



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con
residuos vegetales**

Alumna: Carmen Corbella Pardo

Tutoras: María Milagros Laz Pavón

María Hernández Molina

Septiembre 2018

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a:

Las Directoras de este Trabajo de Fin de Grado, la Doctora María Milagros Laz Pavón y la Doctora María Hernández Molina, por su dedicación, implicación y por todos los conocimientos transmitidos.

Al Profesor Carmelo Militello Militello del área de Ingeniería Mecánica, por su magnífica colaboración en todo momento.

Al Doctor Antonio M. Siverio Núñez del área de Producción Vegetal, por haber proporcionado el material vegetal que fue necesario para realizar este ensayo.

A Agustín José Padrón Name, Técnico Especialista de la Universidad de La Laguna por su gran disposición y colaboración.

A la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología y a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la Universidad de La Laguna por haber permitido desarrollar este Trabajo de Fin de Grado en sus instalaciones.

Al Departamento de Ingeniería Industrial y al área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica por haber facilitado todos los recursos necesarios para la realización de este proyecto.

A mi familia por el constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A todas aquellas personas que de un modo u otro han colaborado para que este Trabajo de Fin de Grado se haya podido realizar.

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado pretende reducir el gran impacto ambiental que suponen la utilización de los plásticos de un solo uso hoy en día. Para ello, se plantea la fabricación de platos desechables utilizando materiales vegetales.

Dicho proyecto comienza con la preparación de un material compuesto a partir de hojas y badana de platanera compactados con adhesivo a base de almidón de patata soluble.

Para caracterizar los materiales fabricados se determinan las propiedades mecánicas de los mismos realizando ensayos de tracción y de flexión a diferentes muestras de estos materiales, combinando distintos números de capas y proporciones de agua/almidón para el adhesivo. Además, también se llevará a cabo un análisis de microscopía digital.

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con los valores de otras muestras de platos comerciales de polipropileno y de hojas de palma, concluyendo que los platos fabricados pueden ser comparables con otros que se encuentran actualmente en el mercado.

Específicamente, para el conformado de dichos platos, se alternan capas de hojas o badana de platanera con capas de un adhesivo a base de almidón soluble de patata. Cabe destacar que para que estos platos adquieran la forma deseada es necesaria la fabricación de un molde que permita también ejercer presión y compactar el material.

ABSTRACT

The present Degree Final Project aims to reduce the great environmental impact of the utilization of single-use plastics today. For this, the manufacture of disposable plates using vegetable materials is proposed.

For this project begins with the preparation of a composite material from banana leaves and “badana” compacted with adhesive based on starch from potato soluble.

To characterize the materials manufactured, the mechanical properties of the materials are determined by performing tensile and bending tests on different samples of these materials, combining different numbers of layers and water/starch proportions for the adhesive. In addition, a digital microscopy analysis will also be carried out.

Finally, the results obtained are compared with the values of other samples of commercial plates of polypropylene and palm leaves, concluding that the manufactured dishes can be compared with others that are currently on the market.

Specifically, for the manufacturing of these plates, layers of banana leaves or “badana” are alternated with layers of an adhesive based on starch from potato soluble. It should be noted that for these plates to acquire the desired shape, it is necessary to manufacture a mold that also allows to exert pressure and compact the material.

