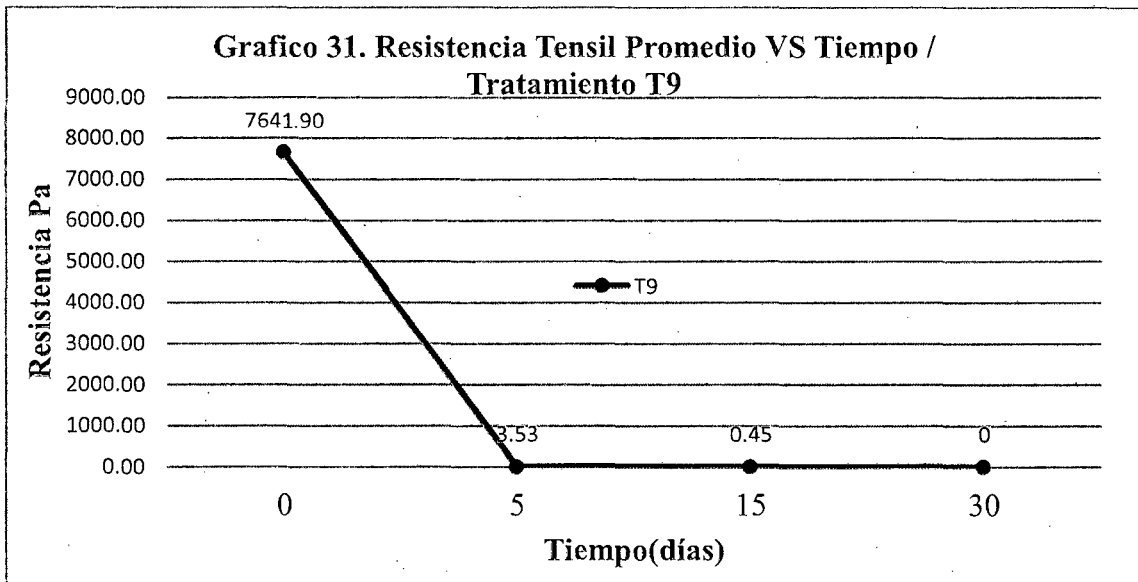
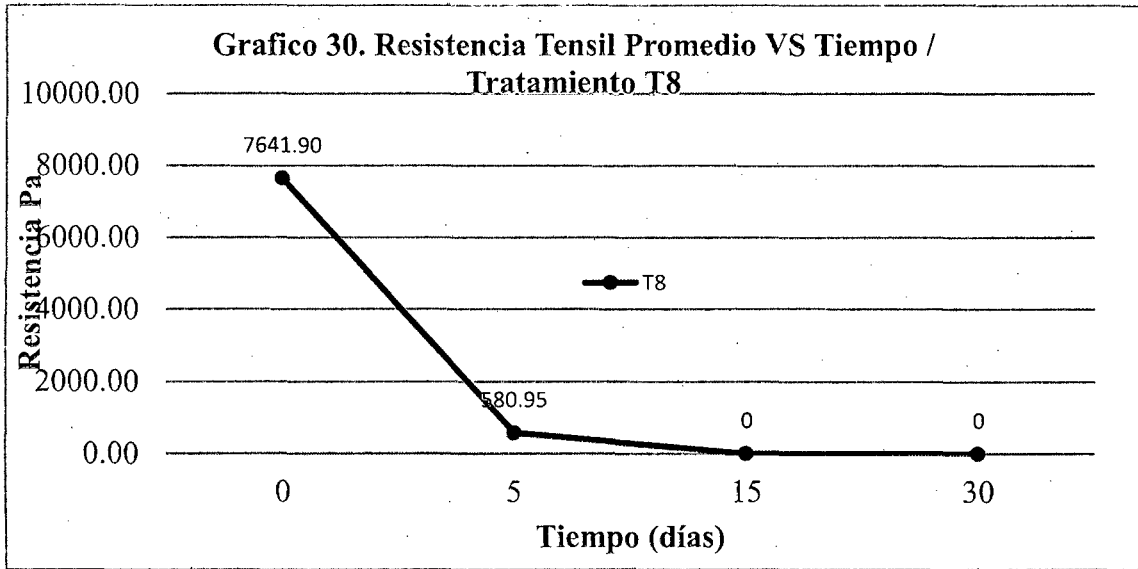
**Tabla 19. Valores Promedio de Resistencia Tensil Pa. de los Polímeros Biodegradables en los diferentes Tratamientos**

Tiempo (días)	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	12446.77	12446.77	12446.77	8951.43	8951.43	8951.43	7641.90	7641.90	7641.90
5	0	1114.29	1588.57	0	329.52	1214.29	0	580.95	3.53
15	0	0	320.00	0	0	232.38	0	0	0.45
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0





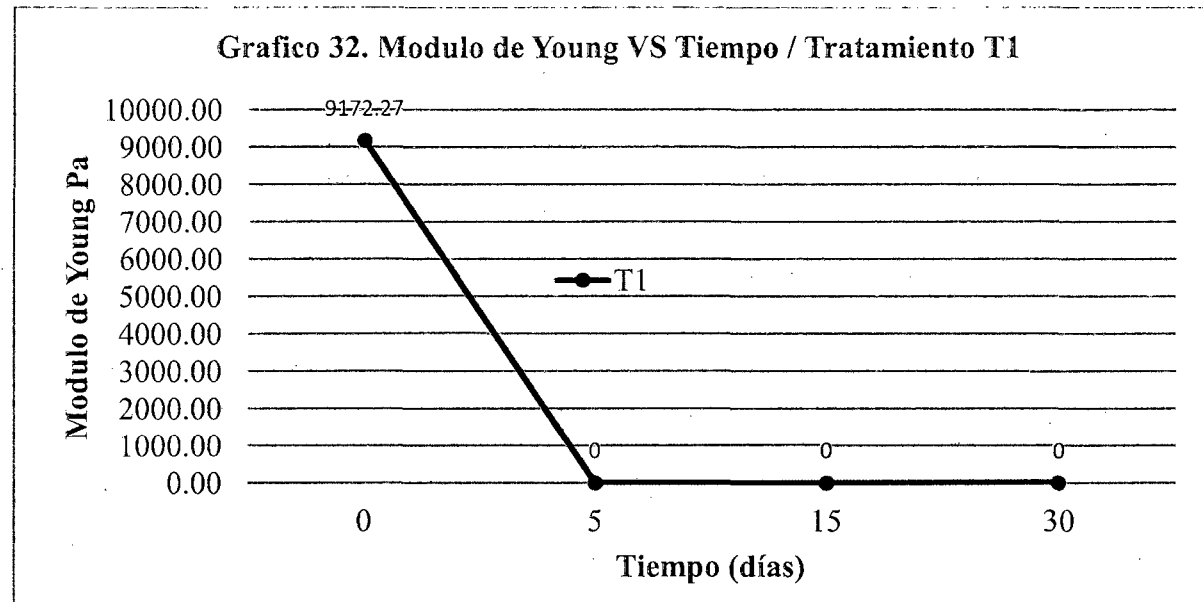


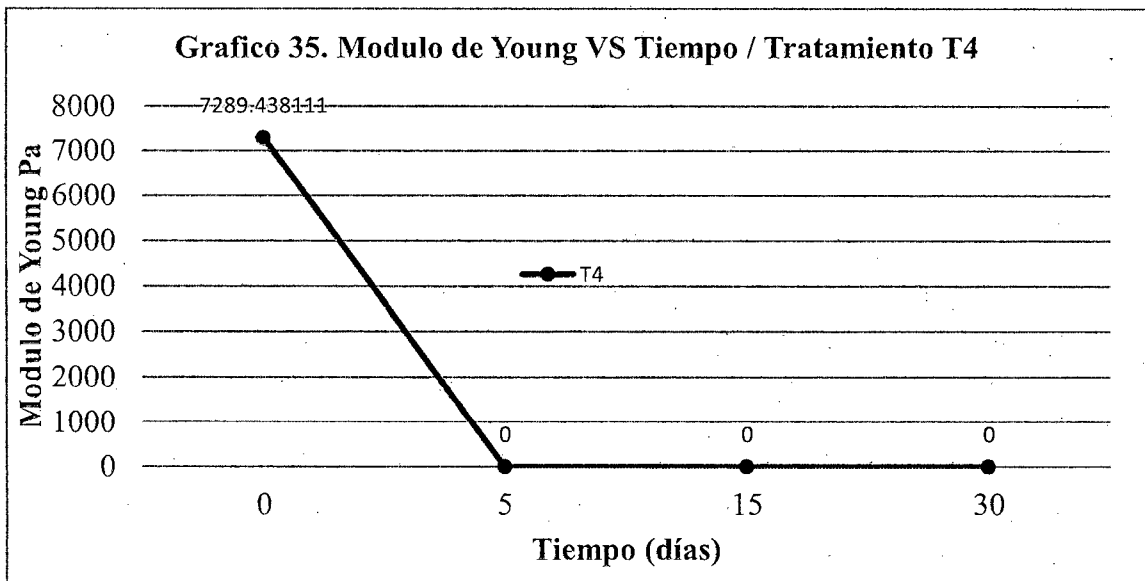
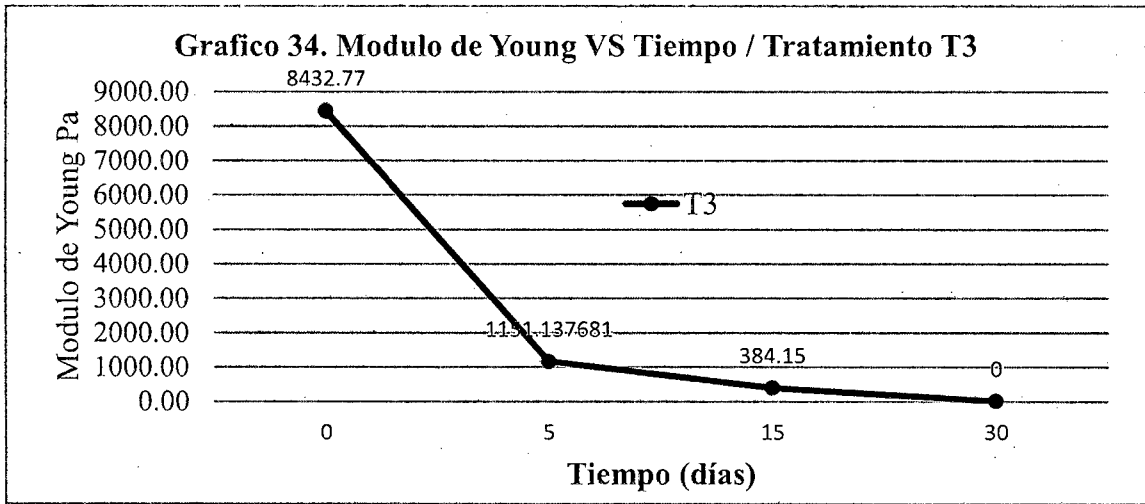
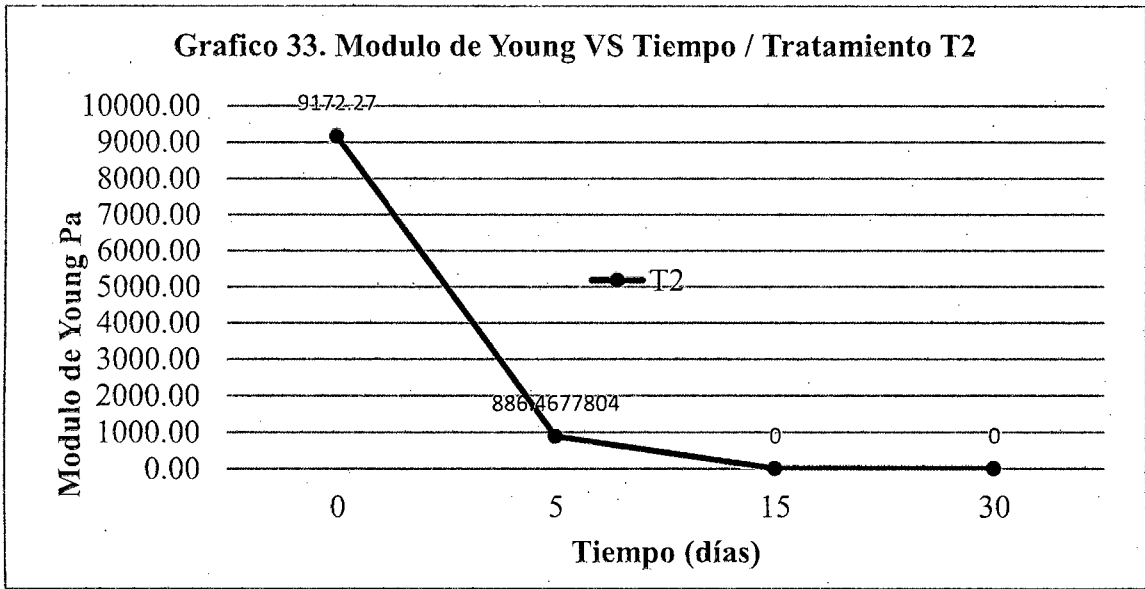




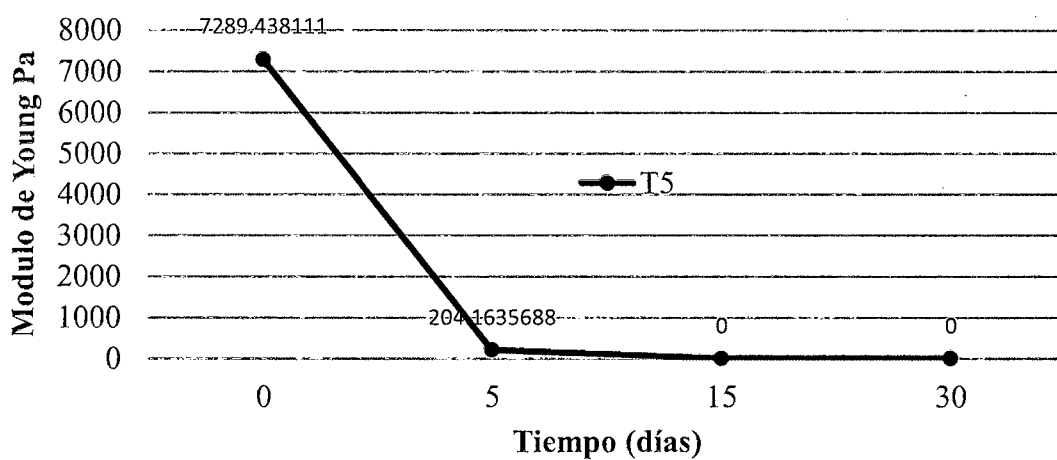
**Tabla 20. Valores Promedio de Modulo de Young Pa del Polímero Biodegradable en los diferentes tratamientos**

Tiempo (días)	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	9172.27	9172.27	8432.77	7289.44	7289.44	6048.26	9402.76	8027.21	5594.36
5	0	886.468	1151.14	0	204.164	910.945	0	331.59	2.9664
15	0	0	384.15	0	0	212.219	0	0	0.4482
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

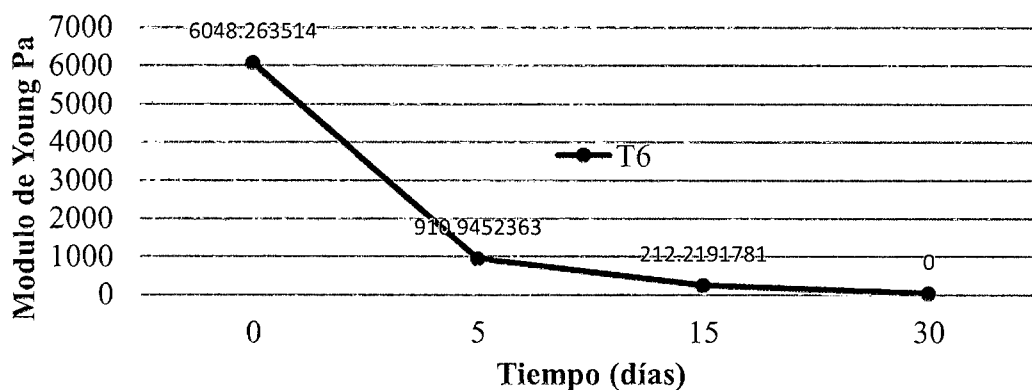




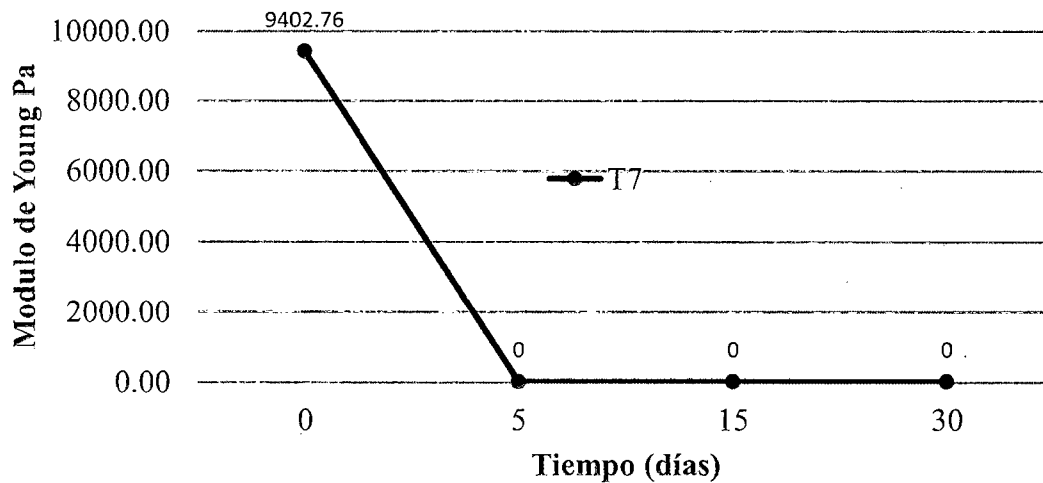
**Grafico 36. Modulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T5**

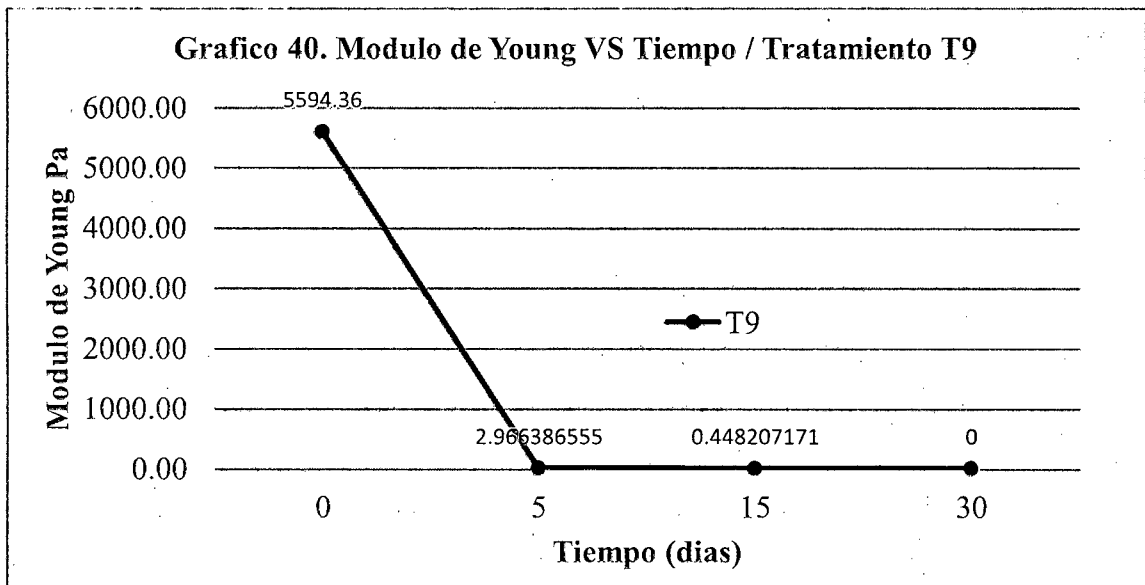
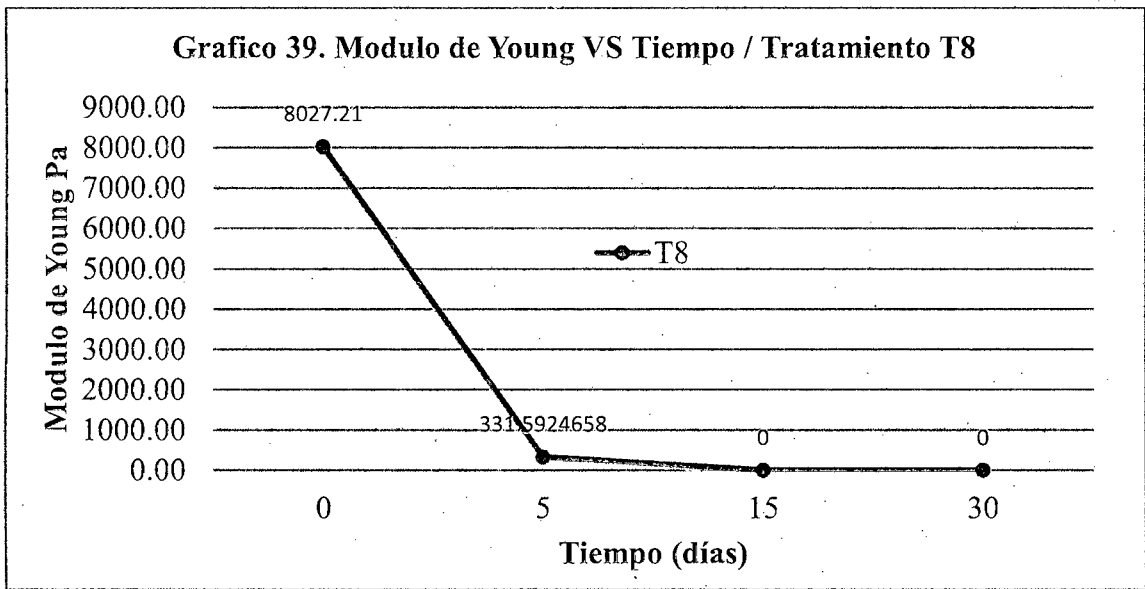


**Grafico 37. Modulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T6**



**Grafico 38. Modulo de Young VS Tiempo / Tratamiento T7**

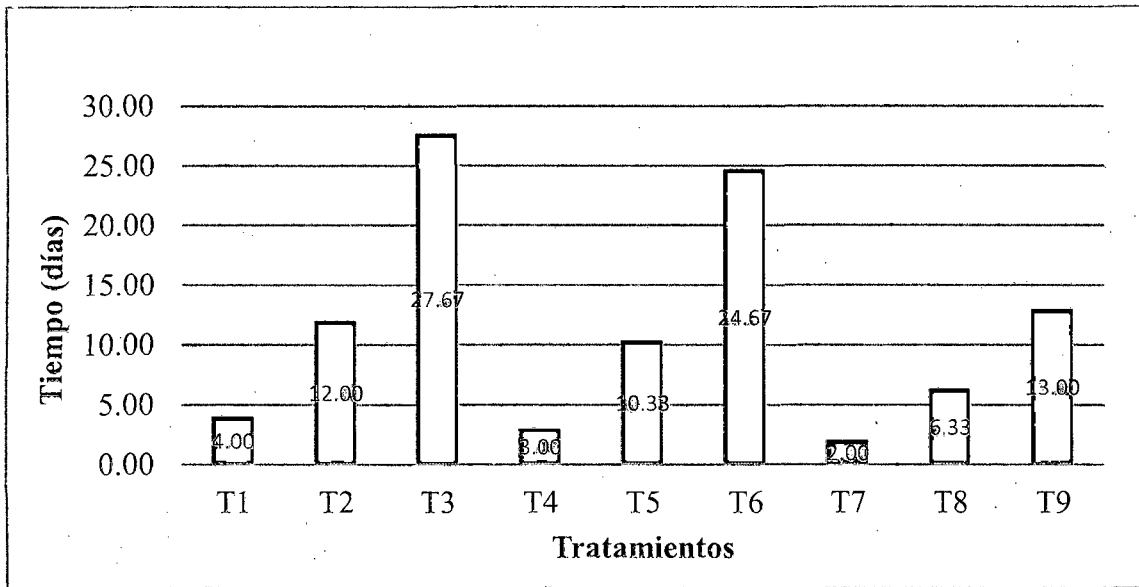




### 3.2. Análisis de la Biodegradación de los Polímeros Biodegradables en los diferentes tratamientos

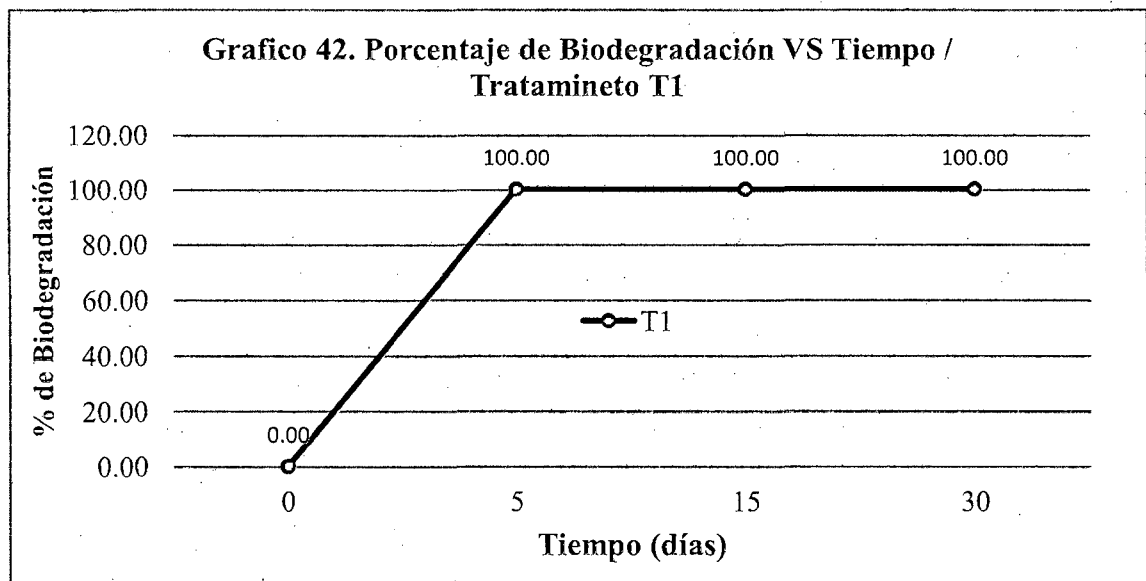
**Tabla 21. Valores de Tiempo de biodegradación (días) en los diferentes Tratamientos**