ÍNDICE GENERAL

Índice general

| | | |
|--------|---|----|
| 0. | HOJA DE IDENTIFICACIÓN..... | 15 |
| 1. | OBJETO | 19 |
| 2. | GLOSARIO DE TÉRMINOS | 23 |
| 3. | PROGRAMAS Y NORMAS..... | 27 |
| 3.1. | Programas | 27 |
| 3.2. | Normas..... | 27 |
| 4. | ANTECEDENTES | 31 |
| 4.1. | Polímeros | 31 |
| 4.1.1. | Polietileno..... | 31 |
| 4.1.2. | Polipropileno | 32 |
| 4.1.3. | Poliestireno..... | 33 |
| 4.2. | Adhesivos | 34 |
| 4.2.1. | Adhesivos epoxi..... | 34 |
| 4.2.2. | Adhesivos de poliéster | 34 |
| 4.2.3. | Adhesivos naturales | 35 |
| 4.3. | Materiales compuestos..... | 41 |
| 4.3.1. | Materiales compuestos laminares | 41 |
| 4.3.2. | Estructuras tipo sándwich | 42 |
| 4.4. | Productos desechables..... | 43 |
| 4.4.1. | Vajillas plásticas..... | 44 |
| 4.4.2. | Vajillas ecológicas | 45 |
| 5. | INTRODUCCIÓN | 51 |
| 5.1. | La platanera..... | 54 |
| 6. | MATERIAL Y MÉTODOS..... | 61 |
| 6.1. | Toma y preparación de las muestras | 61 |
| 6.2. | Preparación de los materiales compuestos | 63 |
| 6.3. | Identificación de las muestras..... | 66 |
| 6.3.1. | Identificación de las muestras ensayadas a tracción | 67 |
| 6.3.2. | Identificación de las muestras ensayadas a flexión | 68 |
| 6.4. | Caracterización de materiales compuestos | 70 |
| 6.4.1. | Ensayo de tracción..... | 71 |
| 6.4.2. | Ensayo de flexión..... | 76 |
| 6.5. | Microscopía digital | 80 |
| 7. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 85 |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

| | |
|--|-----|
| 7.1. Resultados ensayos de tracción | 85 |
| 7.2. Resultados ensayos de flexión | 92 |
| 7.3. Microscopía digital | 99 |
| 8. CONFORMADO Y MODELADO DE PLATOS | 107 |
| 8.1. Conformado de platos..... | 107 |
| 8.2. Modelado 3D de plato y molde..... | 110 |
| 9. CONCLUSIONES | 115 |
| 10. CONCLUSIONS | 117 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 121 |
| 12. ANEXOS..... | 127 |
| 12.1. Anexo I. Valores climatológicos de San Cristóbal de La Laguna..... | 127 |
| 12.2. Anexo II. Código Alimentario Español | 129 |
| 12.3. Anexo III. Determinación de las propiedades a tracción | 131 |
| 12.4. Anexo IV. Determinación de las propiedades a flexión | 167 |
| 12.5. Anexo V. Planos..... | 213 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1. Propiedades de termoplásticos de uso general [3]. | 31 |
| Tabla 4.2. Propiedades del polietileno [3]. | 32 |
| Tabla 4.3. Propiedades de la gelatinización y la pasta de distintos almidones [7]. | 37 |
| Tabla 4.4. Cifras de producción de almidones comerciales en el mundo en 2003 (12% de humedad) [7]. | 38 |
| Tabla 4.5. Evaluación de los tres métodos de obtención del almidón de patata [7]. | 40 |
| Tabla 4.6. Código y aplicaciones para el reciclado [12]. | 45 |
| Tabla 4.7. Clasificación científica de <i>Butea monosperma</i> [17]. | 46 |
| Tabla 5.1. Composición química de los plátanos de Tenerife en función del cultivar, tipo de explotación y método de cultivo (adaptado de Forster, 2002) [34]. | 56 |
| Tabla 5.2. Concentraciones medias de macro y micronutrientes en frutos (parte comestible) de <i>Musa acuminata</i> según la zona de cultivo. Los valores se expresan en mg 100 g ⁻¹ (adaptado de Hardisson, 2001) [35]. | 56 |
| Tabla 5.3. Composición química y elemental del pseudotallo y de las hojas de platanera. Los valores se expresan en g 100g ⁻¹ de materia seca (%) (adaptado de Arsène, 2013) [38]. | 57 |
| Tabla 5.4. Producción anual de plátanos por isla durante en el periodo 2006-2016. Los valores se expresan en toneladas (Fuente: ASPROCAN). | 58 |
| Tabla 6.1. Total de muestras fabricadas con material vegetal de platanera y adhesivo a base de almidón. | 66 |
| Tabla 6.2. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera. | 67 |
| Tabla 6.3. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera. | 67 |
| Tabla 6.4. Identificación de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de hojas de palma. | 68 |
| Tabla 6.5. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera. | 68 |
| Tabla 6.6. Identificación de las muestras ensayadas a flexión fabricadas con hojas de platanera. | 68 |
| Tabla 6.7. Identificación de las muestras ensayadas a flexión fabricadas con badana de platanera. | 69 |
| Tabla 6.8. Identificación de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de hojas de palma. | 69 |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