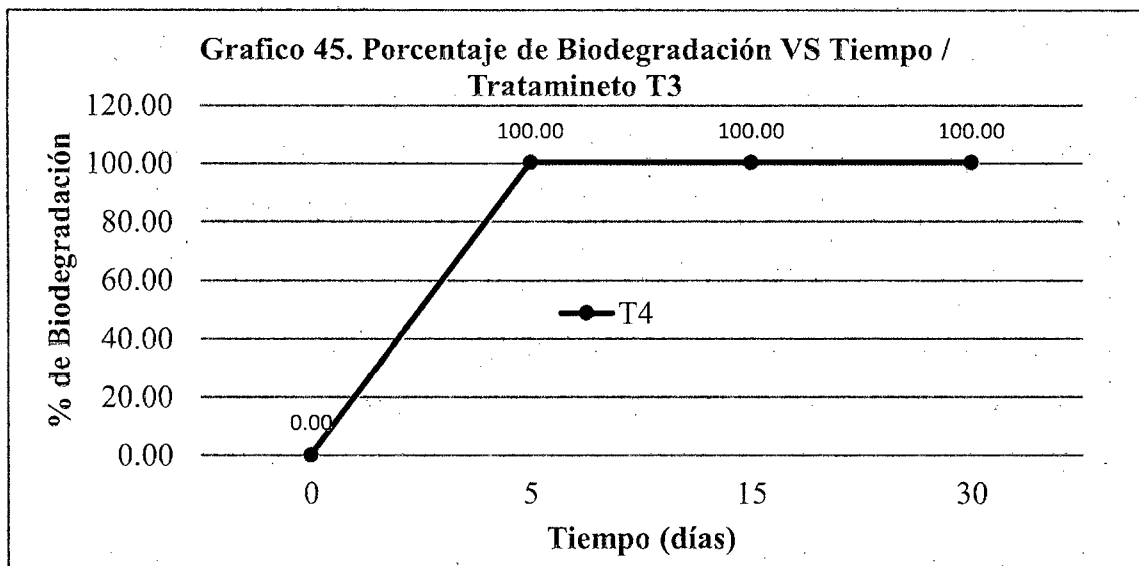
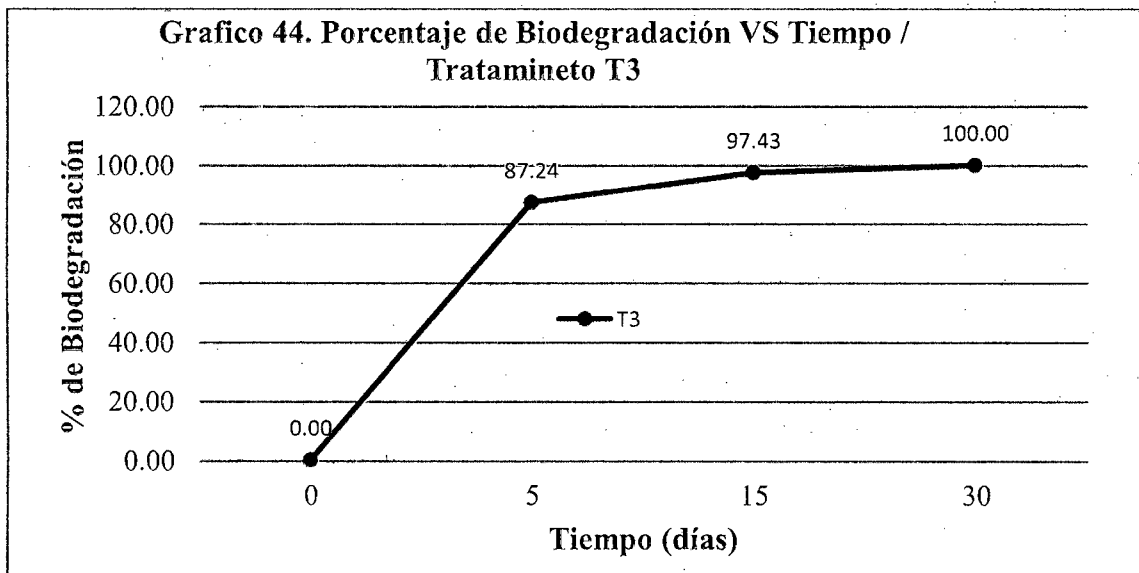
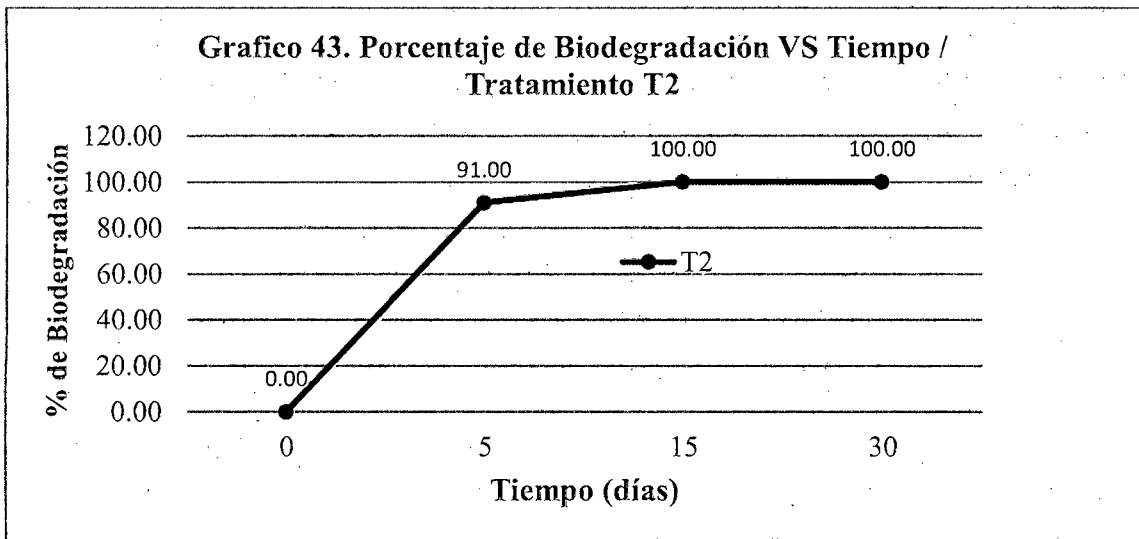
REP	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
1	4.00	12.00	28.00	3.00	10.00	25.00	2.00	6.00	13.00
2	5.00	10.00	26.00	4.00	9.00	23.00	3.00	5.00	12.00
3	3.00	14.00	29.00	2.00	12.00	26.00	1.00	8.00	14.00

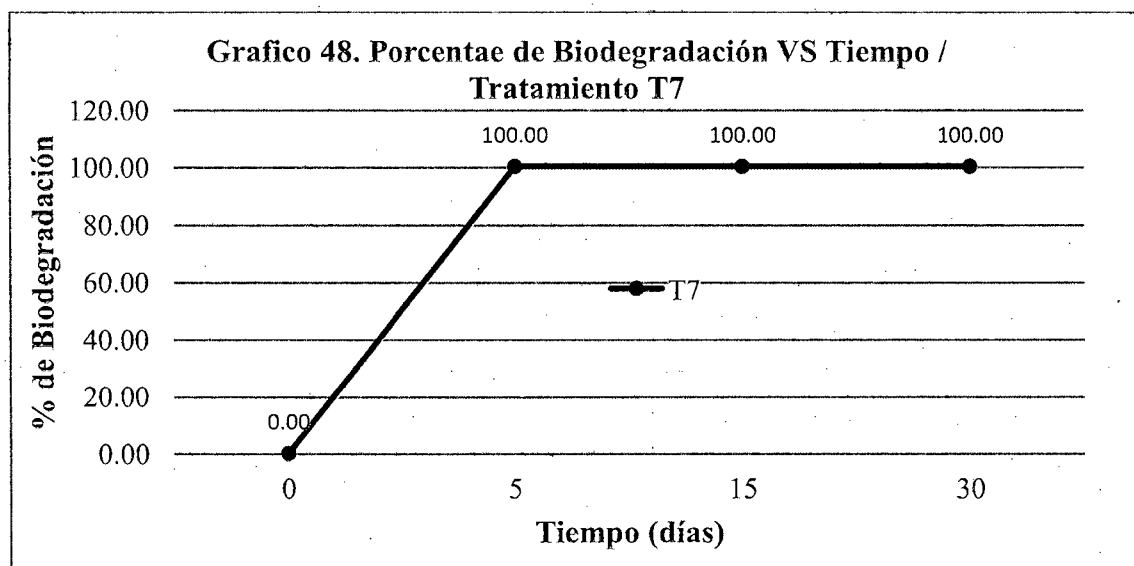
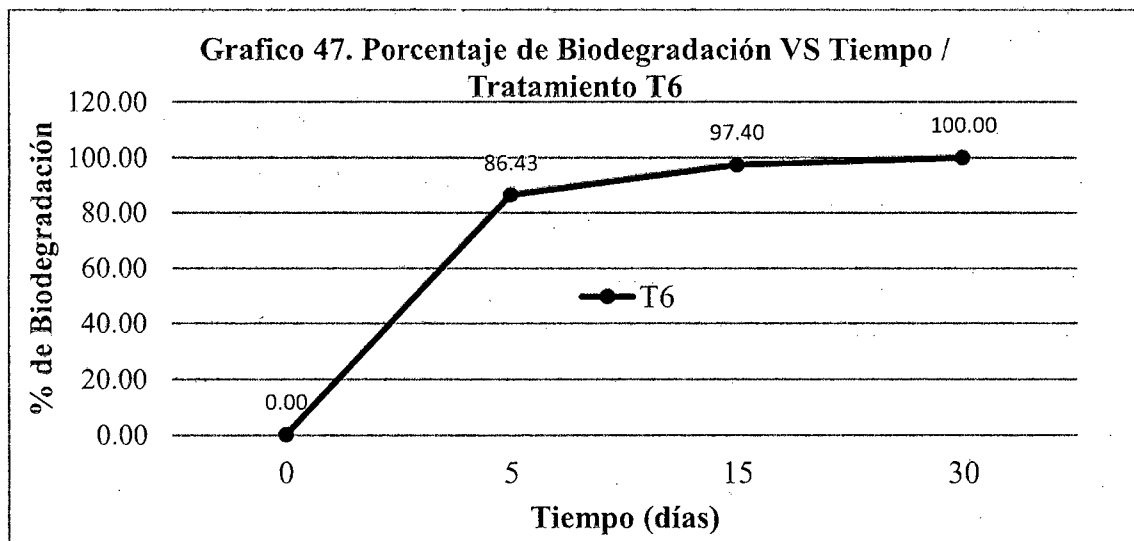
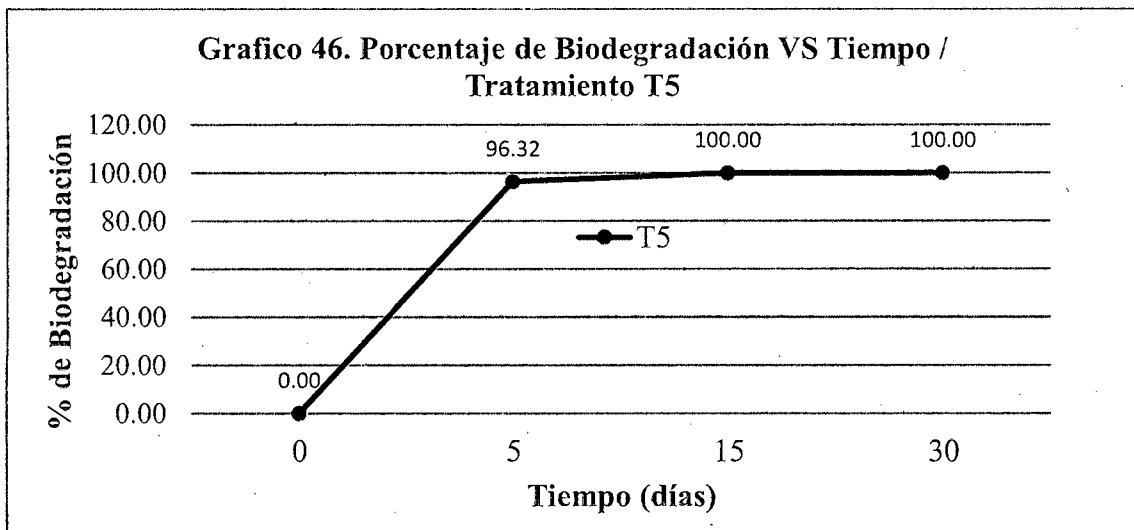


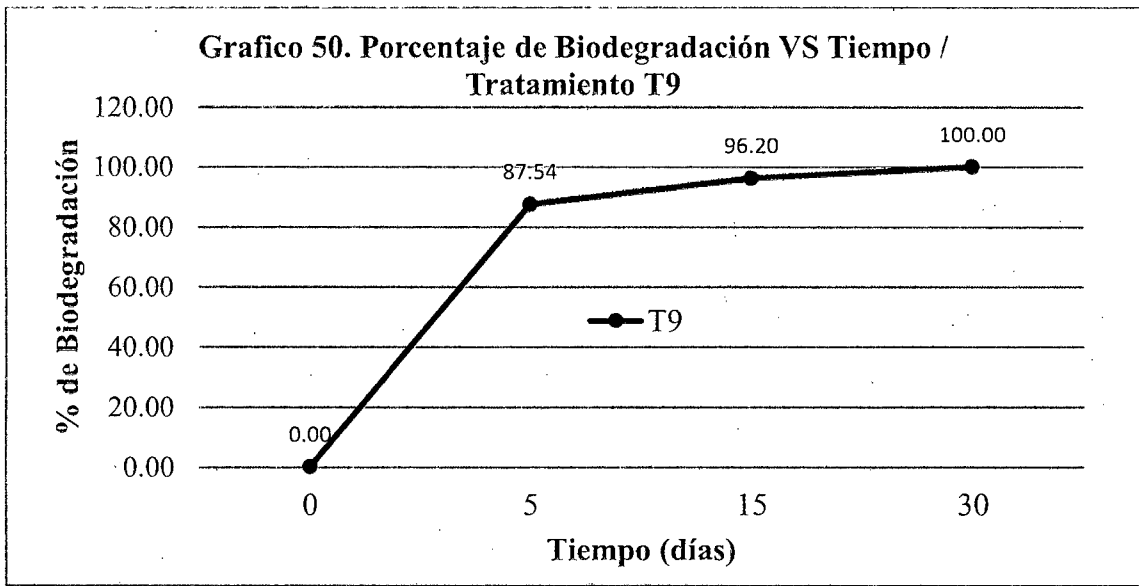
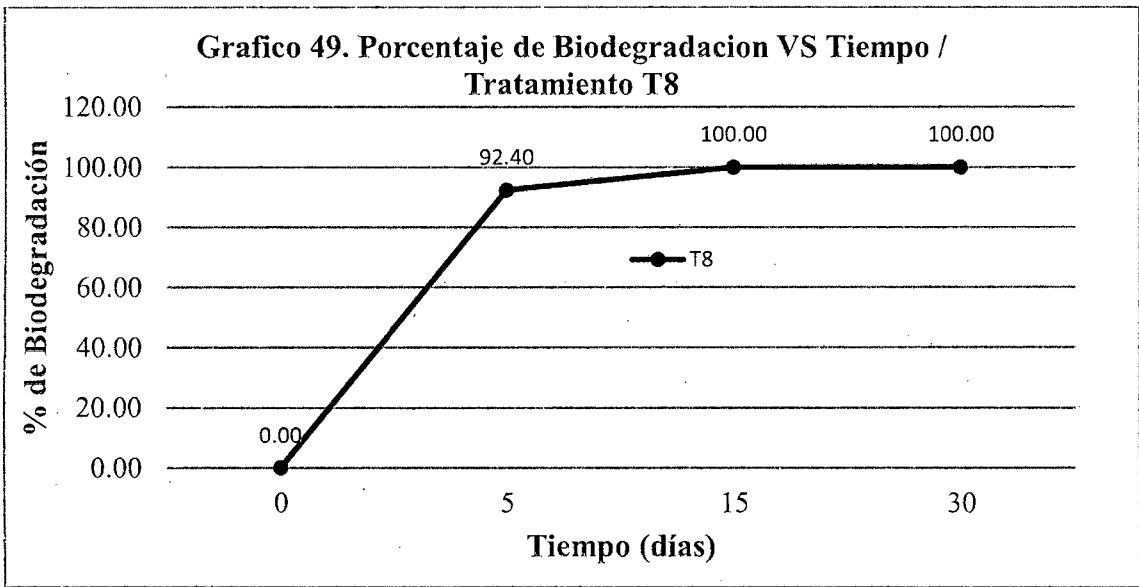
**Tabla 22. Valores Promedio de los Porcentaje de Biodegradación de los Polímeros en los Diferentes Tratamientos**

Tiempo (días)	A1			A2			A3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	100.00	91.00	87.24	100.00	96.32	86.43	100.00	92.40	87.54
15	100.00	100.00	97.43	100.00	100.00	97.40	100.00	100.00	96.20
30	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00











### 3.3. Evaluación Estadística de los Supuestos del Diseño Completamente al Azar DCA

**Tabla 23. Valores estadísticos del Tiempo de Biodegradación en los diferentes tratamientos en un diseño completamente al azar DCA**

Tratamientos	N	Media	h	Desviación Típica
75%apv + 25% amilosa + levadura al 1%	3	4.0000	ef	1.00000
75%apv + 25% amilosa + agua residual	3	12.0000	cd	2.00000
75%apv + 25% amilosa + tierra orgánica	3	27.6667	A	1.52753
50%apv + 50% amilosa + levadura al 1%	3	3.0000	F	1.00000
50%apv + 50% amilosa + agua residual	3	10.3333	D	1.52753
50%apv + 50% amilosa + tierra orgánica	3	24.6667	B	1.52753
25%apv + 75% amilosa + levadura al 1%	3	2.0000	F	1.00000
25%apv + 75% amilosa + agua residual	3	6.3333	E	1.52753
25%apv + 75% amilosa + tierra orgánica	3	13.0000	C	1.00000
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>11.4444</b>		<b>8.95859</b>

Letras iguales indican diferencia no significativas ( $p < 0.05$ , Prueba Duncan)

Se cumple la normalidad de los datos a lo largo de los 9 tratamientos (**Prueba de Kolmogorov-Smirnov**).

Se cumple la igualdad de varianzas a lo largo de los 9 tratamientos (**Prueba de Levene**).

El análisis de varianza reporta diferencia significativa de por lo menos uno de los tratamientos con respecto a los demás (**Prueba de Tukey**).

Existe 06 grupos homogéneos de tratamientos de los cuales el T1, T4 y T7 son significativamente iguales y reportan un tiempo de degradación más bajo con respecto a los demás tratamientos (**Prueba de Duncan**).

#### IV. DISCUSIÓN

- Yalta, A. en su tesis Evaluación Físicoquímica y Funcional del Almidón Pre gelatinizado a Partir de Almidón Nativo de Pituca (*Colocasia esculenta*), Proveniente la localidad de Yambrasbamba, Región Amazonas, en la página 17, propone el método para la obtención del almidón como un proceso simple de segregación-sedimentación y secado en estufa a 45°C, sin considerar la eliminación del Látex que de manera natural cuentan las Especies de *Colocasia esculenta* “Vituca”, dicho látex en suspensión acuosa actúa como floculante natural que no permite la sedimentación eficiente del almidón dando como resultado una pasta (almidón + agua), la misma que al ser sometida al proceso de secado a la estufa, se obtiene un almidón de color rosa a marón, que presenta degradación de la amilosa por su característica termo inestable.
- La biodegradación no depende del origen del material, sino de su estructura química y molecular, un material es biodegradable si la degradación es consecuencia de la acción de microorganismos y hongos; como resultado final del proceso, el material se convierte en agua, dióxido de carbono y/o metano y biomasa. (James, 2009), para la obtención del polímero biodegradable se usó la amilosa (susceptible al ataque de microorganismos en humedades superiores al 14%), el alcohol polivinilo (totalmente hidrofílico), lo cual determina un polímero extremadamente biodegradable en condiciones de saturación de agua y con presencia de microorganismos. Lo que determina que para esta investigación los insumos utilizados tuvieron inferencia significativa en el tiempo de biodegradación del polímero, actuando en acciones conjuntas de biodegradación.
- En la tabla 10 los valores promedio de humedad de los polímeros es inferior al 12%, ese valor de humedad es alcanzable en condiciones modificadas de secado ( $T > 40^{\circ}\text{C}$ ), y no con el secado al ambiente como se realizó en la obtención del polímero biodegradable, pero en el caso de materiales a base de alcohol polivinílico – hidrofílico y la amilosa soluble en agua a  $T > 45^{\circ}\text{C}$ , por ello el polímero cuenta con alta capacidad de retención de Agua (CRA), debido a que el agua semi ligada presente en el polímero es baja, pues está agua fácilmente reacciona con los enlaces

simples y dobles hidrofílico del alcohol polivinílico convirtiéndose en agua ligada, que no es eliminada por acción de la balanza de Humedad.

- La figura 4, determina los usos principales de los polímeros biodegradables iniciando por los alimentos 51%, bebidas 19%, medicina 5%, cosmética 4% y otros 21% (Stevens ES 2002), con costos de producción a nivel artesanal es superior a S/. 10.00 por m<sup>2</sup>, se limita su uso como envases en la industria alimentaria pues el envase, sin embargo según el BID-EVI (Evaluación de Impacto-2010), reporta que en América Latina y El Caribe los gobiernos invirtieron cerca de USS/. 980 Millones de dólares por año en proyectos relacionados al manejo, segregación y disposición final de los residuos sólidos, que en su mayoría son originados por materiales desechos industriales y envases, por ello que la viabilidad en los costos de producción se tornan más eficientes si se evalúan desde un enfoque conjunto con los programas de conservación ambiental y no desde el punto de vista aislado de la industria donde se utilizan los polímeros biodegradables.
- El alcohol polivinílico tiene propiedades de alta resistencia y flexibilidad, así como alta barrera para el oxígeno y los aromas. Sin embargo, estas propiedades dependen de la humedad, es decir, con mayor humedad más agua es absorbida. El agua, que actúa como un plastificante, a su vez reducirá su resistencia a la tracción, pero aumentan su elongación y resistencia al desgarro, (Brady, 1992). Pero en las tablas 15, 16 muestran los datos promedio de resistencia tensil y Modulo de Young de los Polímeros en condiciones ambientales que no presentaron una diferencia significativa en su resistencia y elasticidad, en un tiempo de evaluación de 30 días en ambiente de 65% de humedad relativa, por ello que la propiedad de la absorción del alcohol polivinílico del agua solo es en contacto con el agua.
- La permeabilidad al agua, solubilidad, Factores Fisicoquímicos, tipo de enlaces, mecanismo de hidrólisis, morfología, dimensiones, aditivos, peso molecular, esterilización, lugar de implantación son los factores que determinan en el tiempo de biodegradación de un polímero (Stevens ES -2002), en la Tabla 21, los tratamientos T1, T4, T7 muestran menor tiempo de biodegradación, a pesar de que los polímeros evaluados tuvieron los mismos aditivos, dimensiones, Peso molecular, proceso de esterilización, lugar de evaluación, siendo para este caso el factor predominante el

medio de degradación Levadura al 1% (B1), y los otros factores interactuaron pero el determinante fue el medio de degradación (B1).

- Para medir la resistencia tensil de una muestra polimérica, tomamos la muestra y tratamos de estirla con fuerzas colaterales a su centro, generalmente la estiramos con una máquina llamada Instron. Esta máquina simplemente sujeta cada extremo de la muestra y luego procede a estirla. Mientras dura el estiramiento de la muestra, va midiendo la fuerza (F) que está ejerciendo. Cuando conocemos la fuerza que se está ejerciendo sobre la muestra, dividimos ese número por el área (A) de la muestra y se obtiene la resistencia tensil, en la elaboración del método para medir la resistencia se adaptó el equipo del anexo 7, que además de ser usado como soporte sirvió como medidor de la elongación o estiramiento del polímero debido a la fuerza ejercida, sin embargo el Instron es un sistema ideal y cerrado que arroja datos exactos pero el equipo del anexo 7 puede presentar fallas ya que el estiramiento no es al 100% igual en toda la estructura del polímero, pues el proceso fue realizado manualmente.