| | |
|---|----|
| Tabla 6.9. Identificación de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de polipropileno..... | 70 |
| Tabla 6.10. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón..... | 74 |
| Tabla 6.11. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón..... | 74 |
| Tabla 6.12. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 6 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón..... | 74 |
| Tabla 6.13. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 4 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón..... | 74 |
| Tabla 6.14. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón..... | 75 |
| Tabla 6.15. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón..... | 75 |
| Tabla 6.16. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón..... | 75 |
| Tabla 6.17. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de hojas de palma..... | 75 |
| Tabla 6.18. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de polipropileno..... | 76 |
| Tabla 6.19. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón..... | 78 |
| Tabla 6.20. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón..... | 78 |
| Tabla 6.21. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 6 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón..... | 78 |
| Tabla 6.22. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 6 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón..... | 78 |
| Tabla 6.23. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 4 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón..... | 79 |
| Tabla 6.24. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón..... | 79 |
| Tabla 6.25. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 4 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón..... | 79 |
| Tabla 6.26. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón..... | 80 |
| Tabla 6.27. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de hojas de palma..... | 80 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 6.28. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de polipropileno..... | 80 |
| Tabla 7.1. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 86 |
| Tabla 7.2. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 87 |
| Tabla 7.3. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 88 |
| Tabla 7.4. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 89 |
| Tabla 7.5. Resultados de ensayo a tracción para muestras de plato comercial de hojas de palma. | 90 |
| Tabla 7.6. Resultados de ensayo a tracción para muestras de plato comercial de polipropileno..... | 91 |
| Tabla 7.7. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para los distintos materiales. | 92 |
| Tabla 7.8. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 94 |
| Tabla 7.9. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 95 |
| Tabla 7.10. Resultados de ensayo a flexión para las muestras 4B 3004 A y 4B 3004 B. 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón. | 96 |
| Tabla 7.11. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 96 |
| Tabla 7.12. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 97 |
| Tabla 7.13. Resultados de ensayo a flexión para muestras de plato comercial de hojas de palma. | 98 |
| Tabla 7.14. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión para los distintos materiales. | 99 |
| Tabla 12.1. Valores climatológicos normales. Tenerife Norte Aeropuerto. AEMET [41]..... | 127 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 4.1. Fórmula estructural del polietileno [3]. | 32 |
| Figura 4.2. Fórmula estructural del polipropileno [3]. | 33 |
| Figura 4.3. Fórmula estructural del poliestireno [3]. | 33 |
| Figura 4.4. Estructura molecular de amilosa (a) y amilopectina (b) [6]. | 35 |
| Figura 4.5. Curvas de viscosidad típicas de Brabender de suspensiones de 8% de almidones comunes [7]. | 36 |
| Figura 4.6. Células con almidón [7]. | 38 |
| Figura 4.7. Descripción esquemática de un proceso de obtención de almidón de patata [7]. | 39 |
| Figura 4.8. Métodos de obtención del almidón de patata [7]. | 40 |
| Figura 4.9. Ejemplos de materiales compuestos: (a) Triplay o madera contrachapada. (b) Fibra de vidrio. (c) Hormigón. [8]. | 41 |
| Figura 4.10. Diagrama esquemático de un laminado de aramida y aluminio (ARALL) [8]. | 42 |
| Figura 4.11. Estructura sándwich con núcleo de panal de abeja [5]. | 42 |
| Figura 4.12. Procesos de obtención del núcleo en forma de panal para una estructura sándwich [5]. | 43 |
| Figura 4.13. Portada de la revista LIFE, agosto 1955 [10]. | 44 |
| Figura 4.14. Recipientes fabricados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Naresuan (Tailandia) con hojas de árboles [13]. | 46 |
| Figura 4.15. Hoja de <i>Butea monosperma</i> (Lam.) Taub. Familia: Fabaceae. Género: <i>Butea</i> . Especie: <i>Butea monosperma</i> . Colección de Herbario Laboratorio Común, Facultad de Farmacia de Phnom Penh, Instituto de Investigación Pierre Fabre [16]. | 47 |
| Figura 4.16. Esquema del recipiente fabricado por la empresa Leaf Republic utilizando hojas caídas [18]. | 48 |
| Figura 4.17. Recipientes fabricados por la empresa VerTerra con hojas de palma [19]. | 48 |
| Figura 5.1. Generación mundial de residuos plásticos primarios 1950-2015 [21]. | 51 |
| Figura 5.2. Esquema del tiempo que tardan en descomponerse los plásticos [20]. | 52 |
| Figura 5.3. Generación de residuos plásticos de la Unión Europea en 2015 [24]. | 52 |
| Figura 5.4. Portada National Geographic junio 2018 [23]. | 53 |
| Figura 5.5. Los 10 productos plásticos más comunes en las playas europeas [25]. | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.6. Hoja de Musa acuminata Colla. The New York Botanical Garden. Institute of Economic Botany. Ethnobotanical Studies in Micronesia [31]. | 55 |
| Figura 5.7. Subproductos de la platanera para alimentación animal (Fuente: propia). | 57 |
| Figura 6.1. Muestras de hojas de platanera tras su recogida (Fuente: propia). | 61 |
| Figura 6.2. Muestras de badana de platanera tras su recogida (Fuente: propia). | 61 |
| Figura 6.3. Muestras de hojas de platanera antes del proceso de secado (Fuente: propia). | 62 |
| Figura 6.4. Muestras de badana de platanera antes del proceso de secado (Fuente: propia). | 62 |
| Figura 6.5. Muestras de badana y hoja de platanera secas (Fuente: propia). | 63 |
| Figura 6.6. Preparación de adhesivo a base de almidón de patata soluble utilizando un agitador magnético con calefacción, VMS-A. (Fuente: propia). | 64 |
| Figura 6.7. Adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia). | 64 |
| Figura 6.8. Preparación de muestras con hojas de platanera y adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia). | 64 |
| Figura 6.9. Muestras de hojas de platanera y adhesivo a base de almidón antes de la fase de secado (Fuente: propia). | 65 |
| Figura 6.10. Muestras de badana de platanera y adhesivo a base de almidón antes de la fase de secado (Fuente: propia). | 65 |
| Figura 6.11. Muestras de materiales fabricados con hojas y badana de platanera y adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia). | 66 |
| Figura 6.12. Máquina Universal Shimadzu Autograph AG-IS 50kN del Laboratorio de Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna (Fuente: propia). | 70 |
| Figura 6.13. Ensayo de flexión realizado a una muestra conformada por badana de platanera (Fuente: propia). | 71 |
| Figura 6.14. Ensayo de tracción realizado a una muestra conformada por badana de platanera (Fuente: propia). | 71 |
| Figura 6.15. Dispositivo de ensayo de tracción [7]. | 71 |
| Figura 6.16. Ejemplo de curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio [7]. | 72 |
| Figura 6.17. Ejemplo de determinación del límite elástico convencional al 0,2% de deformación en el hierro fundido gris [7]. | 73 |
| Figura 6.18. Ensayo de flexión [7]. | 76 |
| Figura 6.19. Ejemplo de curva esfuerzo de flexión obtenida a partir de un ensayo de flexión [7]. | 77 |
| Figura 6.20. Deflexión obtenida durante la flexión de una probeta [7]. | 77 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 6.21. Microscopio digital Dino-Lite AM- 211 (Fuente: propia). | 81 |
| Figura 7.1. Curvas tensión-deformación para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 86 |
| Figura 7.2. Curvas tensión-deformación para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 87 |
| Figura 7.3. Curvas tensión-deformación para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 88 |
| Figura 7.4. Curvas tensión-deformación para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 89 |
| Figura 7.5. Curvas tensión-deformación para muestras de plato comercial de hojas de palma. | 90 |
| Figura 7.6. Curvas tensión-deformación para muestras de plato comercial de polipropileno..... | 91 |
| Figura 7.7. Curvas tensión-deflexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 93 |
| Figura 7.8. Curvas tensión-deflexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón..... | 94 |
| Figura 7.9. Curvas tensión-deflexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 95 |
| Figura 7.10. Curvas tensión-deflexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón..... | 97 |
| Figura 7.11. Curvas tensión-deflexión para muestras de plato comercial de hojas de palma. | 98 |
| Figura 7.12. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |
| Figura 7.13. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |
| Figura 7.14. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |
| Figura 7.15. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |
| Figura 7.16. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

| | |
|--|-----|
| Figura 7.17. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 100 |
| Figura 7.18. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.19. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.20. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.21. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.22. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.23. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia)..... | 101 |
| Figura 7.24. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |
| Figura 7.25. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |
| Figura 7.26. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |
| Figura 7.27. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |
| Figura 7.28. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |
| Figura 7.29. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia)..... | 102 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 7.30. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.31. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.32. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.33. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.34. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.35. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 103 |
| Figura 7.36. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 104 |
| Figura 7.37. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 104 |
| Figura 7.38. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia). | 104 |
| Figura 8.1. Molde (tapa y base) para conformado de platos fabricado con impresora 3D (Fuente: propia). | 107 |
| Figura 8.2. Disposición de las distintas capas de hojas de platanera para la preparación del material compuesto y la fabricación de los platos (Fuente: propia). | 108 |
| Figura 8.3. Proceso de conformado de plato con hojas de platanera (Fuente: propia). | 109 |
| Figura 8.4. Molde cerrado en el proceso de conformado de plato con badana (Fuente: propia). | 109 |
| Figura 8.5. Modelo de plato conformado con hojas de platanera (Fuente: propia). | 110 |
| Figura 8.6. Modelo de plato conformado con badana de platanera (Fuente: propia). | 110 |
| Figura 8.7. Dibujo explosionado del modelo 3D del molde y del plato (Fuente: propia). | 111 |
| Figura 8.8. Dibujo frontal del conjunto (base, plato y molde) cerrado (Fuente: propia). | 111 |