## V. CONCLUSIÓN

- El Polímero biodegradable obtenido a partir de una mezcla de alcohol polivinílico y amilosa de Colocasia esculenta “Vituca”, es 100% biodegradable en solución de levadura al 1%, Agua residual, Tierra orgánica, en un tiempo máximo de 30 días.
- Los menores tiempos de degradación del Polímero Biodegradable obtenido a partir de una mezcla de alcohol polivinílico y amilosa de Colocasia esculenta “Vituca”, fueron obtenidos por los Tratamientos en el siguiente orden de T7: 2 días, T4: 3 días, T1: 4 días, T8: 6.33 días, T5: 10,33 días, T2: 12 días, T9: 13 días, T6: 24,67 días y T3: 27,67 días.
- El mejor medio de degradación para el del Polímero Biodegradable obtenido a partir de una mezcla de alcohol polivinílico y amilosa de almidón de Colocasia esculenta “Vituca”, es la Solución de Levadura al 1% (B1), debido a que combina las acciones bioquímicos del agua y microorganismos especializados como las levaduras.
- El polímero biodegradable A1 (75% alcohol polivinílico + 25% amilosa), es el que tiene mejor resistencia (Mínima: 12159.05 Pa. Máxima: 12446.67 Pa.) y módulo de Young (Máximo: 14171.16 Pa. - Mínimo: 9185.77 Pa.).
- El Polímero Biodegradable obtenido a partir de una mezcla de alcohol polivinílico y amilosa de almidón de Colocasia esculenta “Vituca”, posee propiedades de Resistencia y elasticidad estables en condiciones ambientales.
- El rendimiento promedio del almidón de Colocasia esculenta en la obtención del Polímero Biodegradable es de 30%.
- Los costos de Producción en la obtención Polímero Biodegradable obtenido a partir de una mezcla de alcohol polivinílico y amilosa de almidón de Colocasia esculenta “Vituca” es de S/. 12.7900 nuevos soles por metro cuadrado.
- El Látex de la Colocasia esculenta “Vituca”, actúa como floculante natural que en medio acuoso no permite la sedimentación eficiente del almidón.

- El Polímero biodegradable será competitivo en el mercado como tecnología innovadora e inocua al medio ambiente, si su producción es hecha a escala y en condiciones industriales automatizadas que expresen sus mejores propiedades de calidad (resistencia, elasticidad, permeabilidad, estabilidad, inocuidad, etc.), buscando los máximos rendimientos de los insumos y la reducción al mínimo de los costos de producción.
- La nueva tecnología generada con la investigación referido a los Polímero Biodegradables usando amilosa de Colocasia esculenta “Vituca”, como materia prima dan un nuevo enfoque de utilidad y generación de negocios rurales mediante el cultivo de vituca.
- Los medios de degradación Levadura al 1% (B1), agua residual (B2) y tierra orgánica (B3), se usaron para simular las condiciones en los que los residuos sólidos son tratados y/o llegan a su disposición final en campos de compostaje, botaderos, entierro, o desechados al ambiente donde existe mucha agua residual, con lo que determinó que el polímero es inocuo al medio ambiente.
- La formulación de amilosa y alcohol polivinílico en la obtención del polímero biodegradable influyó significativamente en la resistencia, elasticidad.

## VI. RECOMENDACIÓN

- Realizar investigaciones posteriores que permitan determinar la utilidad del polímero biodegradable en la industria como envase, embalaje o empaque.
- Para obtener almidón de Colocasia esculenta “Vituca”, de manera eficiente eliminar previamente el látex que naturalmente cuenta la vituca, ya que en solución acuosa no permite la sedimentación por su actuación como floculante.
- Formular Proyectos de inversión que permita la utilización de la base tecnológica generada en la investigación en torno a la obtención de polímeros biodegradables que permitan su utilidad en la industria, uso la vituca, el inicio de negocios rurales con vituca y sostenibilidad del medio ambiente.
- Los polímeros biodegradables obtenidos en la investigación antes de ser usados en la industria alimentaria tienen que ser pasados por investigación de inocuidad, reacciones adversas en contacto con alimentos, de tal manera que no ponga en riesgo la seguridad alimentaria y salud pública.
- La Fabricación del polímero biodegradable con la tecnología mostrada en la investigación (artesanal), deberá ser innovada a una producción automatizada y a escala a fin de que sea competitiva con otras tecnologías similares.
- Para el cálculo más efectivo de las propiedades del polímero (resistencia, elasticidad), se tiene que hacer en maquinaria más eficientes que no permitan la distorsión de datos.

## VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, S. 2012. Principales polímeros comerciales - Ciencia de los polímeros-Fred Wallace Billmeyer. Madrid - España
- AOAC.1990. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the AOAC.15th edition. Washington, USA.
- AOAC OFFICIAL METHOD 966.23.C. Método oficial de recuento de microorganismos aerobios mesófilos mediante método tradicional de siembra, Santiago, Chile.
- Arévalo, N.K. 1996. Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradabilidad a nivel laboratorio y campo. Tesis de Doctorado (Biotecnología). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Baillie C, 2004. Green Composites, Polymer composites and environment. Woodhead publishing limited, Cambridge, England.
- Cabrera J, Paredes C, Urday E, Santiago J; 2007. Preparación y Caracterización de Películas de Alcohol Polivinílico Conteniendo Nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, revista iberoamericana de polímeros. 8va edición, Lima, Perú.
- Cheftel J y Cheftel.1993. Introducción a la bioquímica y tecnología de Alimentos, Editorial, Acribia, Zaragoza, España.
- Chen J. y Jane J. 1994. Preparation of granular cold-water-solu-ble starches prepared by alcoholic-alkaline treatment. Cereal Chemistry 71: 618-622. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos43/almidones/almidones2.shtml>.



- Estrada, Á. 2008. Informe Técnico No. 6. Polímeros biodegradables. Informe de Vigilancia Tecnológica (2005-2008)". AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico.
- Fritz HG, Seidenstucker T, Bolz U, and Juza M, 1994. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission.
- Jang, B. Z.; Advanced Polymer Composites: Principles and Applications, ASM International, Materials Park, OH, 1994.
- IMPIVA, 2011. Guía de criterios de calidad y puntos de control de embalajes plásticos. , Fondo Europeo de desarrollo regional dentro de las ayudas al II Plan de Competitividad de la Empresa Valenciana.
- Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (1974).
- James; I. 2009. Vigilancia Tecnológica Aplicada para Identificar las Tendencias Tecnológicas en los Biopolímeros y Plásticos Biodegradables. Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- Medina R, 2011, Plásticos biodegradables, UNAM. IBBY, México DF, Mexico.
- Meneses J, Corrales C, 2007. Síntesis y Caracterización de un Polímero Biodegradable a Partir del Almidón de Yuca, Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 8, p. 57-67. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Ibero América
- Moreno, A. 2009. Poliésteres: una alternativa a las poliolefinas bio-resistentes. Facultad de Ciencias Químicas de Ciudad Real Universidad de Castilla - La Mancha – España

- Nonato R, Mantelatto P, Rossell CEV. 2001. Appl. Microbiol. Biotechnol.. primera edición – México.
- Odian, George; J. Wiley, 1991. Principles of Polymerization - 3rd ed, New York, USA.
- Palomino C, Molina Y, Pérez E; 2009. Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y Xanthosoma, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Revista de plásticos modernos. 2008. “Envases y embalajes. 100% biodegradables”. En: Revista de Plásticos Modernos. p. 230-231 Schnabel W, 1981. Polymer degradation. Principles and practical applications. Ed. Hanser, Múnich, Germany.
- Stevens ES, 2002. Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press, New Jersey, Usa.
- Tarazona R. 1995. Caracterización fisicoquímica y nutricional de almidones de seis clones de camote (*Ypomoea batata*). Universidad Agraria la Molina. Facultad de Ingeniería de alimentos. 90 p. Lima – Perú.
- Tecnum, 2010, Pruebas Mecánicas de Análisis a Materiales Plásticos, Tecnum AC.
- Torres A, Durán M, Montero P; 2013. Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*), Facultad de ingeniería, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Yalta, A. 2012. Tesis Evaluación Fisicoquímica y Funcional del Almidón Pregelatinizado a Partir de Almidón Nativo de Pituca (*Colocasia esculenta*), Proveniente la localidad de Yambrasbamba, Región Amazonas, FICA – UNTRM.

## ANEXO 1.

### MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL POLIMERO BIODEGRADABLE.

#### Anexo 1.1: Método para la determinación de la humedad

Este método consistente en la eliminación el agua libre y semi ligada, mediante un proceso de secado del polímero biodegradable, para ello se utilizó la Balanza de humedad (Adam Equipment, 2004), anotando el porcentaje final de la humedad del polímero biodegradable, que se muestra en la pantalla del equipo.

#### Anexo 1.2: Método seguido para la determinación del pH

Con el uso del pH-metro microprocesador Q400MT calibrado, se procedió a triturar 10g de muestra, preparándose una solución en 100mL de agua destilada, en un vaso de precipitación, filtrar la solución y luego introducir el diodo del equipo y anotar los resultados de la pantalla del equipo.

El uso del equipo se inicia por la elección en la pantalla del equipo, la opción pH presionado Enter, dejar que se estabilice el valor del pH hasta que aparezca en la pantalla del equipo la palabra OK y luego registrar los valores obtenidos.

#### Anexo 1.3: Método seguido para la determinación de la acidez titulable

El análisis se basa en la titulación con NaOH al 0.1N, colocándose 1g de polímero triturado y 9mL de agua destilada en un matraz erlenmeyer de 250mL, posteriormente se agregó 3 gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con NaOH al 0.1N, hasta que la solución cambió a una coloración rosa, luego se expresó como porcentaje de acidez usando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{N \cdot V \cdot peX}{W} * 100$$

Dónde: N: Normalidad de la solución de NaOH

V: mL de NaOH gastado

peX: Peso mili equivalente del ácido orgánico X (ácido láctico)

W: peso de la muestra

#### **Anexo 1.4: Método seguido para el Análisis Microbiológico**

El análisis se trata de conocer el número total de microorganismos aerobios mesofilos viables presentes la muestra y ser usado como un indicador de las características de contaminación microbiológicas generales. Para ello se tomó 10 gr de la muestra, preparándose con ella 9 diluciones según el método oficial (AOAC OFFICIAL METHOD 966.23.C), luego en agar fundido a 45°C se realizó la siembra por incorporación en muestras por duplicado en las placas Petri. Incubándose por 48 horas a temperatura de 35°C, luego se realizó el recuento de las colonias formadas.

#### **Anexo 1.5: Método para el análisis de la resistencia**

La Resistencia como propiedad que tienen los materiales para resistir fuerzas laterales a su centro antes de su ruptura, para ello el polímero de área conocida (A) fue sometido a un esfuerzo cortante sujetándose uno de los extremos a un sensor de fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10N @ \pm 50N$ ) y estirado hasta la ruptura por el otro extremo.

El sensor conectado a un servidor y reporta los datos de fuerza de tensión (F) al cual está sometido el polímero en rangos de tiempo de 1 segundo expresando la gráfica fuerza VS Tiempo.

Para ello se calculó la resistencia o esfuerzo cortante usando la siguiente formula.

$$Resistencia = \frac{\text{Fuerza Cortante (F)}}{\text{Area (A)}}$$

#### **Anexo 1.6: Método para el análisis de la elasticidad**

La elasticidad o Modulo de Young (Y), como propiedad de los materiales para oponerse al cambio de longitud ante una fuerza lateral a su centro antes

de su ruptura, para ello el polímero con longitud inicial conocida ( $L_0$ ), fue sometido a un esfuerzo cortante sujetándose uno de los extremos al sensor de fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{N} @ \pm 50\text{N}$ ), y del otro lado se aplicó la fuerza continua hasta la ruptura, anotándose la longitud final ( $L_f$ ).

El sensor conectado a un servidor y reporta los datos de fuerza de tensión ( $F$ ) al cual está sometido el polímero en rangos de tiempo de 1 segundo expresando la gráfica fuerza VS Tiempo.

Con los datos de  $L_0$  y  $L_f$  se calculó la Variación de la longitud ( $\Delta L$ ), y calcular el módulo de Young con las siguientes formulas:

1. Calculo de la deformación unitaria ( $\epsilon$ ), como unidad adimensional que expresa el estiramiento o cambio de longitud a causa de la fuerza aplicada, según la siguiente formula:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

2. Calculo de la elasticidad o módulo de Young ( $Y$ ) como propiedad que posee el polímero para oponerse a la deformación unitaria a causa de las fuerzas aplicadas. según la siguiente formula:

$$\text{Modulo de Young } (Y) = \frac{\text{Esfuerzo o resistencia}}{\epsilon}$$

#### **Anexo 1.7: Método seguido para el cálculo del porcentaje de biodegradación.**

Considerándose para este caso la resistencia y elasticidad del polímero como propiedades de calidad las mismas que son determinados por la fuerza cortante ( $F$ ), por ello es que se partió del principio básico que en el día cero de evaluación el polímero posee su máxima calidad y su mínimo porcentaje de degradación, relacionado así que el porcentaje de biodegradación es inverso con la fuerza cortante ( $F$ ) reportada por el sensor de fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{N} @ \pm 50\text{N}$ ) en los diferentes días de medición, utilizando para ello la siguiente formula:

$$\%D(t_n) = 100 - \left( \frac{F_n * 100}{F_0} \right)$$

Donde:

$\%D(t_n)$ : Porcentaje de biodegradación en el tiempo n

$F_0$ : Fuerza cortante en el tiempo cero

$F_n$ : Fuerza cortante en el tiempo n

**Anexo 1.8: Método seguido para el cálculo del Tiempo de biodegradación.**

Considerándose el principio de la pérdida gradual de la estructura física del polímero biodegradable como efecto de los microorganismos, humedad, etc. por estar en contacto con los diferentes medios de degradación, hasta lograr su transformación total de su estructura, anotando el día en que se produjo la degradación total

## ANEXO 2

**Anexo 2.1. Valores del Tiempo de Biodegradación del Polímero Biodegradable Obtenido de una mezcla entre Amilosa de *Colocasia esculenta* “Vituca” y Alcohol Polivinílico.**

Repetición	A1 = 75% Alcohol Polivinílico + 25% amilosa			A2 = 50% Alcohol Polivinílico + 50% amilosa			A3 = 25% Alcohol Polivinílico + 75% amilosa		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
<b>R1</b>	4.00	12.00	28.00	3.00	10.00	25.00	2.00	6.00	13.00
<b>R2</b>	5.00	10.00	26.00	4.00	9.00	23.00	3.00	5.00	12.00
<b>R3</b>	3.00	14.00	29.00	2.00	12.00	26.00	1.00	8.00	14.00
<b>ΣXi</b>	12.00	36.00	83.00	9.00	31.00	74.00	6.00	19.00	39.00
<b>Promedio</b>	<b>4.00</b>	<b>12.00</b>	<b>27.67</b>	<b>3.00</b>	<b>10.33</b>	<b>24.67</b>	<b>2.00</b>	<b>6.33</b>	<b>13.00</b>

**Anexo 2.1. Valores Promedio del tiempo de Biodegradación en los diferentes Tratamientos del Polímero Biodegradable analizados estadísticamente**

<b>Tratamientos</b>	<b>Repeticiones n</b>	<b>Media</b>		<b>Desviación Típica</b>
75%apv + 25% amilosa + levadura al 1%	3	4.0000	ef	1.00000
75%apv + 25% amilosa + agua residual	3	12.0000	cd	2.00000
75%apv + 25% amilosa + tierra organica	3	27.6667	a	1.52753
50%apv + 50% amilosa + levadura al 1%	3	3.0000	f	1.00000
50%apv + 50% amilosa + agua residual	3	10.3333	d	1.52753
50%apv + 50% amilosa + tierra organica	3	24.6667	b	1.52753
25%apv + 75% amilosa + levadura al 1%	3	2.0000	f	1.00000
25%apv + 75% amilosa + agua residual	3	6.3333	e	1.52753
25%apv + 75% amilosa + tierra organica	3	13.0000	c	1.00000
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>11.4444</b>		<b>8.95859</b>

Letras iguales indican diferencia no significativas ( $p < 0.05$ , Prueba Duncan)



### Anexo 2.3. Análisis estadístico del Tiempo de Biodegradación del Polímero Biodegradable

#### A. Análisis de Varianza del DCA con arreglo Factorial (3A x 3B)

##### Estadística de Levene sobre la igualdad de las Varianzas error(a)

F	gl1	gl2	Significación
0.419	8	18	0.894

a. Diseño: Intersección + Factor A + Factor B + Factor A x Factor B

##### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Tiempo de degradación del polímero a diferentes medios

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamiento	2,052.000	8	256.500	133.183	0.000
Error	34.667	18	1.926		
Total corregida	2,086.667	26			

a. R cuadrado = .983 (R cuadrado corregida = .976)

##### Factores de efectos inter-sujetos

Medios de degradación	Etiqueta del valor	N
1.00	75%apv + 25% amilosa + levadura al 1%	3
2.00	75%apv + 25% amilosa + agua residual	3
3.00	75%apv + 25% amilosa + tierra orgánica	3
4.00	50%apv + 50% amilosa + levadura al 1%	3
5.00	50%apv + 50% amilosa + agua residual	3
6.00	50%apv + 50% amilosa + tierra orgánica	3
7.00	25%apv + 75% amilosa + levadura al 1%	3
8.00	25%apv + 75% amilosa + agua residual	3
9.00	25%apv + 75% amilosa + tierra orgánica	3

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Tiempo de degradación del Polímero a diferentes medios

	Tratamientos		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Signif.	Intervalo de confianza al 95%.	
	(I)	(J)				Límite superior	Límite inferior
DHS de Tukey	T1	T2	-8.0000(*)	1.13312	0.000	-11.9703	-4.0297
		T3	-23.6667(*)	1.13312	0.000	-27.6369	-19.6964
		T4	1.0000	1.13312	0.991	-2.9703	4.9703
		T5	-6.3333(*)	1.13312	0.001	-10.3036	-2.3631
		T6	-20.6667(*)	1.13312	0.000	-24.6369	-16.6964
		T7	2.0000	1.13312	0.702	-1.9703	5.9703
		T8	-2.3333	1.13312	0.526	-6.3036	1.6369
		T9	-9.0000(*)	1.13312	0.000	-12.9703	-5.0297
	T2	T1	8.0000(*)	1.13312	0.000	4.0297	11.9703
		T3	-15.6667(*)	1.13312	0.000	-19.6369	-11.6964
		T4	9.0000(*)	1.13312	0.000	5.0297	12.9703
		T5	1.6667	1.13312	0.855	-2.3036	5.6369
		T6	-12.6667(*)	1.13312	0.000	-16.6369	-8.6964
		T7	10.0000(*)	1.13312	0.000	6.0297	13.9703
		T8	5.6667(*)	1.13312	0.002	1.6964	9.6369
	T3	T9	-1.0000	1.13312	0.991	-4.9703	2.9703
		T1	23.6667(*)	1.13312	0.000	19.6964	27.6369
		T2	15.6667(*)	1.13312	0.000	11.6964	19.6369
		T4	24.6667(*)	1.13312	0.000	20.6964	28.6369
		T5	17.3333(*)	1.13312	0.000	13.3631	21.3036
		T6	3.0000	1.13312	0.234	-0.9703	6.9703

	T7	25.6667(*)	1.13312	0.000	21.6964	29.6369
	T8	21.3333(*)	1.13312	0.000	17.3631	25.3036
	T9	14.6667(*)	1.13312	0.000	10.6964	18.6369
T4	T1	-1.0000	1.13312	0.991	-4.9703	2.9703
	T2	-9.0000(*)	1.13312	0.000	-12.9703	-5.0297
	T3	-24.6667(*)	1.13312	0.000	-28.6369	-20.6964
	T5	-7.3333(*)	1.13312	0.000	-11.3036	-3.3631
	T6	-21.6667(*)	1.13312	0.000	-25.6369	-17.6964
	T1	1.0000	1.13312	0.991	-2.9703	4.9703
	T8	-3.3333	1.13312	0.143	-7.3036	0.6369
	T9	-10.0000(*)	1.13312	0.000	-13.9703	-6.0297
T5	T1	6.3333(*)	1.13312	0.001	2.3631	10.3036
	T2	-1.6667	1.13312	0.855	-5.6369	2.3036
	T3	-17.3333(*)	1.13312	0.000	-21.3036	-13.3631
	T4	7.3333(*)	1.13312	0.000	3.3631	11.3036
	T6	-14.3333(*)	1.13312	0.000	-18.3036	-10.3631
	T7	8.3333(*)	1.13312	0.000	4.3631	12.3036
	T8	4.0000(*)	1.13312	0.047	0.0297	7.9703
	T9	-2.6667	1.13312	0.363	-6.6369	1.3036
	T6	T1	20.6667(*)	1.13312	0.000	16.6964
T2		12.6667(*)	1.13312	0.000	8.6964	16.6369
T3		-3.0000	1.13312	0.234	-6.9703	0.9703
T4		21.6667(*)	1.13312	0.000	17.6964	25.6369
T5		14.3333(*)	1.13312	0.000	10.3631	18.3036
T7		22.6667(*)	1.13312	0.000	18.6964	26.6369
T8		18.3333(*)	1.13312	0.000	14.3631	22.3036

T7	T9	11.6667(*)	1.13312	0.000	7.6964	15.6369
	T1	-2.0000	1.13312	0.702	-5.9703	1.9703
	T2	-10.0000(*)	1.13312	0.000	-13.9703	-6.0297
	T3	-25.6667(*)	1.13312	0.000	-29.6369	-21.6964
	T4	-1.0000	1.13312	0.991	-4.9703	2.9703
	T5	-8.3333(*)	1.13312	0.000	-12.3036	-4.3631
	T6	-22.6667(*)	1.13312	0.000	-26.6369	-18.6964
	T8	-4.3333(*)	1.13312	0.026	-8.3036	-0.3631
	T9	-11.0000(*)	1.13312	0.000	-14.9703	-7.0297
T8	T1	2.3333	1.13312	0.526	-1.6369	6.3036
	T2	-5.6667(*)	1.13312	0.002	-9.6369	-1.6964
	T3	-21.3333(*)	1.13312	0.000	-25.3036	-17.3631
	T4	3.3333	1.13312	0.143	-0.6369	7.3036
	T5	-4.0000(*)	1.13312	0.047	-7.9703	-0.0297
	T6	-18.3333(*)	1.13312	0.000	-22.3036	-14.3631
	T7	4.3333(*)	1.13312	0.026	0.3631	8.3036
	T9	-6.6667(*)	1.13312	0.000	-10.6369	-2.6964
	T1	9.0000(*)	1.13312	0.000	5.0297	12.9703
T9	T2	1.0000	1.13312	0.991	-2.9703	4.9703
	T3	-14.6667(*)	1.13312	0.000	-18.6369	-10.6964
	T4	10.0000(*)	1.13312	0.000	6.0297	13.9703
	T5	2.6667	1.13312	0.363	-1.3036	6.6369
	T6	-11.6667(*)	1.13312	0.000	-15.6369	-7.6964
	T7	11.0000(*)	1.13312	0.000	7.0297	14.9703
	T8	6.6667(*)	1.13312	0.000	2.6964	10.6369

Basado en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

B. Sub Conjuntos homogéneos para establecer las significancia utilizando la Prueba de Duncan aplicadas al tiempo de biodegradación, según los tratamientos estudiados

Prueba	Tratamiento	N	Subconjunto						
			2	3	4	5	6	1	
Duncan(a,b)	25%apv + 75% amilosa + levadura al 1%	3	2						
	50%apv + 50% amilosa + levadura al 1%	3	3						
	75%apv + 25% amilosa + levadura al 1%	3	4	4					
	25%apv + 75% amilosa + agua residual	3		6.3333					
	50%apv + 50% amilosa + agua residual	3			10.3333				
	75%apv + 25% amilosa + agua residual	3			12	12			
	25%apv + 75% amilosa + tierra orgánica	3				13			
	50%apv + 50% amilosa + tierra orgánica	3					24.6667		
	75%apv + 25% amilosa + tierra orgánica	3						27.6667	
	<b>Significación</b>			<b>0.111</b>	<b>0.054</b>	<b>0.159</b>	<b>0.389</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

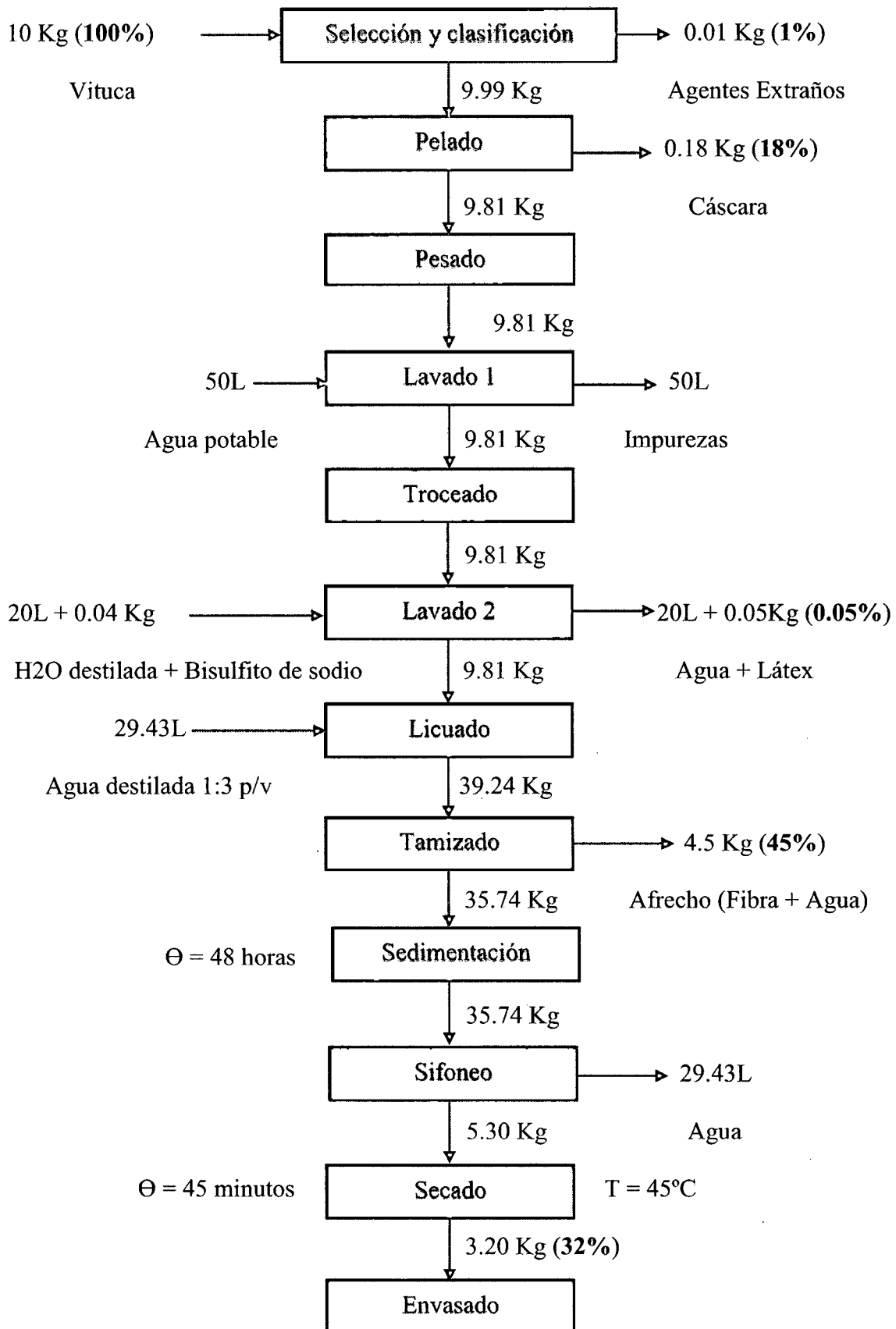
El término error es la Media cuadrática (Error) = 1.926.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

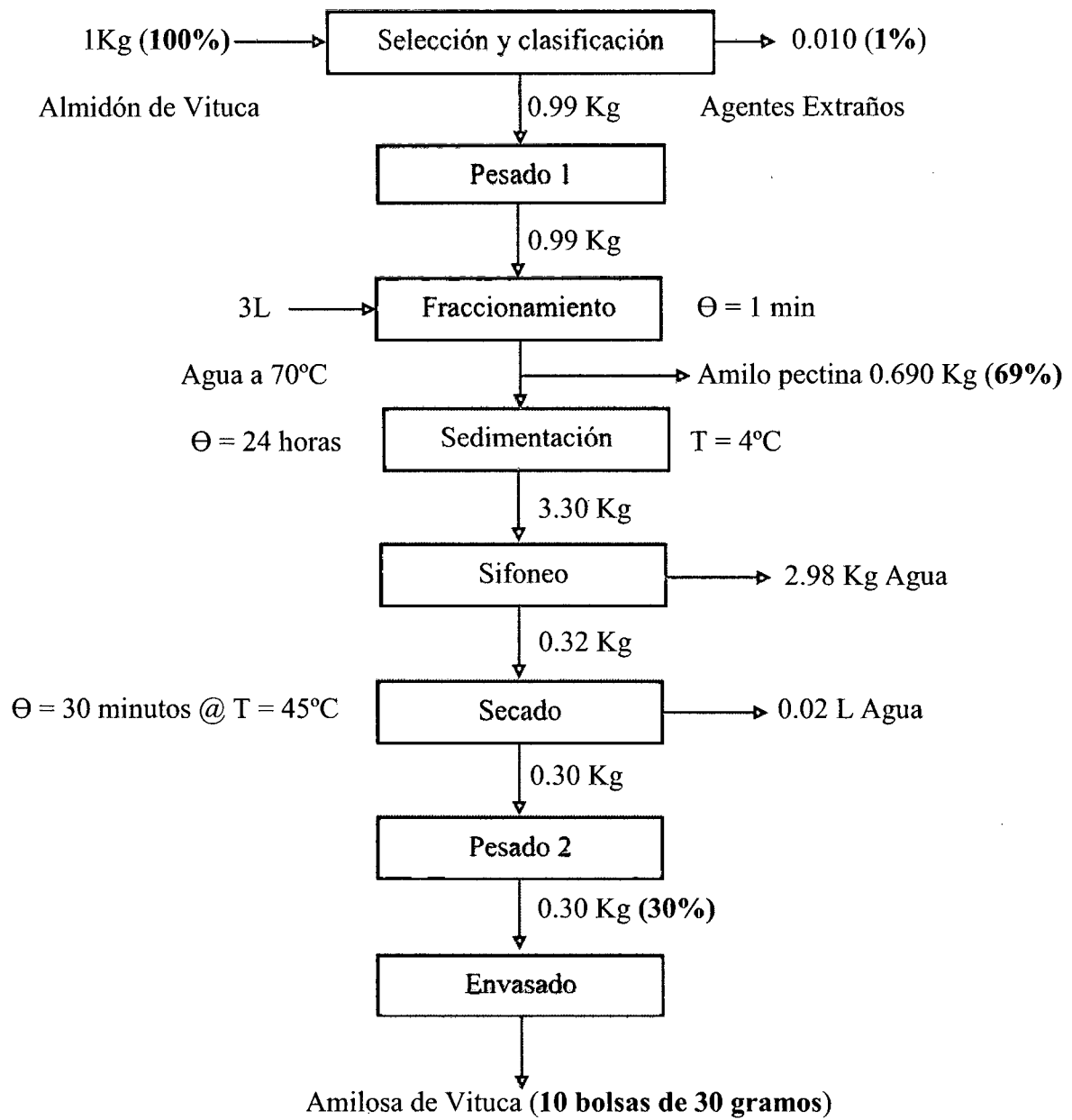
b. Alfa = 0.05.

### ANEXO 3

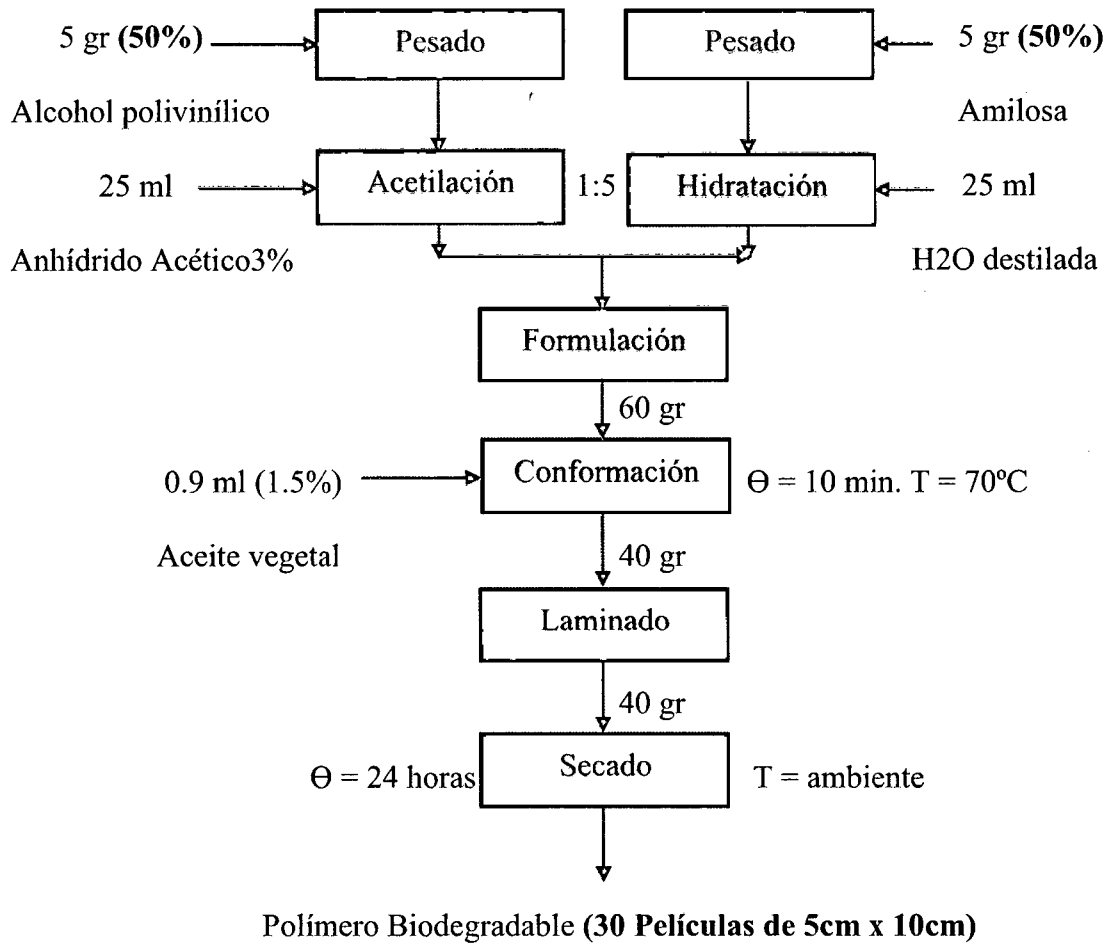
#### Anexo3.1. Balance de Materia en la Extracción de Almidón de *Colocasia esculenta* "Vituca"



**Anexo 3.2. Balance de Materia en la extracción de Amilosa *Colocasia esculenta* “Vituca”**



**Anexo 3.3. Balance de Materia en la Obtención del Polímero Biodegradable a Partir de una Mezcla entre Alcohol Polivinílico y Amilosa de *Colocasia esculenta* "Vituca"**





## ANEXO 4

### Anexo 4.1. Valores de Tensión Cortante(N) Reportado en el sensor de Fuerza DUAL – RANGE ( $\pm 10\text{N}$ @ $\pm 50\text{N}$ ) y Procesado Por el software Lager Pro 3.6.

Polímero A1/d1, R1-A		Polímero A1/ d1, R2-A		Polímero A1/d1, R3-A	
Tiempo (s)	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Fuerza (N)
0.00	0.0000	0.30	17.9322	0.00	17.2841
0.50	4.0912	0.60	18.9816	0.30	19.9076
1.00	6.8762	0.90	18.6730	0.60	21.9446
1.50	8.9807	1.20	21.7286	0.90	23.3027
2.00	11.3045	1.50	22.6545	1.20	23.7348
2.50	12.0987	1.80	23.2718	1.50	26.2657
3.00	14.1235	2.10	26.2965	1.80	28.8583
4.00	14.5466	2.40	26.2657	2.10	29.0126
4.50	16.7690	2.70	27.2533	2.40	30.0929
5.00	17.2841	3.00	28.3336	2.70	32.9324
5.20	22.9323	3.30	29.5373	3.00	35.1855
5.50	29.0435	3.60	30.0929	3.40	36.8522
6.00	35.1855	3.90	30.9262	3.80	40.9263
6.50	42.8399	4.20	31.2657	<b>4.12</b>	<b>43.3955</b>
<b>6.54</b>	<b>43.8014</b>	4.50	32.2225	4.20	43.6733
15.00	21.8212	4.80	32.7472	4.50	42.5313
16.00	0.4938	5.10	33.6731	5.00	21.8212
17.00	0.3703	5.40	35.2472	5.50	13.6729
19.00	0.3394	5.70	37.3152	6.00	0.4938
20.00	0.3703	6.00	41.1732	6.50	0.3086
21.00	0.4629	6.30	41.7905	7.00	0.3703
22.00	0.6172	<b>6.52</b>	<b>43.4881</b>	7.50	0.3703
23.00	0.5246	6.60	29.2595	8.00	0.3394
24.00	0.4938	6.90	30.4632	8.50	0.3086
25.00	0.3394	7.20	0.3086	9.00	0.3394
27.00	0.3703	7.50	0.3086	9.80	0.3394
30.00	0.0000	7.80	0.0000	10.00	0.0000

Polímero A1/d5, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	17.284078
0.18	18.79644
0.22	19.043356
0.34	20.247073
0.54	21.913759
0.56	22.037217
0.74	23.024882
1.24	24.197735
1.46	25.86442
1.48	26.049607
1.64	27.870615
1.66	28.271854
1.88	29.043468
2.38	30.123727
2.64	31.944734
2.66	32.345974
2.78	33.889201
2.8	34.136117
3.08	35.648479
3.1	36.018854
3.48	37.778133
3.52	38.673204
3.54	39.043579
3.94	41.697929
3.96	42.068304
<b>4.32</b>	<b>43.148563</b>
5.9	0.6172255
28.72	0.3703091
29.38	0.30858
30.00	0.30858

Polímero A1/d5, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	17.8396
1.00	18.673
2.00	25.2471
3.00	28.3336
4.00	30.9571
4.50	32.2225
5.00	32.2842
5.50	35.4942
6.00	41.1732
<b>6.56</b>	<b>44.0745</b>
7.00	32.6855
7.50	0.3086
7.52	0.2777
7.54	0.2469
7.56	0.3086
7.58	0.3394
7.60	0.3394
7.62	0.2777
7.64	0.2777
7.66	0.3394
7.68	0.3394
7.70	0.3086
7.74	0.2777
7.76	0.3086
7.80	0.3086
7.82	0.2777
7.86	0.3703
7.88	0.3394
7.90	0.3086
8.00	0.2777

Polímero A1/d5, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	7.4536
0.20	18.9816
0.50	21.6668
0.68	22.5928
0.70	22.7162
1.00	22.9323
1.62	27.6237
1.98	28.8583
2.00	29.0435
2.02	29.0126
2.38	30.1237
3.04	35.3707
3.06	35.3398
3.94	41.6979
<b>3.96</b>	<b>42.0683</b>
5.52	12.9939
5.54	11.4198
5.56	1.6975
5.58	1.6666
5.60	2.716
5.62	2.4074
5.64	2.5
5.66	2.4074
5.68	2.0679
5.70	2.0061
5.72	1.9444
5.74	1.9753
5.76	2.0061
6.16	0.432
6.18	0.432

Polimero A1/d15, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	12.3704
2.00	16.0124
3.00	20.5804
4.00	21.9693
5.00	25.0557
6.00	33.8213
7.00	35.7040
8.00	37.5250
<b>8.52</b>	<b>39.4077</b>
9.00	32.6793
10.00	37.4324
11.00	-0.0063
12.00	-0.0063
13.00	-0.0063
14.00	0.0554
15.00	-0.0063
16.00	-0.0063
17.00	-0.0063
18.00	-0.0063
19.00	-0.0063
20.00	-0.0371
21.00	-0.0063
22.00	0.0554
23.00	0.0246
24.00	0.0863
25.00	0.0246
26.00	0.0246
28.00	0.0246
29.00	0.0246
30.00	0.0246

Polimero A2/d1, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.0000
1.00	2.0865
2.00	3.1894
3.00	5.0932
4.00	8.0863
5.00	9.0437
6.00	10.6482
7.00	18.3335
8.00	21.7903
9.00	32.5312
10.00	33.6578
<b>11.00</b>	<b>34.2990</b>
12.00	0.3394
13.00	0.3126
14.00	0.3124
16.00	0.3124
17.00	0.3124
18.00	0.3124
19.00	0.3124
20.00	0.3124
21.00	0.3124
22.00	0.3124
23.00	0.3124
24.00	0.3124
25.00	0.0000
26.00	0.0000
27.00	0.0000
28.00	0.0000
29.00	0.0000
30.00	0.0000

Polimero A1/d15, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.0000
0.10	3.4560
0.20	9.5467
0.30	12.4356
0.40	15.3240
0.50	19.9384
0.60	20.8335
0.70	21.6051
<b>0.81</b>	<b>21.8239</b>
0.90	0.3086
1.00	0.3086
1.10	0.3086
1.20	0.3703
1.30	0.3394
1.40	0.3703
1.50	0.3703
1.60	0.3394
1.70	0.3394
1.80	0.3394
1.90	0.3086
2.00	0.3086
2.10	0.2777
2.20	0.3086
2.30	0.2777
2.40	0.2777
2.50	0.3086
2.60	0.2777
2.80	0.3394
2.90	0.3086
3.00	0.0000

Polimero A3/d30, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.0000
0.00	19.2285
0.10	19.9693
0.20	19.4137
0.30	20.1545
0.40	19.7224
0.50	19.7841
0.60	19.7841
0.70	20.3088
0.80	20.2162
0.90	20.6483
<b>0.98</b>	<b>21.5125</b>
1.00	0.6481
1.10	0.3086
1.20	0.3086
1.30	0.2777
1.40	0.3086
1.50	0.2777
1.60	0.3086
1.70	0.2777
1.80	0.2777
2.00	0.2777
2.10	0.2777
2.20	0.3086
2.30	0.3086
2.40	0.3086
2.50	0.3086
2.60	0.3086
2.70	0.3394
3.00	0.0000

Polimero A2/d15, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.0000
0.10	16.9446
0.20	18.1174
0.30	19.0434
0.40	20.4631
0.50	22.5928
0.60	24.2286
0.70	24.7533
0.80	25.2163
0.90	25.2780
1.00	27.6237
1.10	28.9509
<b>1.16</b>	<b>29.6916</b>
1.20	28.4879
1.30	27.9015
1.40	27.9941
1.50	26.2039
1.60	24.6607
1.70	1.5432
1.90	0.3394
2.00	0.3394
2.10	0.3394
2.20	0.3703
2.30	0.3394
2.40	0.3394
2.50	0.3394
2.60	0.3394
2.70	0.3703
2.80	0.3394
3.00	0.0000

Polimero A2/d1, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	29.5064
0.10	30.7410
0.20	30.8027
0.30	31.2966
0.40	31.8830
0.50	31.8830
0.60	31.9756
0.70	31.9756
<b>0.88</b>	<b>32.3768</b>
0.90	31.2966
1.00	0.3086
1.10	0.3394
1.20	0.3086
1.30	0.3086
1.40	0.3394
1.50	0.3394
1.60	0.3394
1.70	0.3394
1.80	0.3394
2.00	0.3394
2.10	0.3394
2.20	0.3394
2.30	0.3394
2.40	0.3394
2.50	0.3086
2.60	0.3086
2.70	0.3086
2.80	0.3086
2.90	0.3086
3.00	0.2777

Polimero A2/d1, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	17.4384
0.10	19.7224
0.20	21.5742
0.30	23.6113
0.40	24.9076
0.50	25.5249
0.60	26.2039
0.70	27.9632
0.80	26.1422
0.90	24.3212
1.00	23.3644
1.10	26.2657
1.20	25.5558
1.30	28.0249
1.40	29.2595
1.50	31.3609
1.54	31.5338
<b>1.60</b>	<b>31.9756</b>
1.70	0.3086
1.80	0.2777
1.90	0.2777
2.00	0.3086
2.10	0.3086
2.20	0.3086
2.30	0.3086
2.40	0.3086
2.50	0.3086
2.60	0.3394
2.62	0.3703
3.00	0.0000

Polimero A2/d5, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	5.4012
0.20	6.3272
0.30	6.2963
0.50	8.0864
0.70	9.0432
0.90	11.7593
1.00	12.7470
1.20	15.1236
1.40	18.6730
1.60	20.9570
1.70	21.6977
1.80	22.8706
1.90	23.3644
2.00	24.1360
2.10	25.1237
2.20	27.1607
2.30	29.0435
2.40	30.0003
2.50	31.3583
2.60	31.6670
2.70	31.4200
2.80	29.1978
2.90	30.0620
3.00	31.5126
3.10	32.8089
3.40	32.7472
<b>3.50</b>	<b>33.2410</b>
3.60	0.3086
4.00	0.3703
4.84	0.3086

Polimero A2/d5, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	1.1419
0.10	2.0987
0.20	3.8580
0.30	6.7593
0.40	9.8457
0.50	12.5618
0.60	14.2902
0.70	17.0680
0.80	21.0496
0.90	24.7842
1.00	26.3274
1.10	27.7472
1.20	30.0929
1.30	31.9756
1.40	33.3645
<b>1.50</b>	<b>33.6731</b>
1.60	0.4629
1.70	0.3086
1.80	0.3086
1.90	0.3394
2.00	0.3086
2.10	0.3394
2.20	0.3086
2.30	0.3086
2.40	0.3703
2.50	0.3394
2.70	0.3703
2.80	0.3703
2.90	0.0000
3.00	0.0000

Polimero A3/d30, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	8.95065
0.02	9.53708
0.04	10.06177
0.06	10.70993
0.08	11.38895
0.10	11.79019
0.20	13.45687
0.30	14.07417
0.40	15.80258
0.50	16.41987
0.60	18.08656
0.70	19.22854
0.72	19.41373
0.74	19.69151
0.76	19.69151
0.78	19.87670
<b>0.80</b>	<b>20.18534</b>
0.82	20.02162
0.84	20.06189
0.86	19.87670
0.88	19.56805
0.90	18.58039
1.00	0.30858
1.10	0.30858
1.20	0.33944
1.40	0.37031
1.50	0.33944
1.70	0.33944
2.00	0.33944
2.10	0.33944

Polimero A3/d1, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	16.8520
0.02	16.8828
0.04	17.1606
0.06	17.5619
0.08	18.0557
0.10	18.4261
0.20	20.7100
0.30	22.3459
0.40	24.4447
0.50	26.1422
<b>0.58</b>	<b>26.8829</b>
0.60	19.6298
0.70	13.0248
0.80	0.3086
0.90	0.3086
1.00	0.3086
1.10	0.3086
1.30	0.3086
1.40	0.3086
1.50	0.3086
1.60	0.3394
1.70	0.3086
1.80	0.3086
1.82	0.3086
1.84	0.3086
1.86	0.2777
1.88	0.3086
1.90	0.3394
1.92	0.3394
3.00	0.0000

Polimero A3/d15, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	3.2407
0.10	5.3086
0.20	7.6852
0.30	10.7408
0.40	14.5680
0.50	17.1915
0.60	18.5804
0.70	20.6174
<b>0.72</b>	<b>21.1113</b>
0.80	16.2038
0.90	15.1544
1.00	14.2285
1.10	13.6421
1.20	12.9630
1.30	13.7038
1.40	15.1853
1.50	14.8149
1.60	0.3703
1.70	0.3394
1.80	0.3394
1.90	0.3703
2.00	0.3394
2.10	0.3394
2.20	0.3086
2.30	0.3086
2.40	0.3086
2.50	0.3086
2.70	0.3086
2.80	0.2777
3.00	0.0000

Polimero A3/d1, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	8.2716
0.10	11.2038
0.20	13.3334
0.50	17.0372
0.60	18.4569
0.70	20.1853
0.80	20.5557
0.90	19.3211
1.00	22.5619
1.10	26.2039
1.20	27.6854
1.30	28.7966
1.40	29.6916
1.50	29.2904
1.60	29.5373
1.70	29.6916
1.80	29.4756
2.10	30.2780
2.20	29.8151
2.30	30.2780
2.60	31.0497
2.70	30.2163
<b>2.78</b>	<b>32.9015</b>
2.90	30.5558
3.00	28.3644
3.10	24.1669
3.20	23.2718
3.30	13.8272
4.00	0.3086
4.10	0.0000

Polimero A2/d15, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.6790
0.50	3.1790
1.00	4.8765
1.50	12.7470
2.00	11.7593
2.50	15.8026
3.00	16.8828
3.50	18.6113
4.00	21.6051
4.50	21.2347
5.00	22.3150
5.50	25.4632
6.00	26.9138
6.50	28.5805
7.00	29.0126
7.50	28.2719
<b>7.80</b>	<b>32.0403</b>
8.50	0.2777
9.00	0.3086
9.50	0.3086
10.00	0.3086
10.50	0.3086
11.00	0.3086
11.50	0.2777
12.00	0.3086
13.00	0.2469
13.50	0.2469
14.00	0.2777
14.32	0.2777
14.34	0.2469

Polimero A3/d15, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	3.3024
0.20	2.6543
0.40	1.4197
0.60	3.3950
0.80	6.2346
1.00	5.8642
1.20	7.0062
1.40	10.9568
1.60	11.8828
1.80	13.1482
2.00	14.0742
2.20	14.6606
2.40	16.6977
2.60	17.4075
2.80	18.6113
3.00	19.9076
3.20	20.9570
3.40	21.2347
<b>3.54</b>	<b>21.4817</b>
3.80	18.5495
4.00	18.1483
4.20	17.1915
4.40	18.5804
4.60	1.1419
5.00	0.3703
5.20	0.3703
5.40	0.3086
5.60	0.2777
5.80	0.3086
6.00	0.3394

Polimero A2/d1, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	2.2222
0.20	5.3704
0.40	6.4506
0.60	7.6235
0.80	8.3642
1.00	10.0000
1.20	11.4815
1.40	12.0371
1.60	14.0124
1.80	14.5063
2.00	16.5433
2.20	16.9754
2.40	18.8890
2.60	19.6915
2.80	20.0619
3.00	21.2656
3.20	22.9632
3.40	23.3644
3.60	22.8397
3.80	23.8582
4.00	24.5064
4.20	25.5558
4.40	26.5743
<b>4.62</b>	<b>26.9106</b>
4.80	18.8890
5.00	18.3952
5.20	22.7471
5.40	0.3703
5.80	0.3703
6.00	0.3703

Polimero A2/d15, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	7.4383
0.10	8.4568
0.20	10.3087
0.30	11.1420
0.40	12.6544
0.50	15.4013
0.60	18.1174
0.70	19.7532
0.80	21.6668
0.90	23.3335
1.00	24.0743
1.10	25.0619
1.20	26.6978
1.30	28.0558
1.40	29.5064
<b>1.50</b>	<b>31.2040</b>
1.60	0.3394
1.70	0.3086
1.80	0.3086
1.90	0.3394
2.00	0.3086
2.10	0.3394
2.20	0.3394
2.40	0.3394
2.50	0.3394
2.60	0.3394
2.70	0.3394
2.80	0.3086
2.90	0.3086
3.00	0.3086

Polimero A2/d30, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	11.5433
0.10	12.0062
0.20	12.5309
0.30	13.3643
0.40	13.8581
0.50	14.8149
0.60	14.5063
0.70	16.6051
0.80	17.7162
0.90	19.1668
1.00	18.9508
1.10	19.3520
1.20	21.3582
1.30	22.8706
1.40	24.2286
1.50	25.5558
1.60	26.2039
1.70	26.7595
1.80	27.6854
1.90	29.1052
<b>1.98</b>	<b>30.9040</b>
2.10	0.3703
2.20	0.3703
2.40	0.3394
2.50	0.3394
2.60	0.3086
2.70	0.3394
2.80	0.3086
2.90	0.3086
3.00	0.3086