MEMORIA

0. HOJA DE IDENTIFICACIÓN

| |
|---|
| PROYECTO |
| TÍTULO: ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales |
| PETICIONARIO |
| NOMBRE: Escuela superior de Ingeniería y Tecnología DIRECCIÓN: Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n. San Cristóbal de La Laguna, Tenerife |
| AUTOR |
| NOMBRE: Carmen Corbella Pardo DNI: 54114542-G DOMICILIO: Avenida Bartolomé Cairasco N.º 10, San Cristóbal de La Laguna, Tenerife EMAIL: alu0100888300@ull.edu.es |

OBJETO

Objeto

1. OBJETO

El objeto del Trabajo de Fin de Grado es la obtención del título universitario de Grado en Ingeniería Mecánica, que habilita para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

El objeto específico del presente Trabajo de Fin de Grado es la fabricación y la caracterización de las propiedades mecánicas de los denominados "Ecoplatos". Dichos platos serán producidos a partir de hojas y badana de platanera y un adhesivo a base de almidón

La finalidad última de dichos platos ecológicos es que puedan reemplazar a las vajillas desechables fabricadas con plásticos convencionales y que comienzan a prohibirse de forma gradual en algunos países de nuestro entorno y del mundo.

Además, debido a su origen vegetal, los "Ecoplatos" serán compostables y, por tanto, su degradación se convierte en un proceso mucho más responsable con el medio ambiente.

Por otro lado, también permitirá aportar un valor añadido a los subproductos de la platanera, que se emplearán en la fabricación de los materiales compuestos con los que se fabricará las nuevas vajillas de un solo uso.

Los materiales compuestos fabricados como materia prima para los "Ecoplatos" deben ser caracterizados mecánicamente, comparados con los materiales con los que se fabrican actualmente los productos similares y, verificados en cuando a su compostabilidad mediante ensayo.