Polimero A2/d30, R2-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	14.4445
0.10	15.1236
0.20	15.8026
0.30	15.7409
0.40	16.2038
0.50	17.8705
0.60	18.5804
0.70	18.9816
0.80	20.1545
0.90	21.2347
1.00	22.2841
1.10	23.9817
1.20	24.8768
1.30	25.4940
1.40	26.0805
1.50	26.7595
1.60	27.7163
1.70	28.9200
1.80	30.4015
1.90	31.6361
2.00	31.8521
2.10	31.6361
<b>2.28</b>	<b>31.7866</b>
2.30	31.0373
2.40	30.6052
2.46	30.8800
2.60	0.3086
2.80	0.2777
2.90	0.2777
3.00	0.2777

Polímero A3/d5, R1-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	0.0000
1.00	2.3495
2.00	5.6790
3.00	8.0864
4.00	7.9939
5.00	14.3211
6.00	15.3705
7.00	19.4137
8.00	23.7348
9.00	17.2532
10.00	22.9632
11.00	22.4385
12.00	17.4384
13.00	18.1483
14.00	25.1854
15.00	18.7964
16.00	20.3397
17.00	21.9138
18.00	22.9940
<b>19.00</b>	<b>25.9261</b>
21.00	15.0927
22.00	13.6112
23.00	8.4568
24.00	7.9321
25.00	6.2037
26.00	0.3703
27.00	0.4012
28.00	0.3394
29.00	-0.0001
30.00	0.1234

Polímero A3/d5, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	8.0864
1.00	7.9939
2.00	14.3211
3.00	15.3705
4.00	19.4137
5.00	23.7348
6.00	17.2532
7.00	22.9632
8.00	22.4385
9.00	17.4384
10.00	18.1483
11.00	25.1854
12.00	18.7964
13.00	20.3397
14.00	21.9138
15.00	22.9940
<b>15.12</b>	<b>23.0557</b>
17.00	21.0187
19.60	9.7223
21.00	7.9321
22.00	6.2037
23.00	0.3703
29.70	0.3394
29.72	0.3394
29.74	0.3394
29.76	0.3394
29.78	0.3703
29.80	0.3703
29.86	0.3394
30.00	0.3703

Polimero A2/d30, R3-A

Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	20.5557
1.00	19.3520
2.00	20.8026
3.00	18.9816
4.00	31.2349
5.00	33.3028
<b>5.94</b>	<b>31.8830</b>
6.00	28.9200
7.00	26.6978
8.00	21.2965
9.00	28.7348
11.00	14.6606
12.00	24.0743
13.00	25.2471
14.00	18.9508
15.00	28.2719
16.00	18.5187
17.00	20.2471
20.00	0.3703
21.00	0.3703
22.00	0.3394
23.00	0.3703
24.00	0.3394
25.00	0.3703
26.00	0.3394
28.00	0.8930
27.00	0.7715
29.00	0.2962
29.98	0.0247
30.00	0.0247

Polimero A3/d1 R3-A

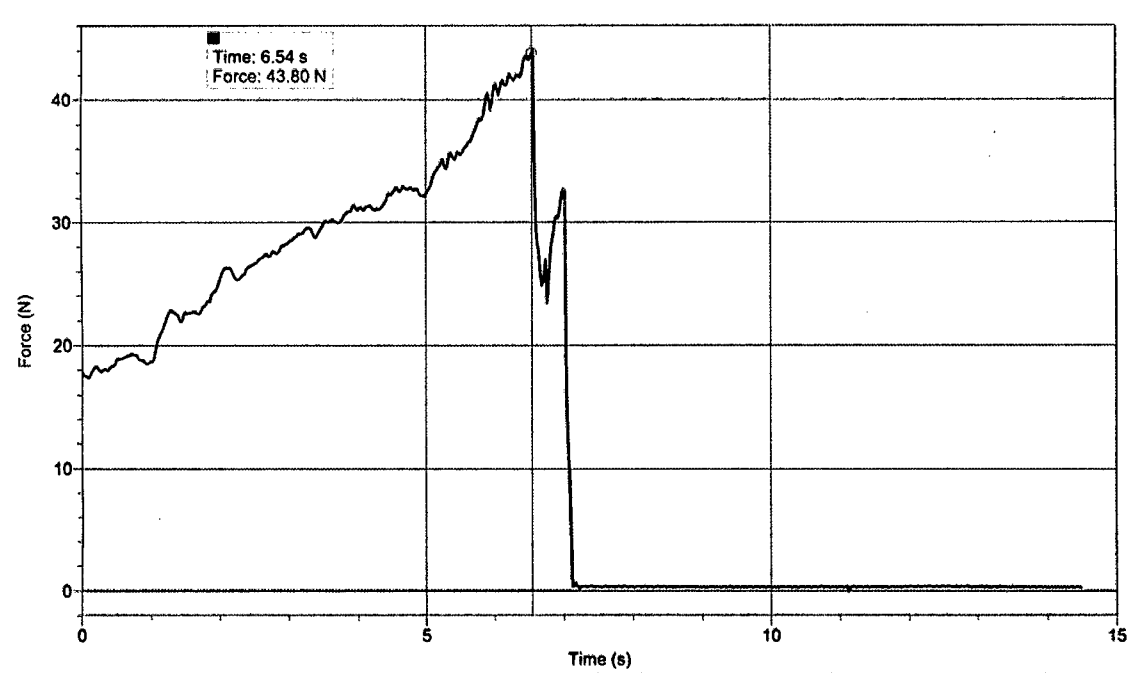
Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	29.9694
0.10	30.2780
0.20	22.5619
0.30	17.5001
0.40	18.0003
0.50	23.3336
0.60	26.2595
<b>0.62</b>	<b>27.6854</b>
0.70	19.4446
1.50	11.6050
3.24	6.9445
3.26	7.2840
7.90	5.0309
7.92	4.1049
7.94	1.6049
7.96	0.9259
7.98	0.6790
8.02	0.8333
8.04	0.8641
8.06	1.1111
8.08	1.5123
8.10	1.1728
8.12	0.3394
8.14	0.3703
8.16	0.3703
8.18	0.3703
8.20	0.3086
8.22	0.3086
8.26	0.3703
8.28	0.3703

Polimero A1/d15, R3-A

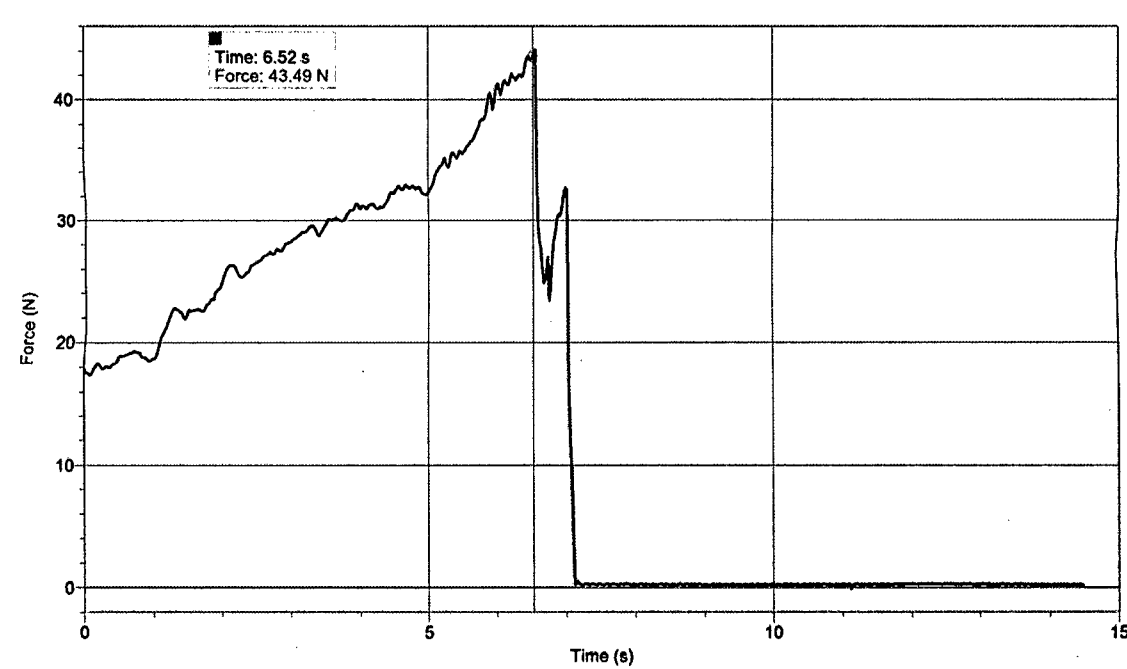
Tiempo (S)	Fuerza (N)
0.00	12.0977
0.02	20.9261
0.04	21.6668
0.06	22.4076
0.08	23.2718
0.10	25.2163
0.12	27.4076
0.14	29.5990
0.16	31.6052
0.18	33.8583
0.20	35.8028
0.22	37.0065
0.24	37.8707
0.26	38.4572
0.28	39.4140
<b>0.30</b>	<b>40.0312</b>
0.50	25.4632
0.88	21.2039
0.90	19.0434
0.92	18.1483
0.94	17.1298
0.96	17.0372
0.98	17.8396
1.38	16.3581
2.28	14.7840
9.30	0.4012
9.34	0.3703
9.36	0.3703
9.38	0.3703
9.40	0.3086

**Anexo 4.2. Graficas de Tensión Cortante(N) VS Tiempo(s) reportado por el Sensor de Fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ) Procesado en el Software Lager Pro 3.6.0**

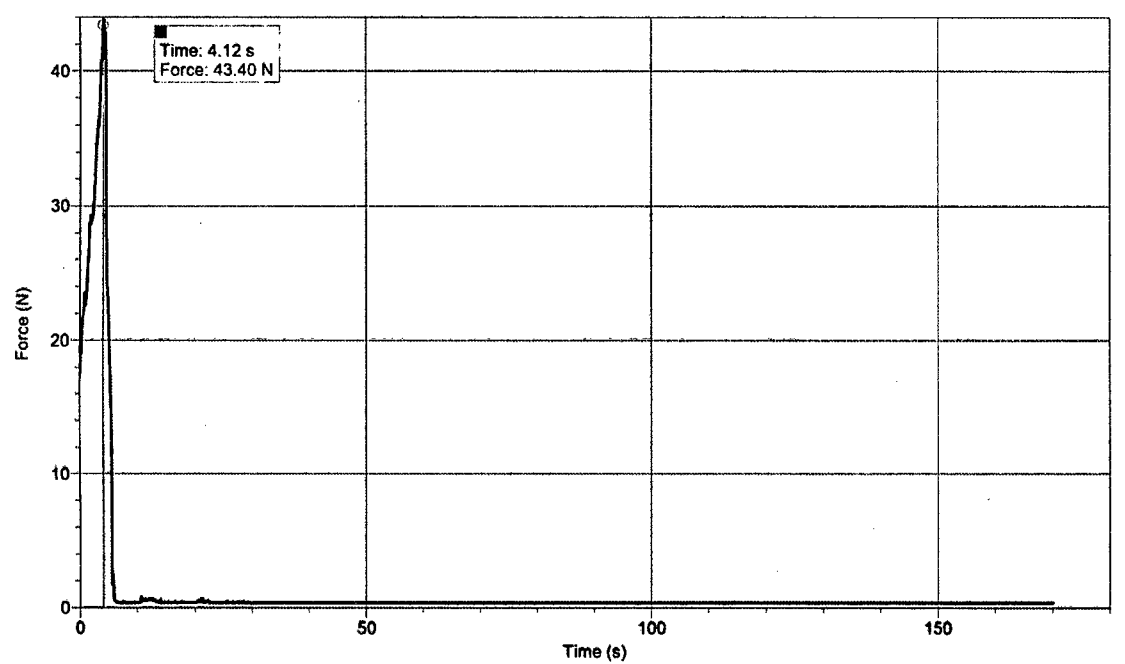
Polímero A1/d1-A



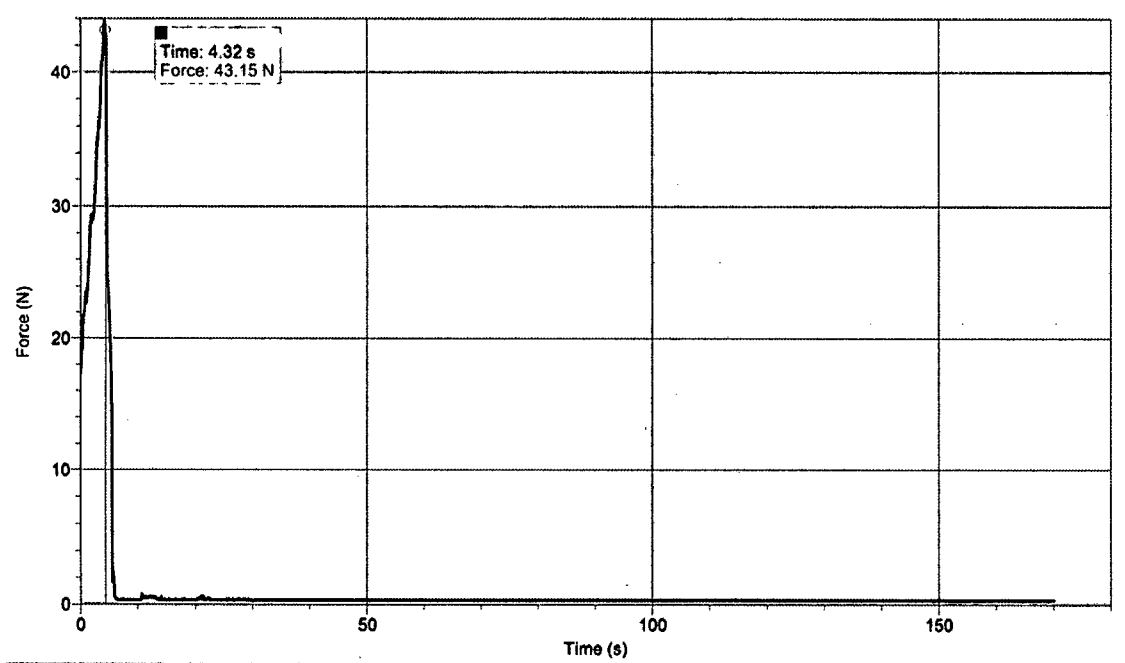
Polímero A1/ d1, R2-A



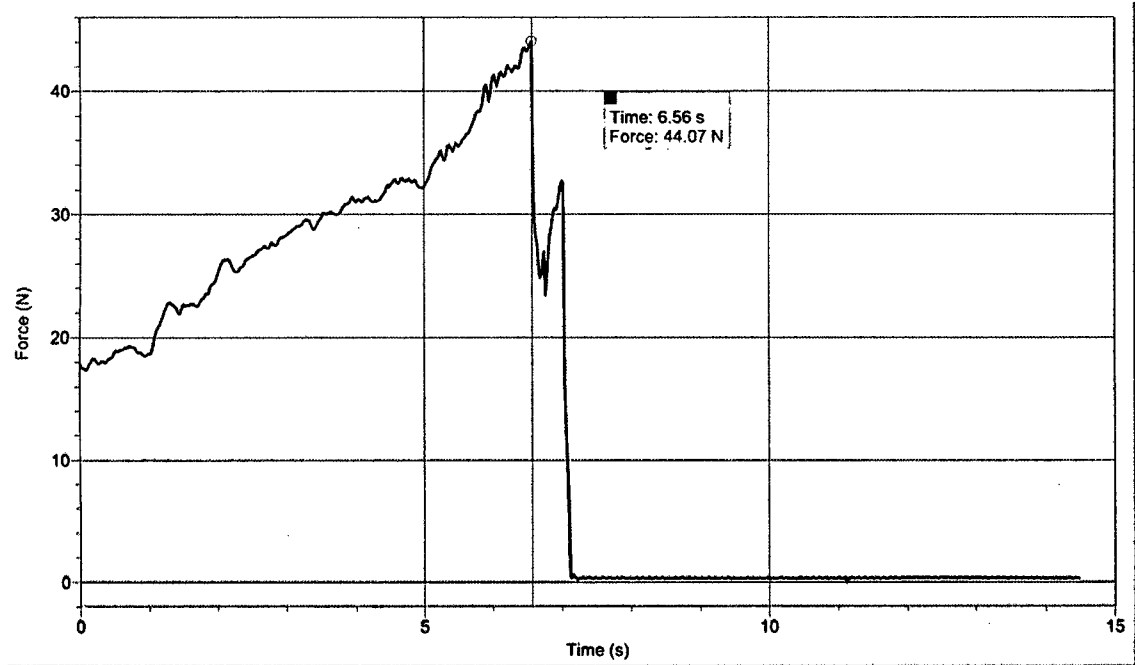
Polímero A1/d1, R3-A



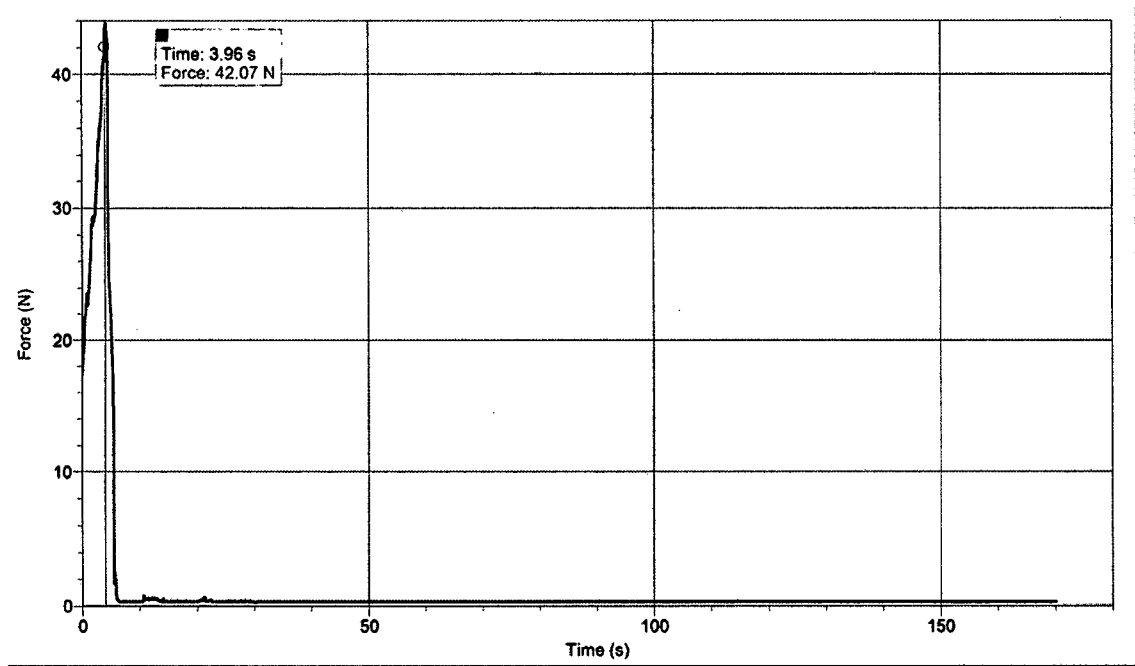
Polímero A1/d5, R1-A



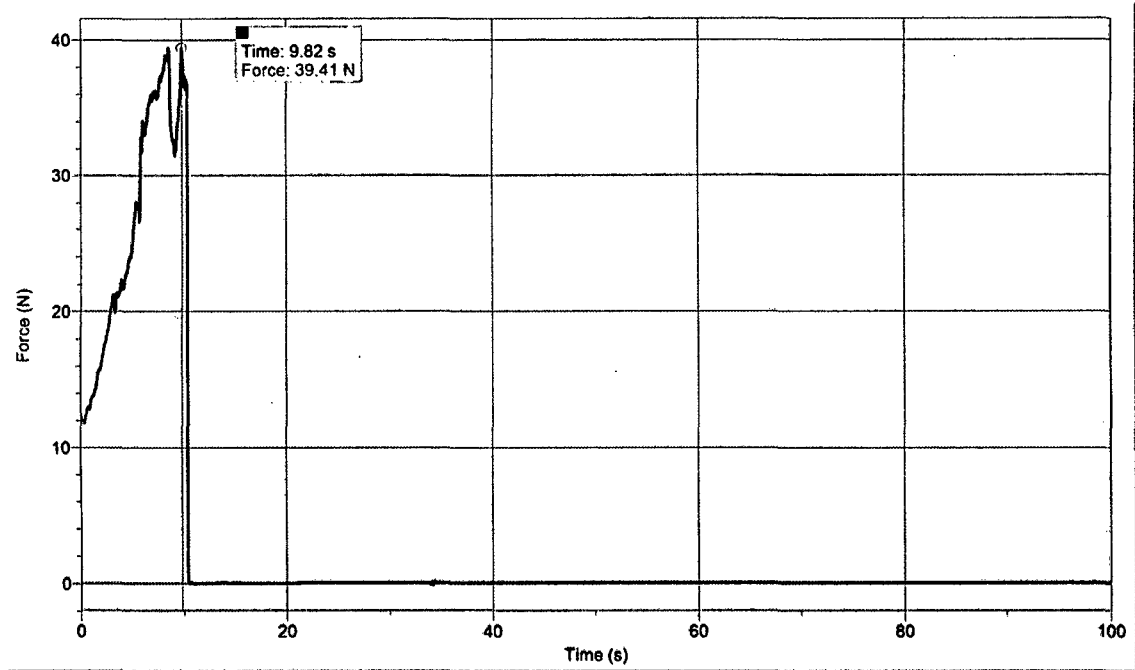
Polímero A1/d5, R2-A



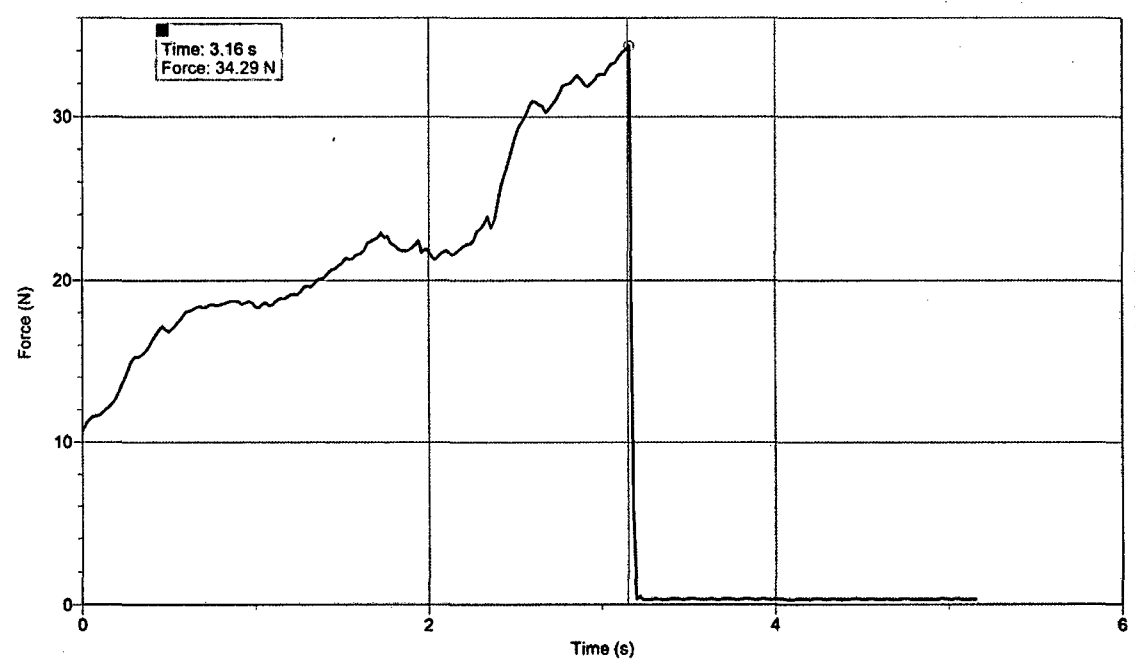
Polímero A1/d5, R3-A



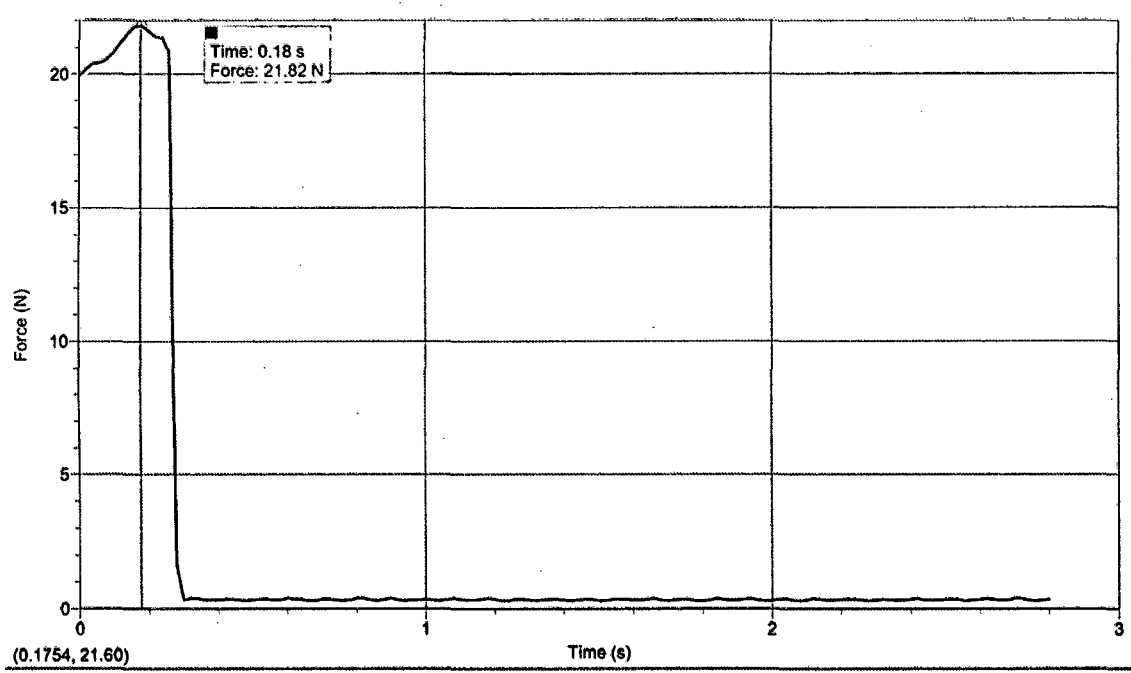
### Polímero A1/d15, R1-A



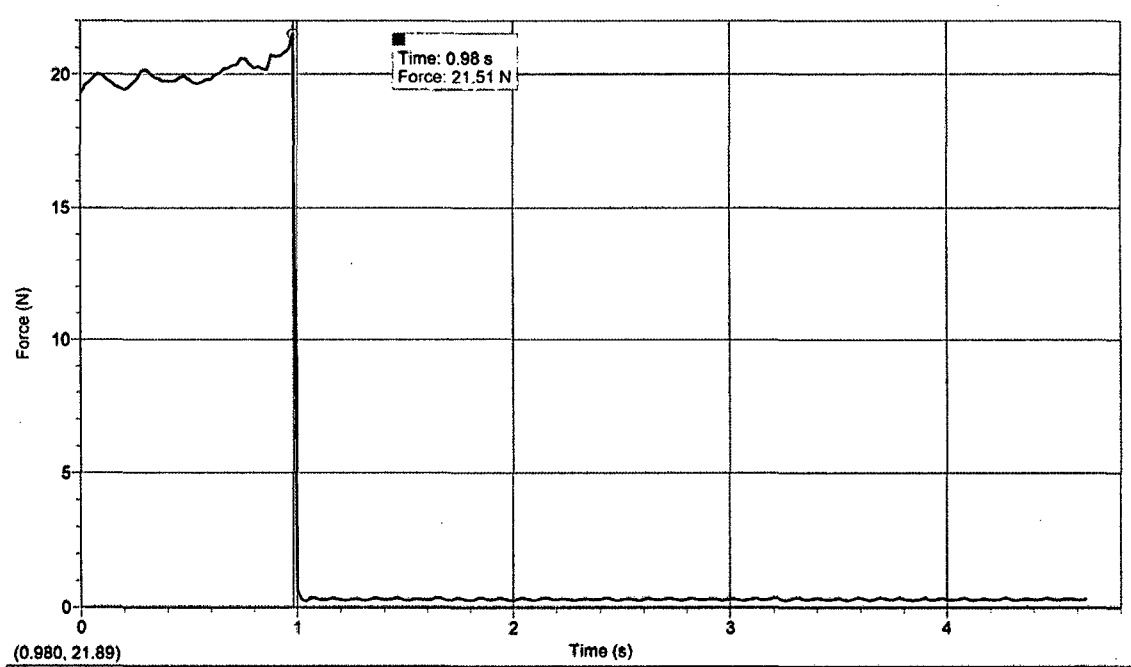
### Polímero A2/d1, R1-A



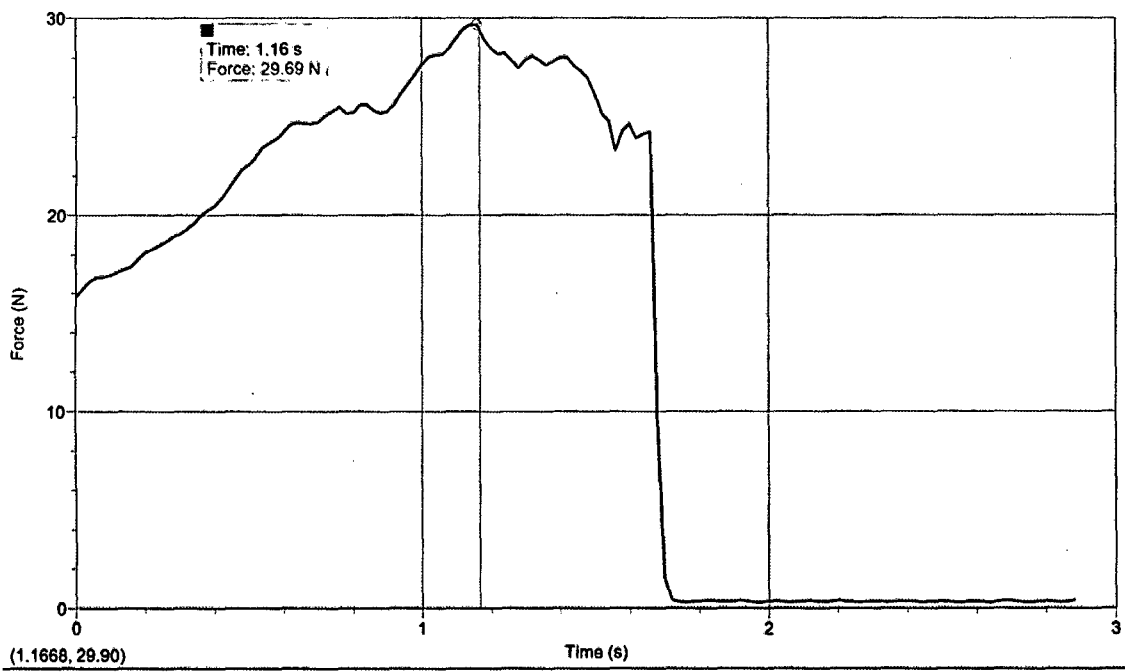
Polímero A3/d30, R3-A



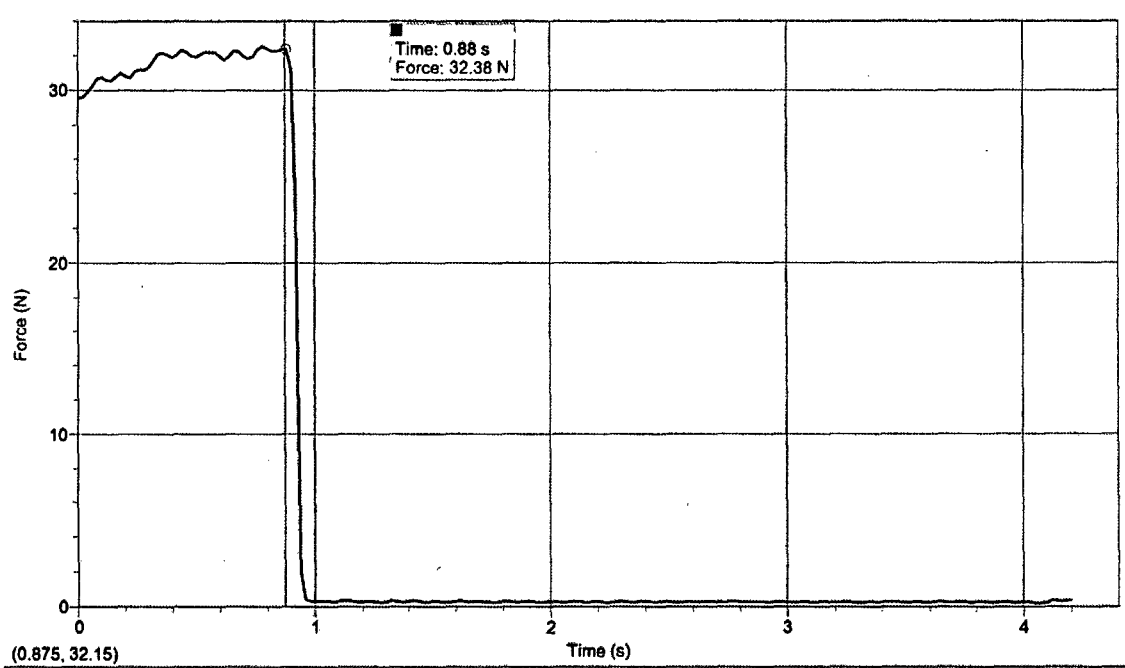
Polímero A3/d30, R2-A



Polimero A1/d15, R3-A

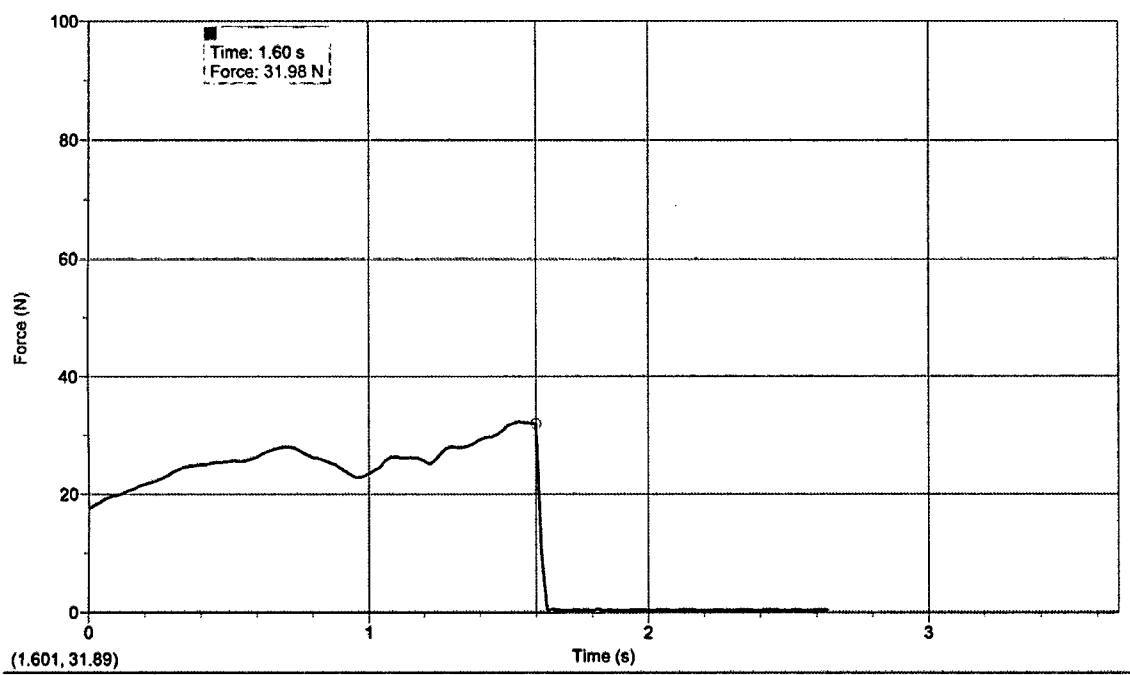


Polimero A2/d1, R2-A

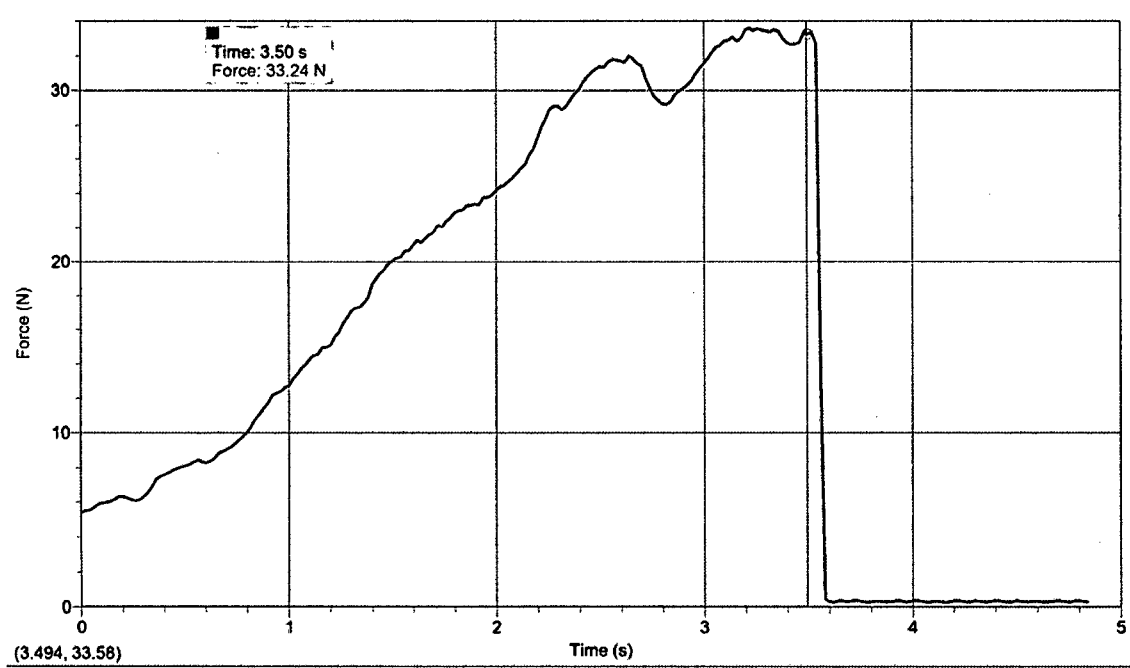




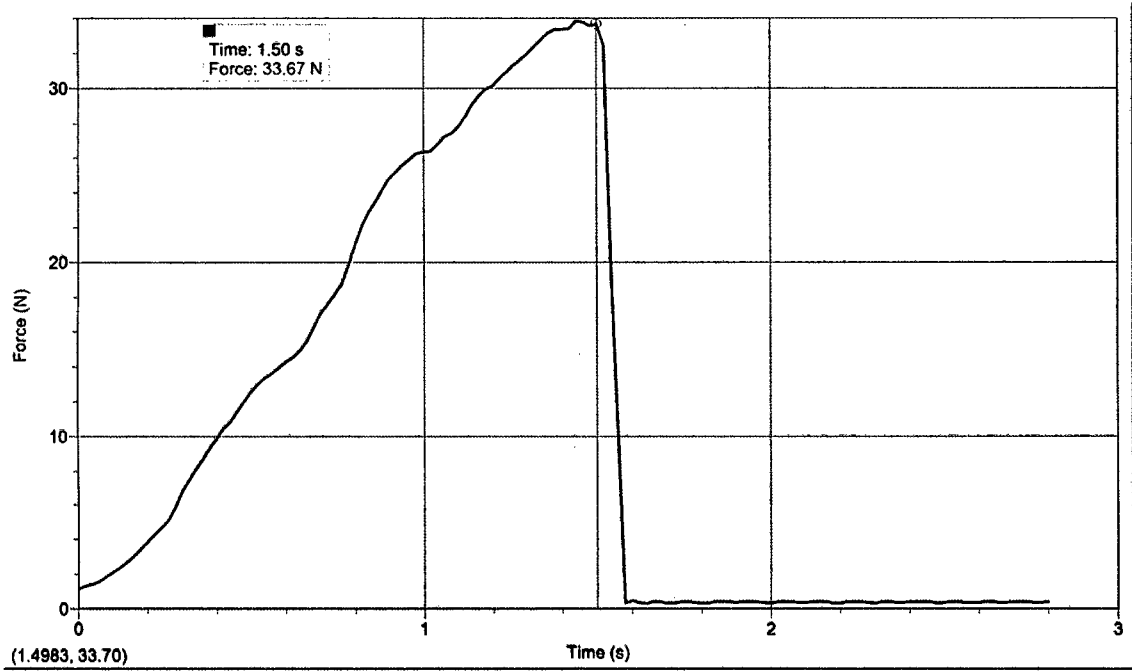
Polimero A2/d1, R3-A



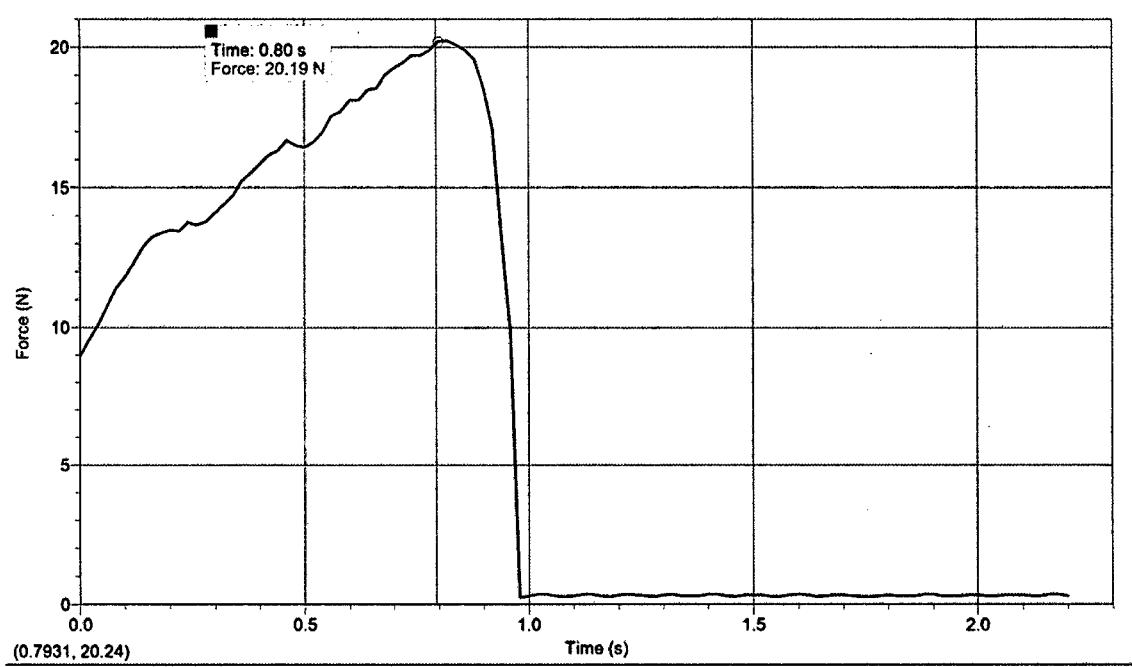
Polimero A2/d5, R1-A



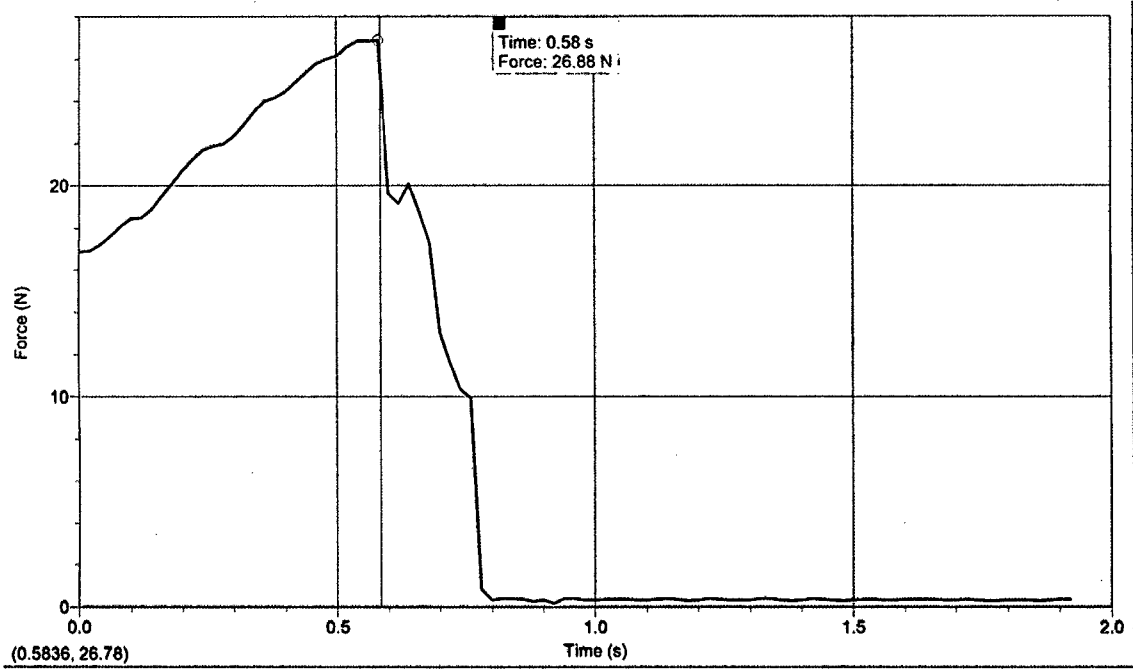
Polimero A2/d5, R2-A



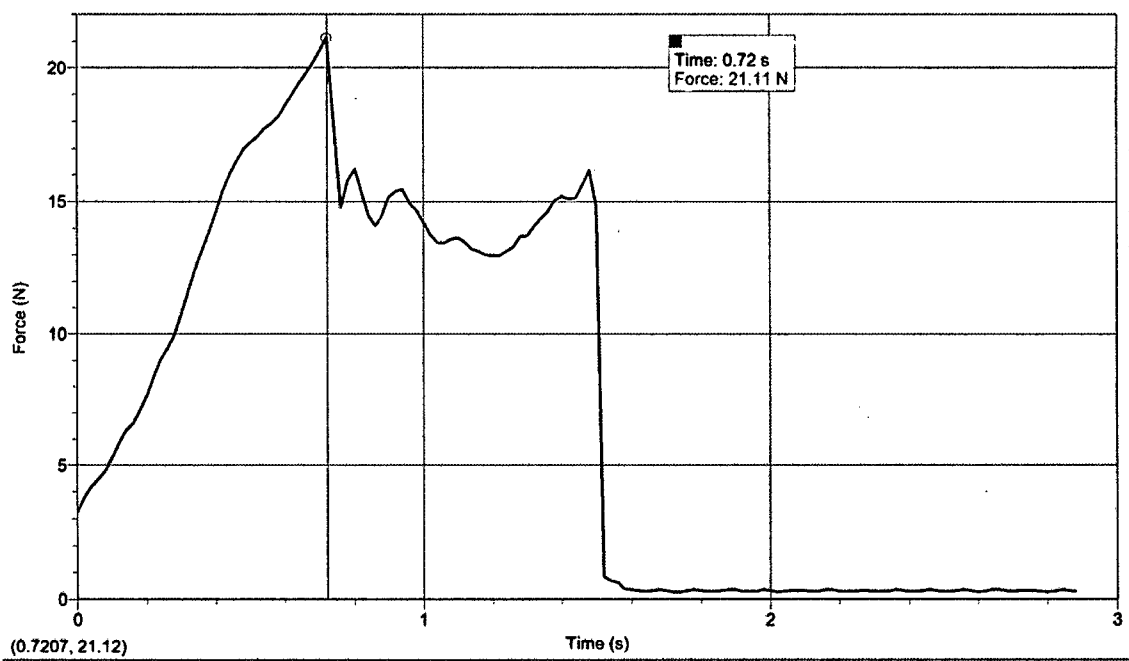
Polimero A3/d30, R1-A



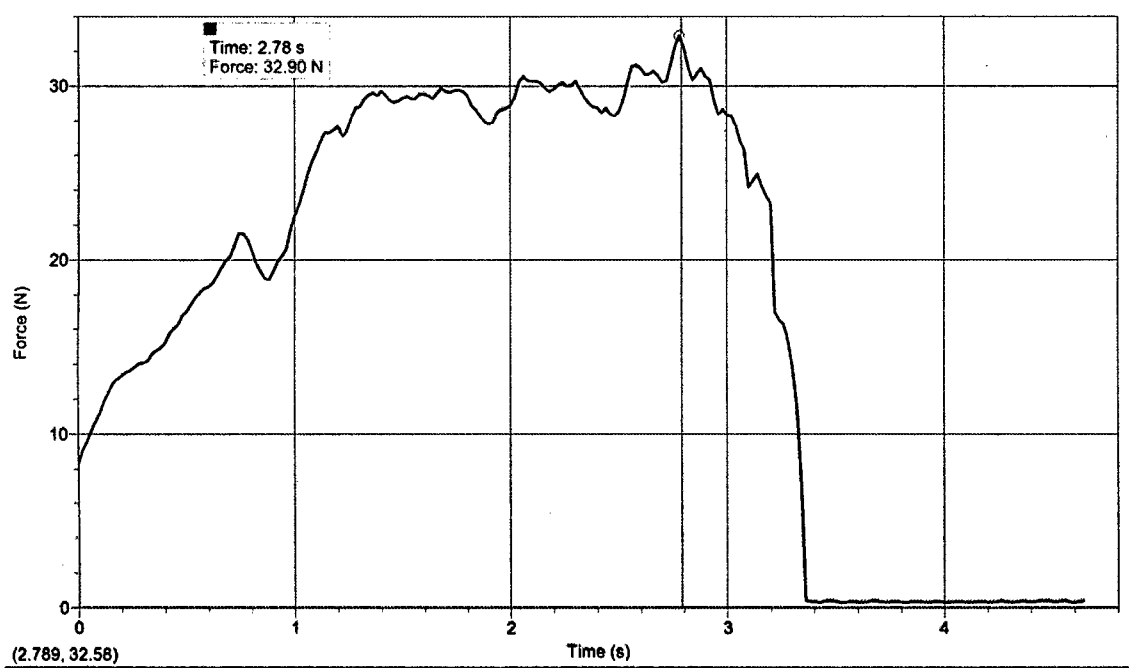
Polimero A3/d1, R2-A