Debido al uso alimenticio de dichos recipientes, durante el proceso de fabricación de los materiales compuestos y de los platos se deberá tener en cuenta todas las indicaciones recogidas en el Código Alimentario Español.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

2. GLOSARIO DE TÉRMINOS

| | |
|-----------------------|--|
| Almidón | Hidrato de carbono que constituye la principal reserva energética de casi todos los vegetales y tiene usos alimenticios e industriales. |
| ARALL | Aluminio reforzado con aramida. Material del tipo FML (laminado de fibra de metal) que consiste en la unión de varias capas muy finas de metal intercaladas con varias capas de fibra de aramida pre-impregnadas de resina epoxi. |
| Badana | Parte carnosa que rodea al rolo/cepa de platanera una vez seca. |
| Butea | Género de plantas con flores perteneciente a la familia Fabaceae. Comprende 54 especies descritas y de estas, solo 4 aceptadas. |
| Gelatinización | Proceso de hidratación que confiere un estado gelatinoso típico de coloides coagulados (gel). Esta hidratación se consigue mediante tratamiento térmico, a veces acompañado por presión y humedad. |
| GLARE | Vidrio reforzado. Material del tipo FML que consiste en la unión de varias capas muy finas de metal intercaladas con varias capas de fibra de vidrio pre-impregnadas de resina epoxi. |
| Kevlar | Poliparafenileno tereftalamida. Poliamida sintetizada por primera vez en 1965. Muy resistentes y su mecanización resulta muy difícil. |
| Raquis | Nombre para la parte axial de numerosas estructuras compuestas en animales, hongos y vegetales. |
| Rolo | Cepa. Parte del tronco de cualquier árbol o planta, que está dentro de tierra y unida a las raíces. |
| Sorgo | Género de poáceas oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental. Se cultivan en su zona de origen, Europa, América y Asia como cereal para consumo humano, animal y en la producción de forrajes. |
| Tapioca | También denominada yuca, aipim, mandioca, guacamota, casabe o casava. Arbusto perenne de la familia de las euforbiáceas extensamente cultivado en Sudamérica, África y el Pacífico por sus raíces con almidones de alto valor alimentario. |
| Termoestable | Que no se altera fácilmente por la acción del calor. Dicho del plástico: que no pierde su forma por acción del calor y de la presión. |
| Termoplástico | Dicho de un material: maleable por el calor. |

PROGRAMAS Y NORMAS

3. PROGRAMAS Y NORMAS

3.1. Programas

Para la realización del presente Trabajo de Fin de Grado se han utilizado los softwares:

SOLIDWORKS para realizar el diseño 3D del molde y del modelo de los platos.

Microsoft Office Excel para realizar el cálculo de los diferentes parámetros y representar las gráficas.

Trapezium para procesar los datos obtenidos por la máquina Simadzu Autograph AG-IS 50kN.

DinoCapture para la realización de análisis de microscopia digital utilizando el microscopio Dino-Lite AM-211.

3.2. Normas

En cuanto a la normativa empleada, además de cumplir con las indicaciones recogidas en el Código Alimentario Español [1] y en sus distintas actualizaciones (última actualización publicada el 10 de junio de 2017), se han utilizado las siguientes normas:

UNE-EN-15593: “Envases y embalajes. Gestión de la higiene en la producción de los envases para productos alimenticios. Requisitos”. AENOR, 2008.

UNE-EN-157001: “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”. AENOR, 2014.

UNE-EN-ISO 178: “Plásticos. Determinación de las propiedades a flexión”. AENOR, septiembre 2011.

UNE-EN-ISO 527: “Plásticos. Determinación de las propiedades a tracción”. AENOR, noviembre 2012.

ANTECEDENTES

4. ANTECEDENTES

4.1. Polímeros

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de diferentes unidades simples (monómeros) enlazadas químicamente entre sí dando lugar a un sólido. Dependiendo de los enlaces químicos de su estructura existen dos tipos de polímeros, los termoplásticos y los termoestables, los primeros reciben comúnmente el nombre de plásticos.

En concreto, los polímeros termoplásticos necesitan ser calentados y posteriormente enfriados para adquirir una forma determinada. Estos materiales pueden ser calentados repetidas veces sin que se produzca un cambio significativo en sus propiedades. Esta propiedad de plasticidad, que a menudo se encuentra en combinación con otras propiedades como la baja densidad, la baja conductividad eléctrica, la transparencia y la dureza, permite que los plásticos sean utilizados para la fabricación de una gran variedad de productos [2].

En cambio, las resistencias a la tensión de los materiales plásticos también son bajas, lo que puede suponer una desventaja para ciertas aplicaciones. En general, los materiales plásticos son buenos aislantes eléctricos y la temperatura máxima de uso de la mayoría de estos materiales es relativamente baja.

Generalmente, la estructura de los termoplásticos consta de largas cadenas principales de átomos de carbono, enlazados mediante uniones covalentes. En algunos casos también presentan átomos de nitrógeno, oxígeno o azufre. Dichas cadenas moleculares están enlazadas entre sí por enlaces secundarios [3].

A continuación, se presentan las propiedades de diferentes termoplásticos de uso general en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Propiedades de termoplásticos de uso general [3].

| Material | Densidad (g/cm ³) | Resistencia a la tensión (x 1000 psi) | Resistencia al impacto Izod (pie*lb/pulg) | Resistencia dieléctrica (V/mil) | Temperatura máx. de uso (sin carga) | |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|---------|
| | | | | | °F | °C |
| Polietileno baja densidad | 0,92-0,93 | 0,9-2,5 | | 480 | 180-212 | 82-100 |
| Polietileno alta densidad | 0,95-0,96 | 2,9-5,4 | 0,4-14 | 480 | 175-250 | 80-120 |
| PVC clorado, rígido | 1,49-1,58 | 7,5-9 | 1,0-5,6 | | 230 | 110 |
| Polipropileno, uso general | 0,90-0,91 | 4,8-5,5 | 0,4-2,2 | 650 | 225-300 | 107-150 |
| Estireno-acrilonitrilo (SAN) | 1,08 | 10-12 | 0,4-0,5 | 1775 | 140-220 | 60-104 |
| ABS, uso general | 1,05-1,07 | 5,9 | 6 | 385 | 160-200 | 71-93 |
| Acrílico, uso general | 1,11-1,19 | 11,0 | 2,3 | 450-500 | 130-230 | 54-110 |
| Acetatos celulósicos | 1,2-1,3 | 3-8 | 1,1-6,8 | 250-600 | 140-220 | 60-104 |
| Politetrafluoroetileno | 2,1-2,3 | 1-4 | 2,5-4,0 | 400-500 | 550 | 288 |

Seguidamente se describen algunos de los termoplásticos de uso general más utilizados para la fabricación de recipientes de un solo uso.

4.1.1. Polietileno

El polietileno (PE), cuya fórmula estructural se muestra en la figura 4.1, es un material termoplástico utilizado frecuentemente para fabricar películas delgadas transparentes, mientras que las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia cerosa.

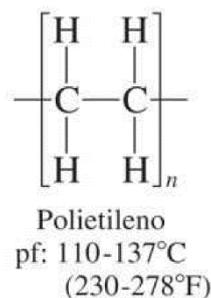


Figura 4.1. Fórmula estructural del polietileno [3].

En general, se pueden distinguir dos tipos de polietileno: de baja densidad (LDPE) y de alta densidad (HDPE). Ambos se diferencian en la estructura de sus cadenas, el primero está formado por una cadena ramificada mientras que el segundo está compuesto por una cadena lineal, de manera que ambos presentan diferentes características y propiedades.

La cadena ramificada del polietileno de baja densidad disminuye su grado de cristalinidad, su densidad y su resistencia, ya que se reducen las fuerzas de enlace intermoleculares. En cambio, el polietileno de alta densidad presenta mayor cristalinidad y resistencia.

El polietileno es el material plástico más utilizado debido a su bajo costo, versatilidad y a sus múltiples propiedades de importancia industrial, como su dureza a temperatura ambiente y a bajas temperaturas, su resistencia y flexibilidad, su resistencia a la corrosión, sus propiedades aislantes, su carácter inodoro e insípido y su baja transmisión agua-vapor [3].

En la tabla 4.2 se presentan algunas de las propiedades de los diferentes tipos de polietileno.

Tabla 4.2. Propiedades del polietileno [3].

| Propiedad | Polietileno de baja densidad | Polietileno lineal de baja densidad | Polietileno de alta densidad |
|---|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Densidad (g/cm³) | 0,92-0,93 | 0,922-0,926 | 0,95-0,96 |
| Resistencia a la tensión, (x 1000 psi) | 0,9-2,5 | 1,8-2,9 | 2,9-5,4 |
| Elongación (%) | 550-600 | 600-800 | 20-120 |
| Cristalinidad (%) | 65 | ... | 95 |

Generalmente el polietileno se utiliza en la fabricación de recipientes, aislantes eléctricos, materiales de revestimiento, etc.