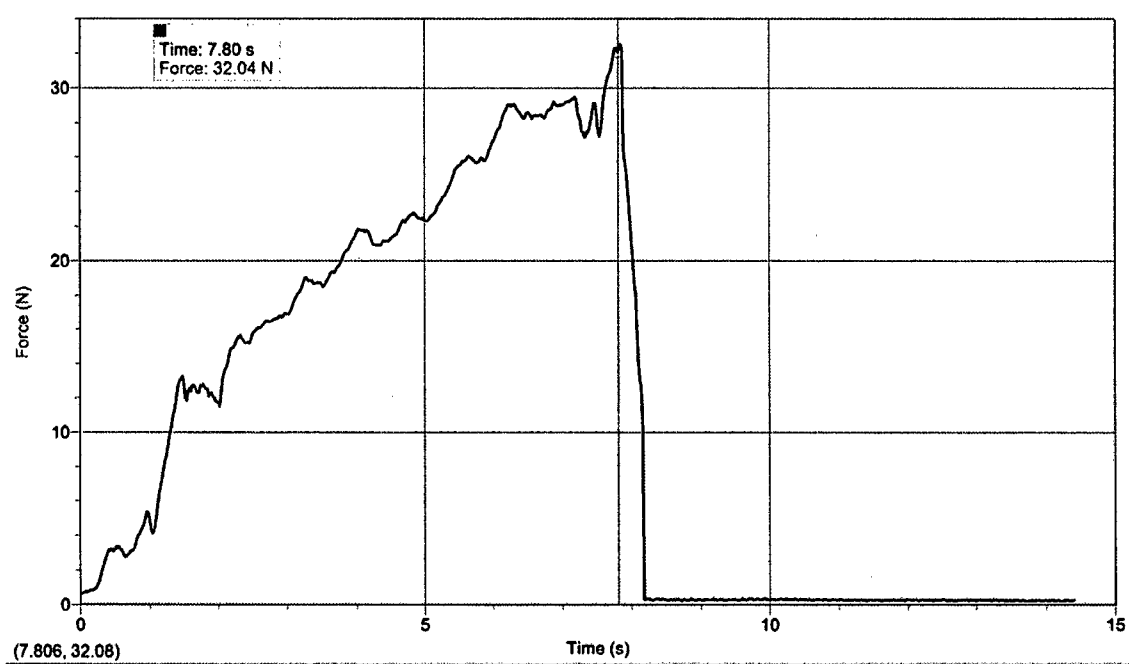
Polimero A3/d15, R3-A



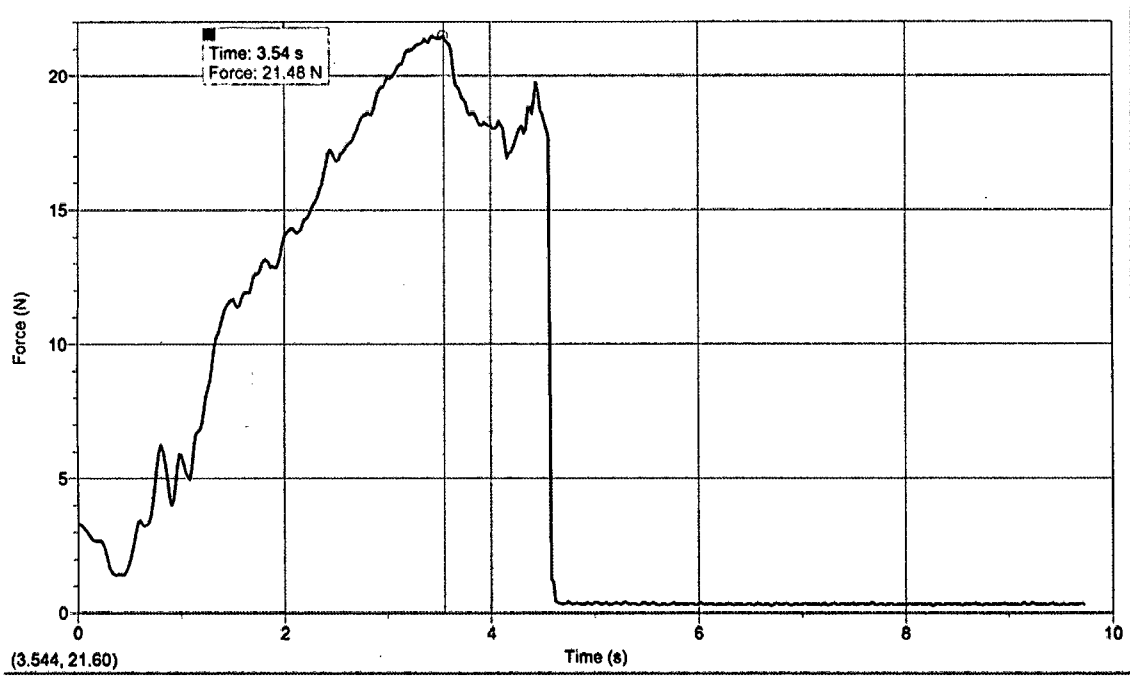
Polimero A3/d1, R2-A



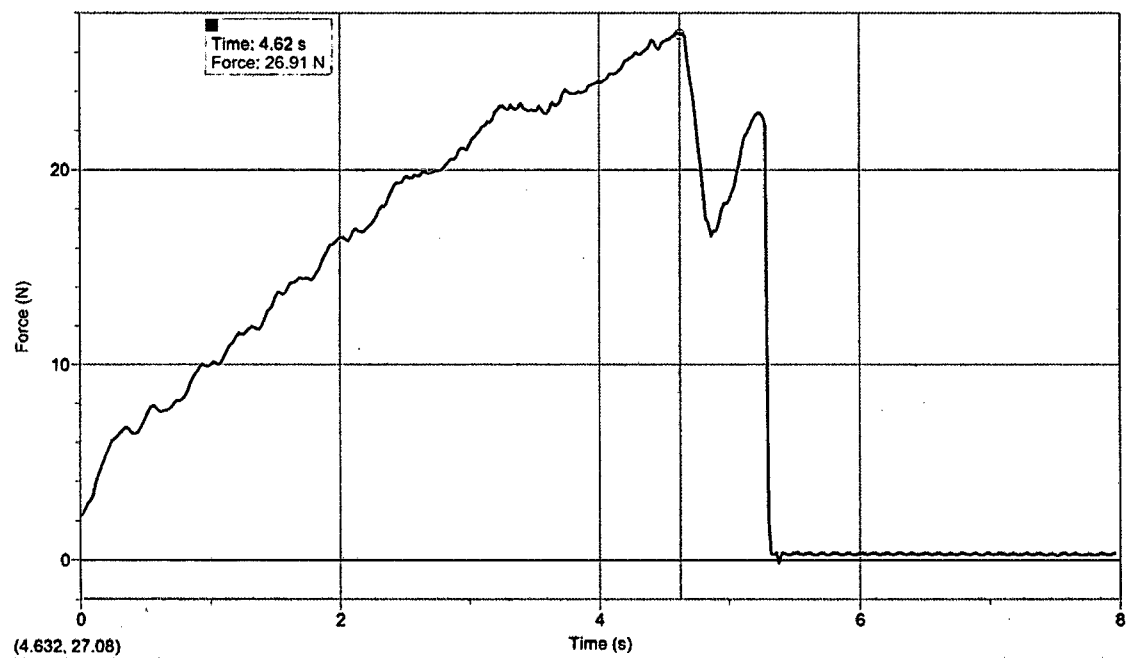
Polimero A2/d15, R1-A



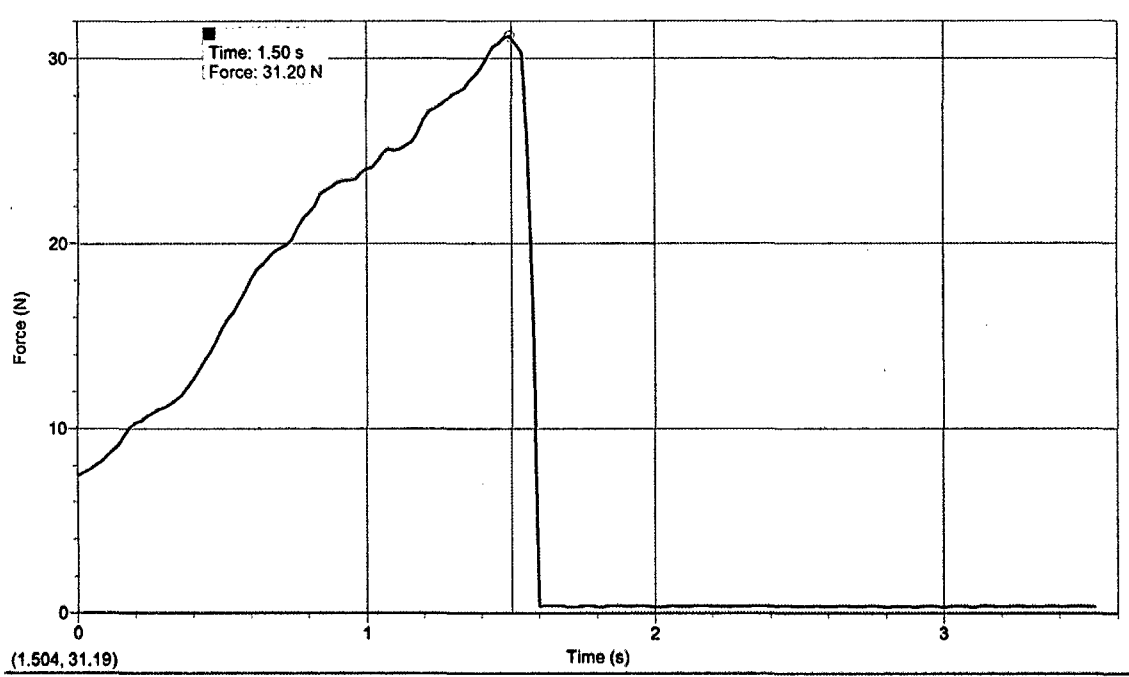
Polimero A3/d15, R2-A



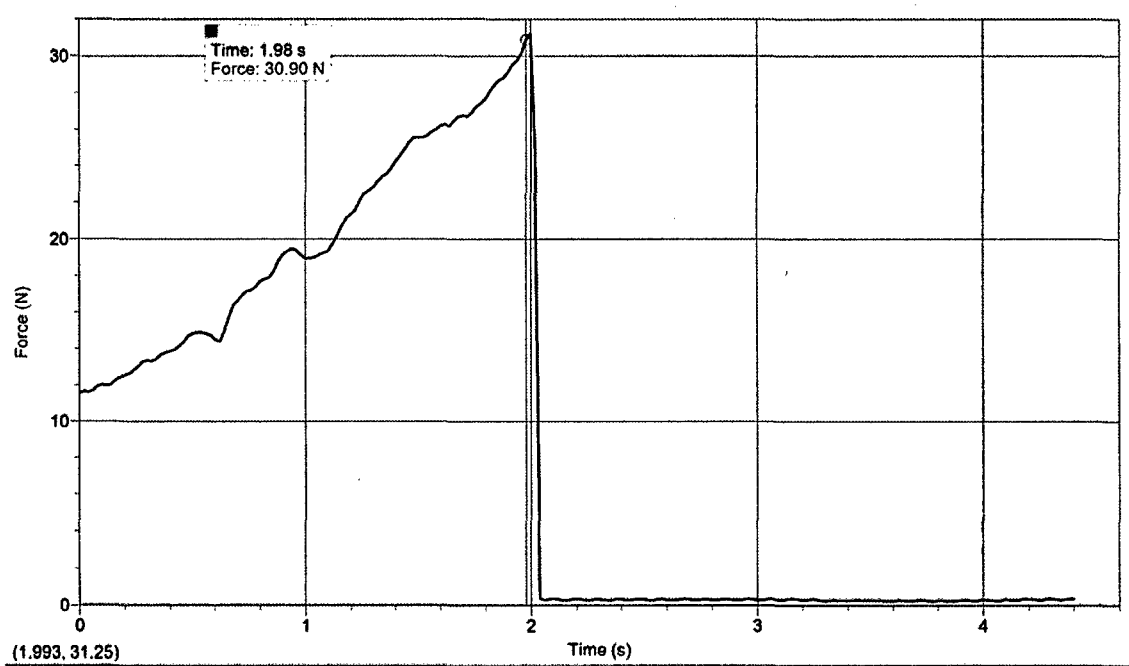
Polimero A2/d1, R2-A



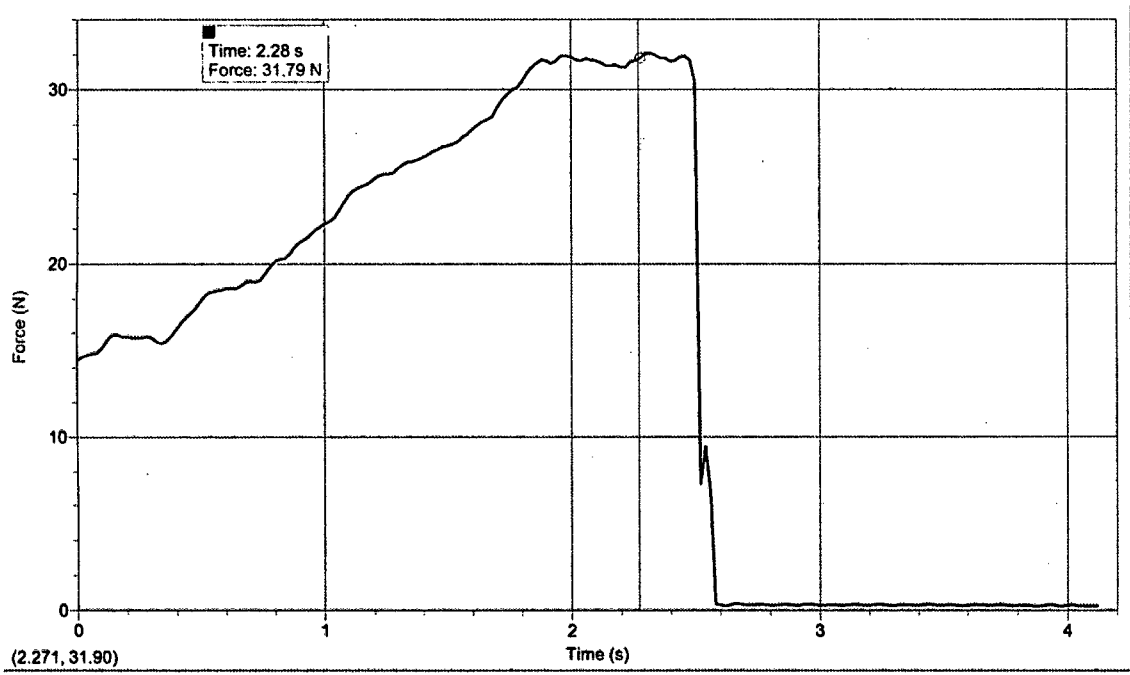
Polimero A2/d15, R2-A



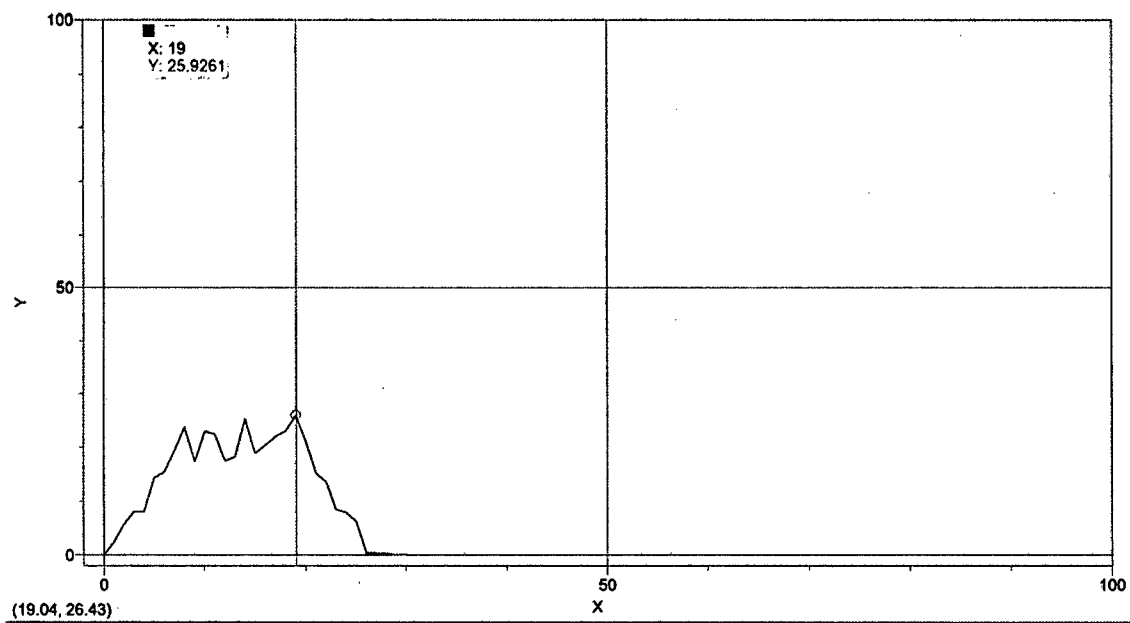
Polimero A2/d30, R2-A



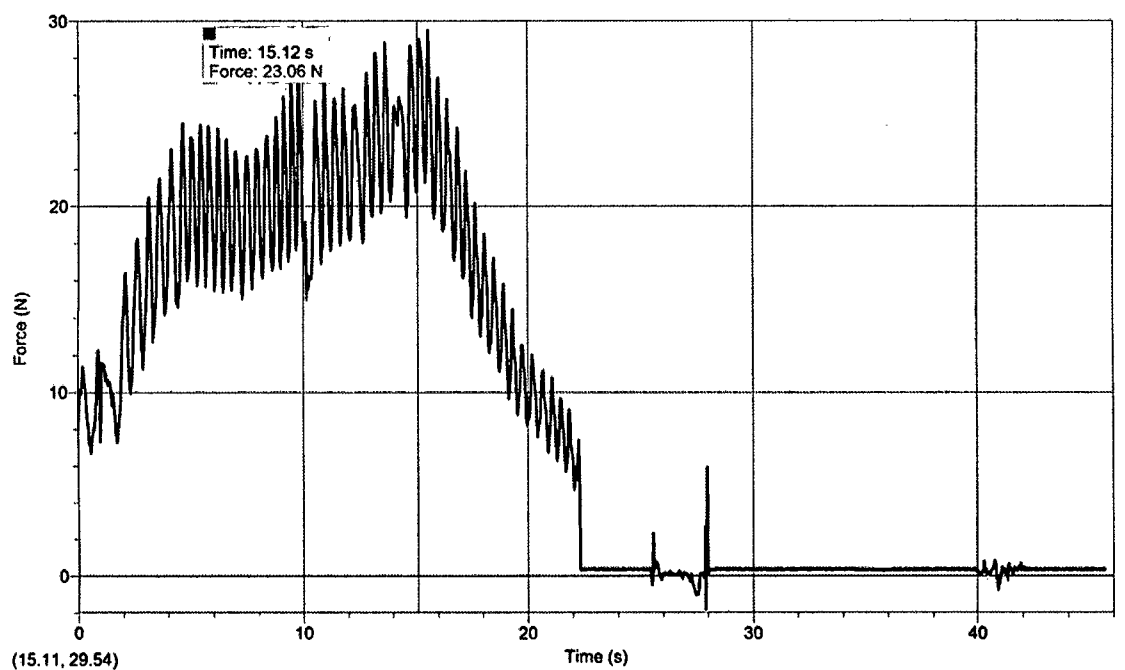
Polímero A2/d30, R2-A



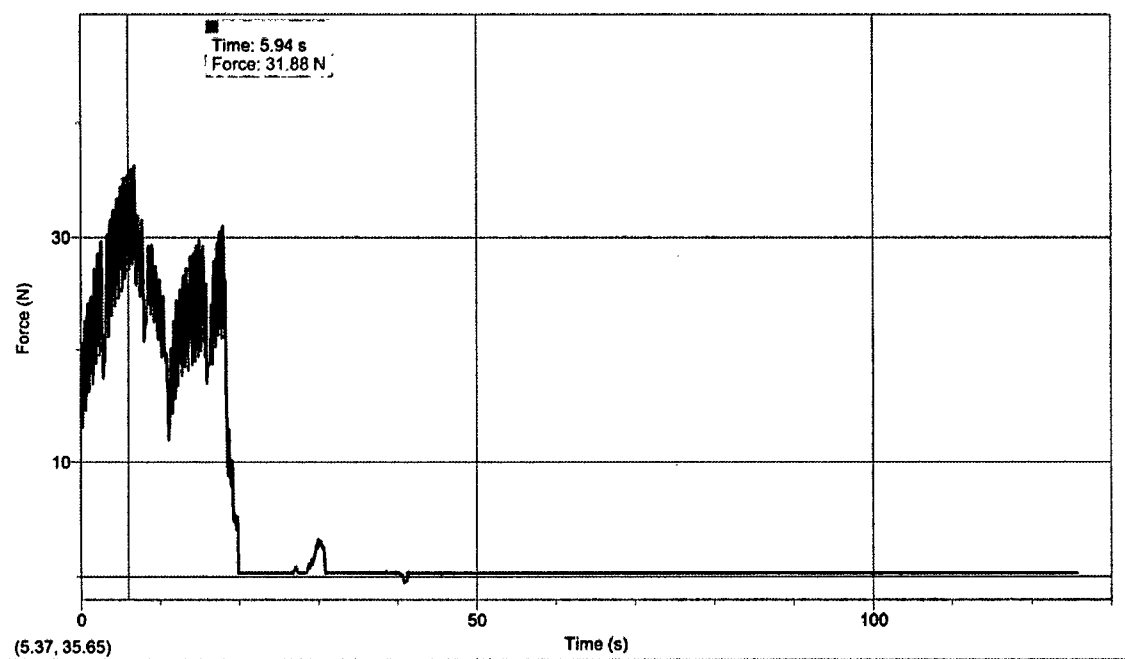
Polímero A3/d5, R1-A



Polímero A3/d5, R3-A

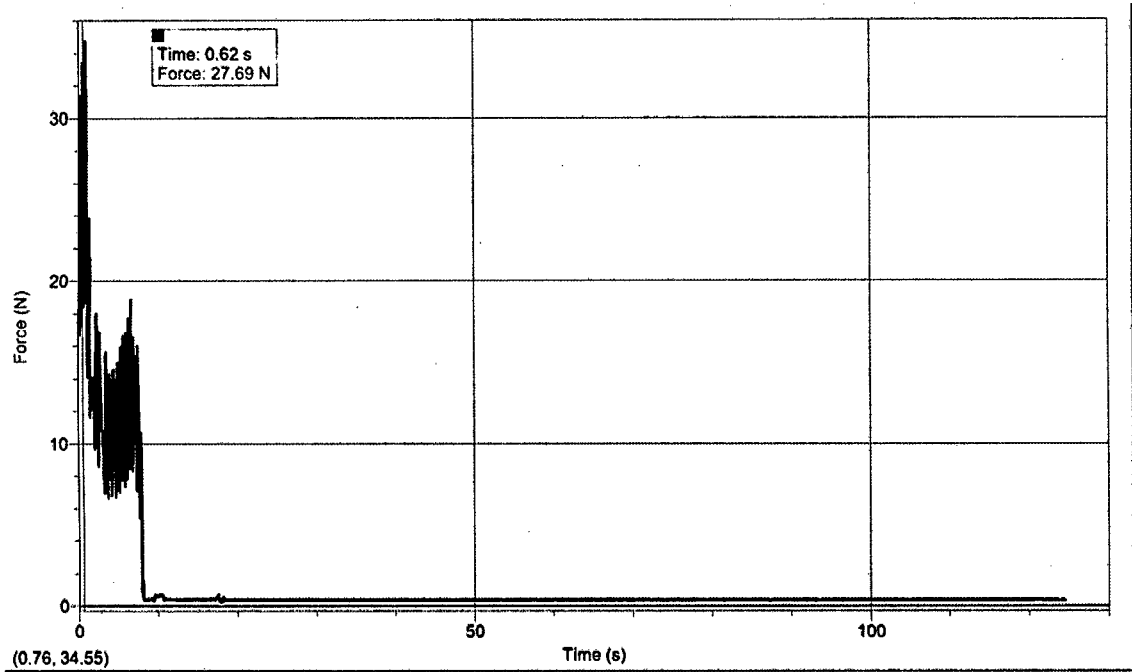


Polímero A2/d30, R3-A

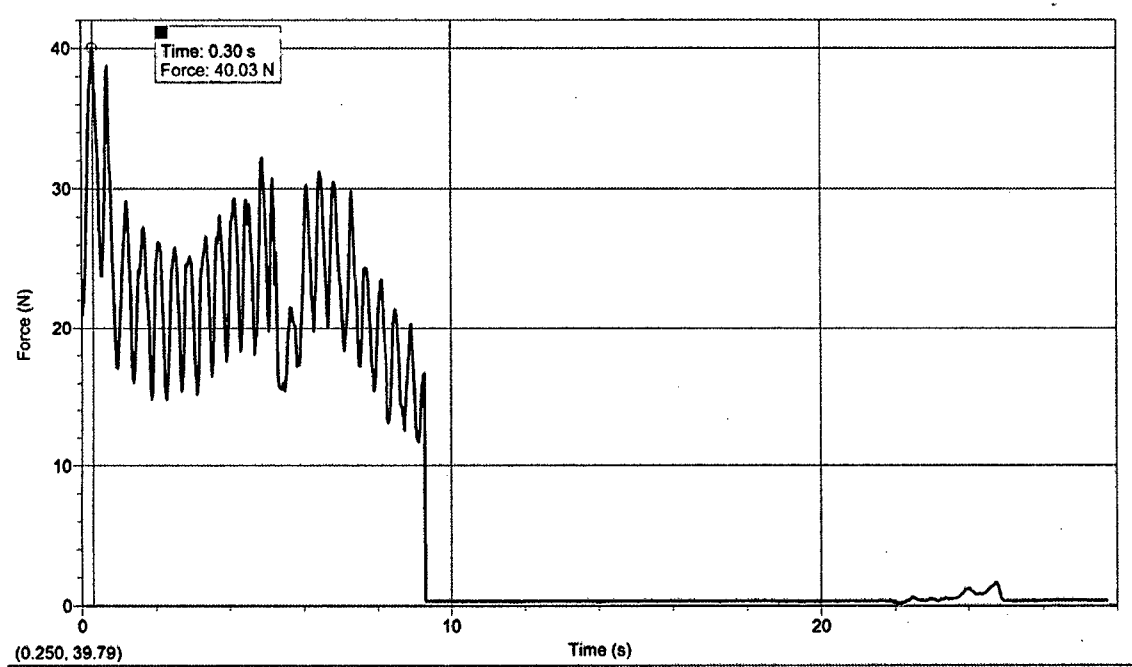




Polimero A3/d1 R3-A



Polímero A1/d15, R3-A



## ANEXO 5

### Anexo 5.1. Características Químicas y biológicas de la Tierra Orgánica usada como Medio de Degradación (B3)

pH	N Total	P Asimilable	K asimilable
6.37	0.309	0.0342	1.089

Fuente. Adaptación de García, M. Sánchez, S. Delgado, V. (2007), Evaluación de las Técnicas de Laboratorio para análisis de suelo, UNTRM, Chachapoyas, Perú.

### Anexo 5.2. Características del Fisicoquímicas y biológicas del agua residual usada como Medio de Degradación (B2)

pH	Conductividad uS/cm	OD mg/L	T °C	STD ppm	Salinidad %	Apariencia
8.2	541.5	8	13.5	198	1	Ligeramente Turbio

Fuente: Adaptado de Torrez, L (2007). Capacidad de Auto recuperación del Rio Sonche, Sector de Confluencia de las Quebradas Santa Lucia y Taquia huayco, distrito de Chachapoyas, Departamento de Amazonas, Perú.

### Anexo 5.3. Características del Fisicoquímicas y biológicas de la Solución de Levadura al 1% usada como Medio de Degradación (B1)

Características Químicas y biológicas			
pH	Temp. °C	°Brix	Apariencia
6.8	11	6	Sin turbidez

Fuente: Elaboración Propia/2015.

**ANEXO 6**

**Anexo 6.1. Costos de Producción en la Obtención del Polímero Biodegradable.**

Nº	CODIGO	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/.	SUB TOTAL S/.
	<b>001-GV</b>	<b>Insumos</b>					<b>0.46355</b>
<b>1</b>	001.1.	Amilosa de Vituca	Pureza (98%), Humedad (15%)	Kilogramo	0.0050	2.5000	0.01250
	001.2.	Alcohol Polivinílico*	Solido Granulado, Pureza (99.9%)	Kilogramo	0.0050	48.0000	0.24000
	001.3.	Anhídrido Acético**	Solución Acuosa al 3%	Litro	0.0008	270.0000	0.20520
	001.4.	Aceite Vegetal		Litro	0.0009	6.5000	0.00585
	<b>002-MV</b>	<b>Materiales y Equipos</b>					<b>0.4550</b>
<b>2</b>	002.1.	Moldes de Vidrio	Tamaño (10cm x 5cm)	m2	0.1500	3.0000	0.4500
	002.2.	Alcohol 96°	Para Mechero	Litro	0.0010	5.0000	0.0050
<b>3</b>	<b>003-MH</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Directa</b>	<b>hh</b>	<b>0.2500</b>	<b>4.0000</b>	<b>1.0000</b>
<b>TOTAL</b>							<b>1.9186</b>

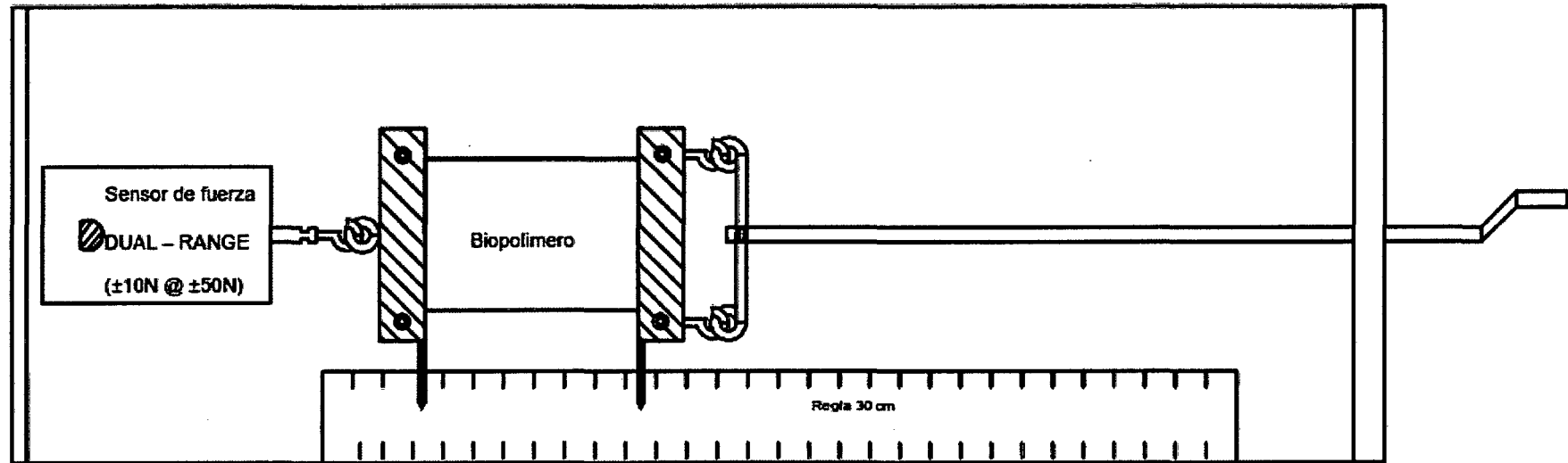
\* Precio de Lima

\*\* Precio de 99% de Pureza

Costo de Producción por **0,15 m2** de Polímero Biodegradable es **S/. 1.9186** (un y 5986/100 nuevos soles), por lo tanto para producir un **1m2** el costo de producción es **S/. 12.7900** (doce y 79/100 nuevos soles).

## ANEXO 7

Anexo 7.1. Diseño del equipo de soporte para el Sensor de Fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{ N}$  @  $\pm 50\text{ N}$ ) y cálculo de la variación de Longitud del Polímero después de la acción de las Fuerzas.



## ANEXO 8

### Anexo 8.1. Fotografías de la ejecución de la Tesis



**Fotografía 1.** Materia Prima *Colocasia esculenta* "Vituca", proveniente de los campos de cultivo del Distrito de Yamborasbamba.



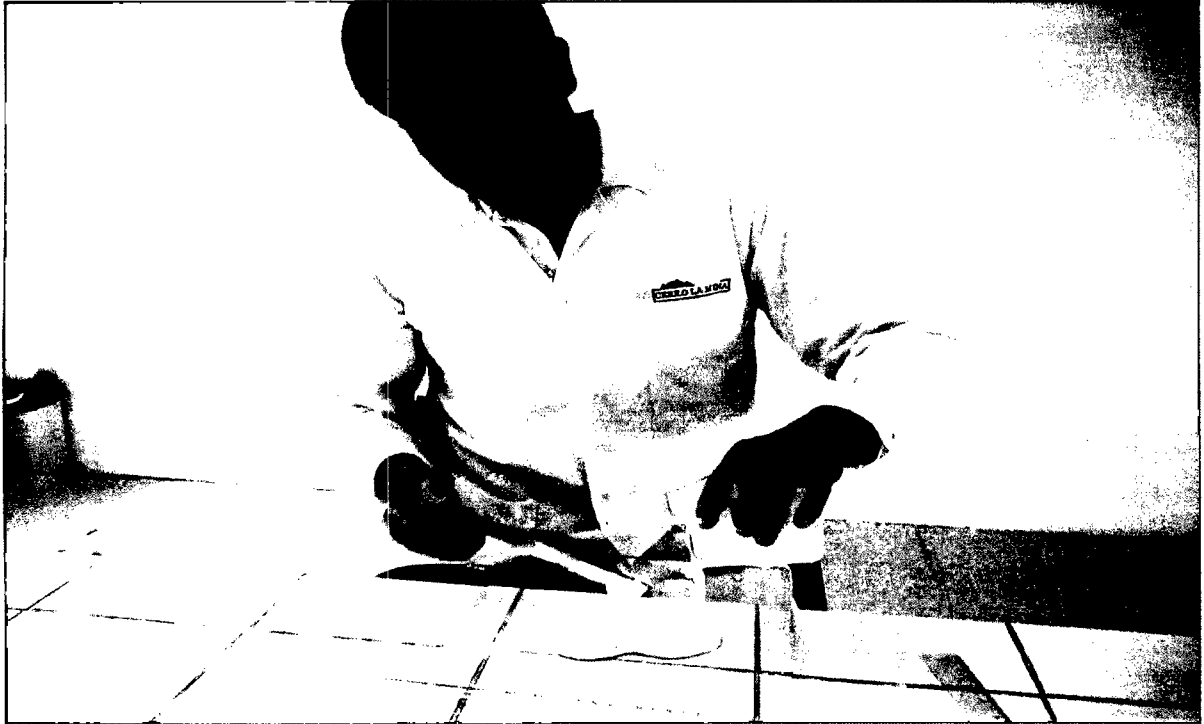
**Fotografía 2.** Proceso de eliminación de Látex de *Colocasia esculenta* "Vituca", por la acción del bisulfito de sodio.



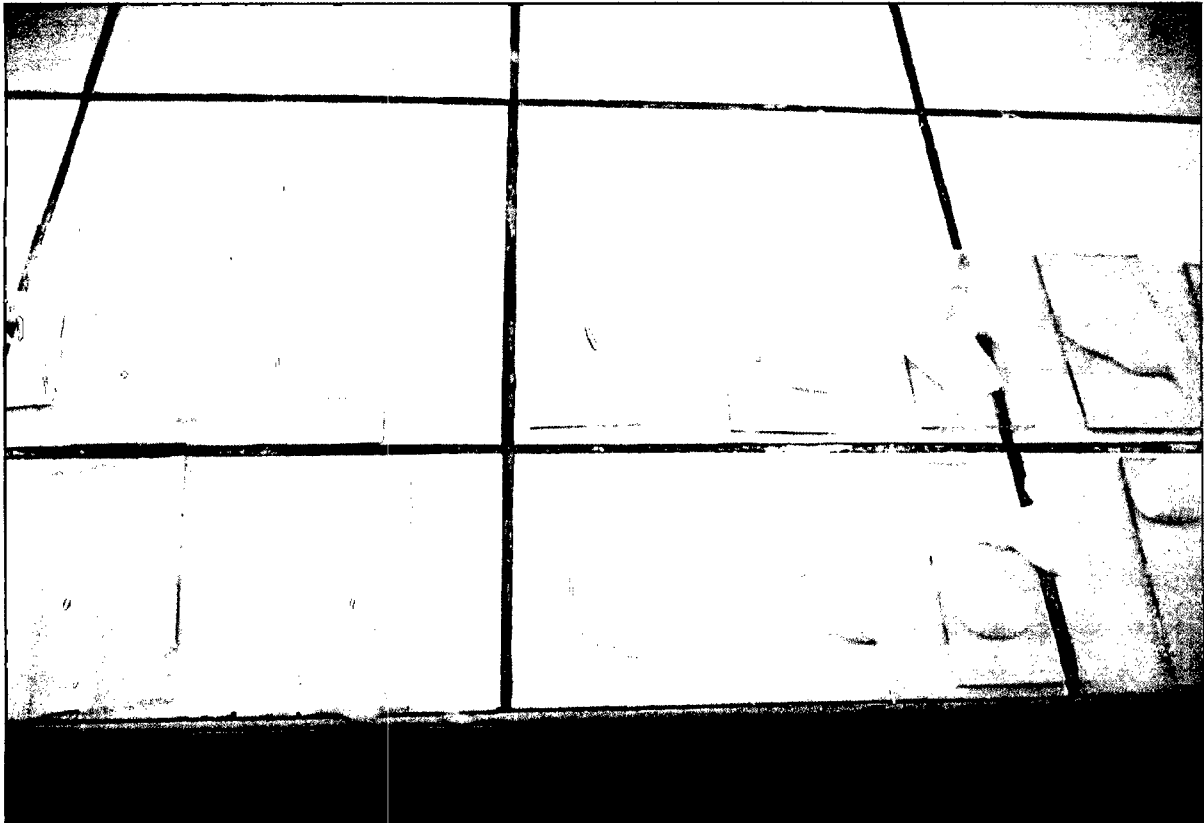
**Fotografía 3.** Muestra de la izquierda almidón sedimentado totalmente (eliminación de látex), muestra de la derecha almidón en suspensión acuosa (sin eliminación de látex).



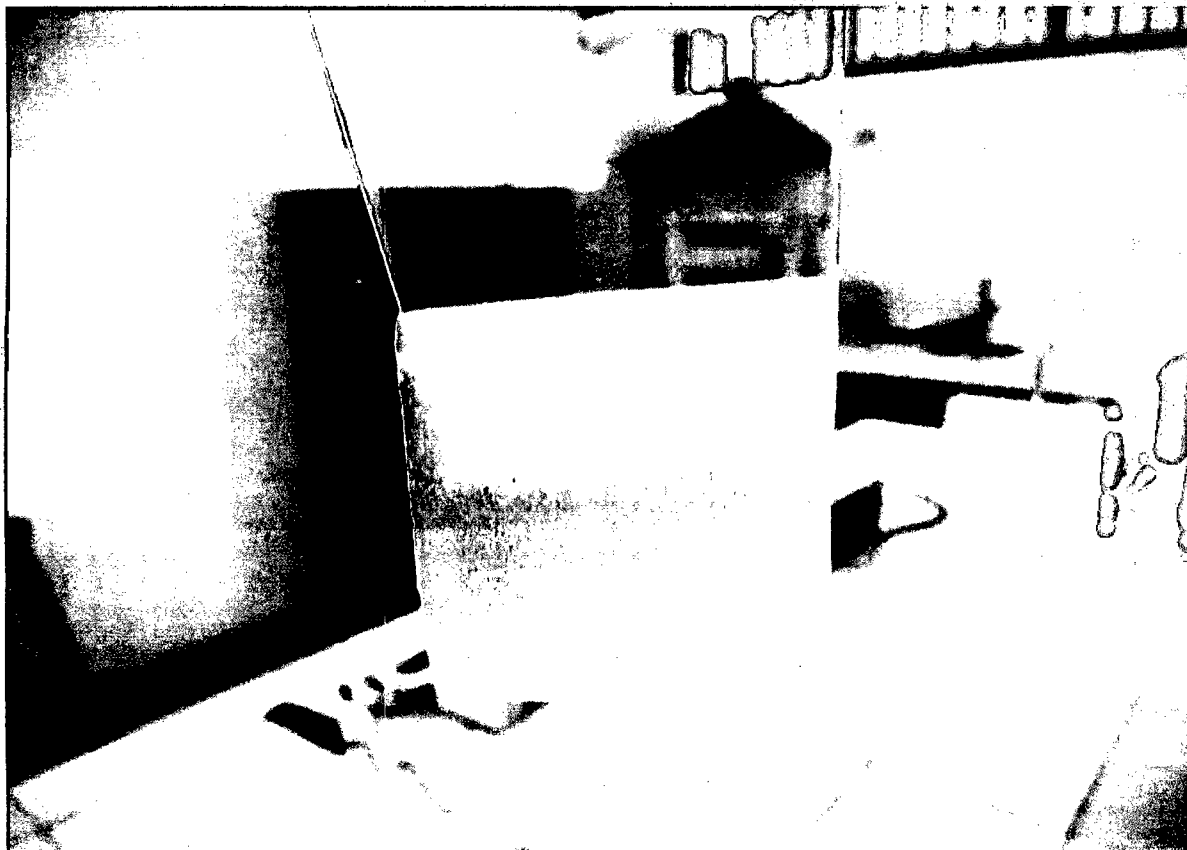
**Fotografía 4.** Amilosa de *Colocasia esculenta*, anhídrido acético al 3% y alcohol polivinílico insumos básicos para la obtención del Polímero Biodegradable.



**Fotografía 5.** Polímero biodegradable después de la formulación listo para ser colocado en los moldes.



**Fotografía 6.** Polímero biodegradable en los moldes listo para el proceso de extendido.



**Fotografía 7.** Polímero Biodegradable seco retirado del molde.

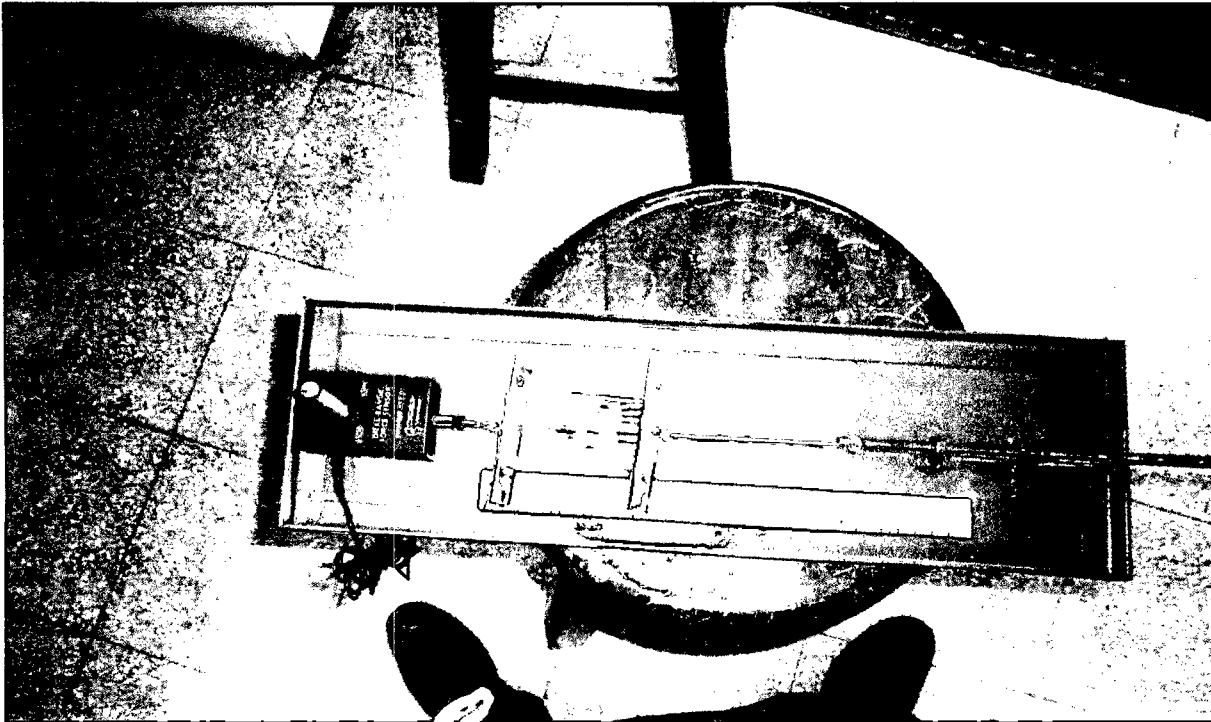


**Fotografía 8.** Polímeros Biodegradables (A1, A2, A3), listo para los análisis químicos, biológicos y físicos.

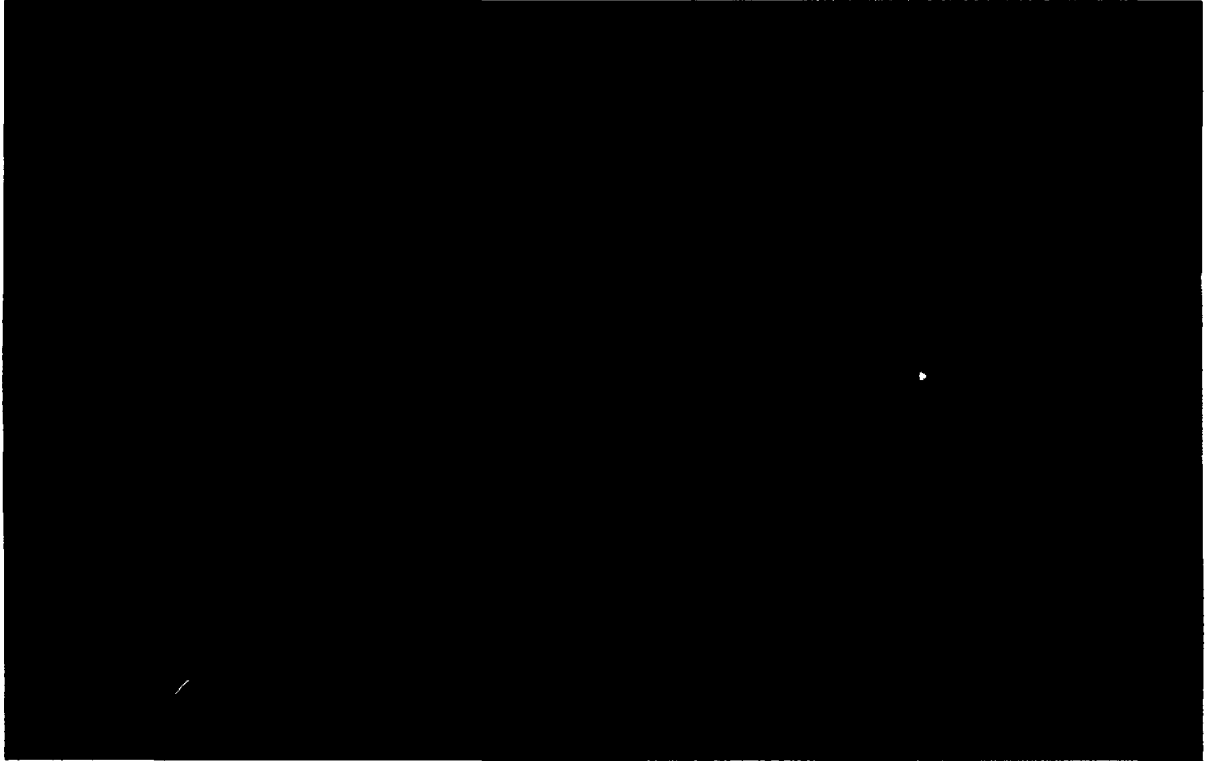




Fotografía 9. Sensor DUAL RANGE ( $\pm 10\text{ N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ), usado para la obtención de los datos de tensión cortante.



Fotografía 10. Equipo de soporte de sensor de fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ) y de medición de la variación de la Longitud ( $\Delta L$ ) producto del estiramiento.



**Fotografía 11.** Detalle del Proceso de Ruptura de los Polímeros para la obtención de los datos de tensión cortante(N) y tiempo (s).



**Fotografía 12.** Día 0 de evaluación de la degradación del Polímero en tierra Orgánica (B3).



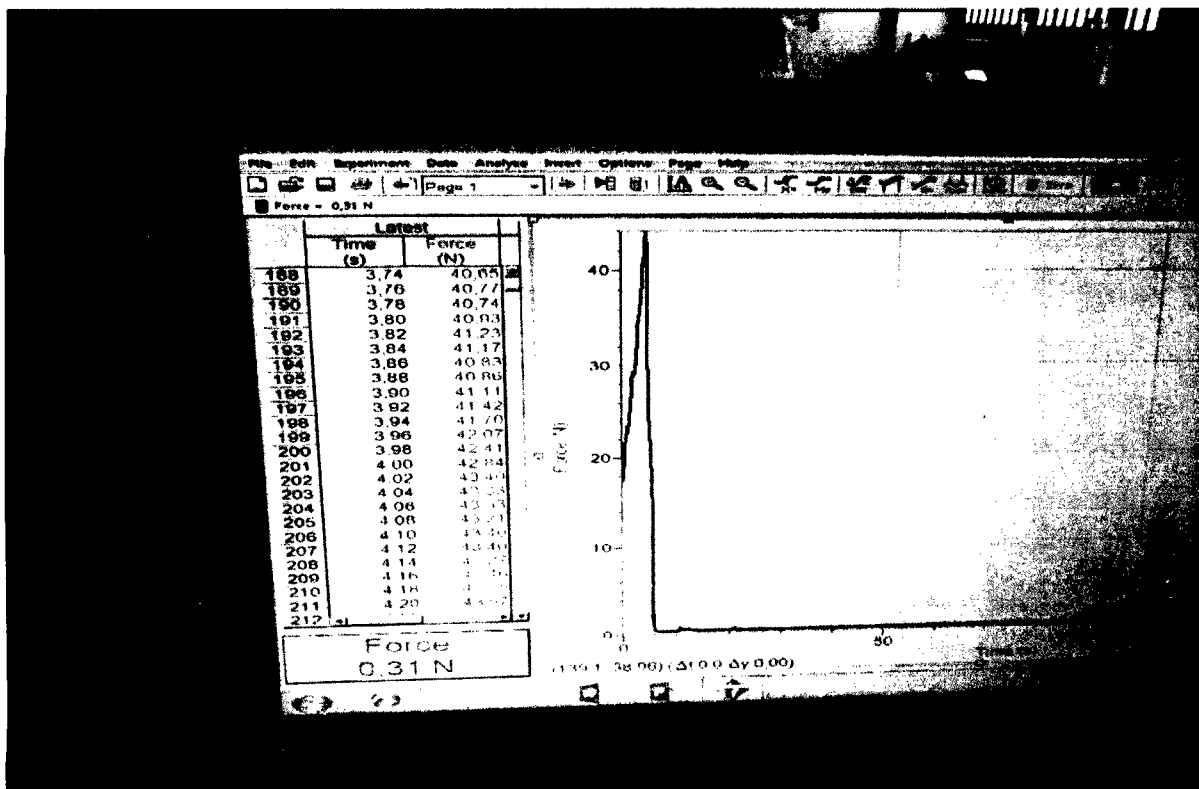
**Fotografía 13.** Día 15 de evaluación de biodegradación en tierra orgánica (B3), se observa pérdida de estructura del polímero biodegradable.



**Fotografía 14.** Medios de degradación de Levadura al 1% (B1), Agua Residual (B2), día de evaluación 15, se observa la desaparición total del polímero biodegradable.



Fotografía 15. Polímero biodegradable almacenado en condiciones ambientales, día 30 de evaluación, se observa estabilidad estructural y física.



Fotografía 16. Servidor en el que se procesó los datos del sensor de fuerza DUAL RANGE ( $\pm 10\text{N}$  @  $\pm 50\text{N}$ ), se observa la gráfica de tensión cortante (N) VS Tiempo(s)