4.1.2. Polipropileno

El polipropileno (PP), cuya fórmula estructural se muestra en la figura 4.2, es uno de los plásticos de menor costo ya que puede ser sintetizado utilizando materiales primas petroquímicas de bajo costo y un catalizador de tipo Ziegler. En comparación con el polietileno es un material más resistente, aunque menos flexible, esto se debe a la sustitución de un grupo metilo en cada segundo átomo de carbono de la cadena principal del polímero, restringiendo la rotación de las cadenas. Además, el polipropileno también presenta mayores temperaturas de

Antecedentes

fusión y de deflexión térmica, ya que los grupos metilo también aumentan la temperatura de transición vítrea.

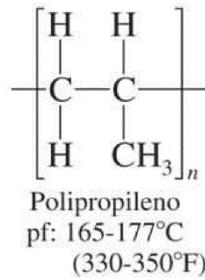


Figura 4.2. Fórmula estructural del polipropileno [3].

Entre sus propiedades más características se encuentran la buena resistencia química a la humedad y al calor, su baja densidad y su buena dureza superficial y estabilidad dimensional. Por otro lado, también presenta una notable flexibilidad como bisagra o articulación.

El polipropileno es utilizado en la fabricación de utensilios domésticos, componentes de aparatos electrodomésticos, envases, materiales de laboratorio, etc. [3].

4.1.3. Poliestireno

El poliestireno (PS), cuya fórmula estructural se muestra en la figura 4.3, es un material plástico incoloro, insípido y relativamente frágil. Además del poliestireno tipo cristalino, existen los poliestirenos modificados con caucho, los resistentes al impacto y los expandibles.

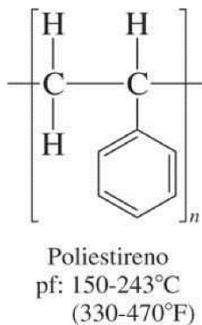


Figura 4.3. Fórmula estructural del poliestireno [3].

Este tipo de polímeros presente un anillo fenileno en uno de cada dos átomos de carbono de la cadena principal del poliestireno, lo que le proporciona gran flexibilidad a temperatura ambiente. Se caracteriza por su rigidez, su claridad y su facilidad para ser procesado. Además, también presentan buenas propiedades de aislamiento eléctrico y propiedades mecánicas dentro de los límites de sus temperaturas de operación.

En cambio, el poliestireno tiene una resistencia pobre a la intemperie y son atacados químicamente por disolventes orgánicos y aceites [3].

4.2. Adhesivos

En el sector alimentario, los adhesivos han permitido la evolución de los envases hacia sistemas más ligeros, prácticos, menos costosos y sin los problemas de corrosión que presentan los envases metálicos. Los adhesivos pueden clasificarse en función de su origen en naturales o sintéticos. Los primeros son aquellos procedentes de recursos vegetales o animales. En cambio, los adhesivos de origen sintético son fabricados por el hombre y poseen una base polimérica.

Los adhesivos naturales pueden ser a base de derivados de la fécula de patata, el maíz (almidón, dextrinas, cauchos naturales), colas de derivados lácteos (caseína), colas a base de pieles de animales o su esqueleto, etc.

En relación con los adhesivos sintéticos, estos se pueden clasificar dentro de dos grandes grupos teniendo en cuenta las características de los polímeros: los adhesivos termoestables y los adhesivos termoplásticos. Entre los adhesivos termoestables se pueden señalar los adhesivos epoxi y los adhesivos de poliéster.

Para obtener resultados óptimos a la hora de unir dos superficies, es necesario tener en cuenta diferentes aspectos a la hora de la elección del adhesivo. Entre ellos destacan la adhesión, adherencia, cohesión y coherencia de este. Por otro lado, también se debe considerar la energía y el estado superficial, así como el espesor.

Se puede definir la adhesión como la acción de las fuerzas que se oponen a la separación de las moléculas que pertenecen a diferentes cuerpos, siendo por tanto la adherencia la acción de las fuerzas que se oponen a la separación de diferentes cuerpos materiales.

El concepto cohesión hace referencia a la acción de las fuerzas que se oponen a la separación de las moléculas de un cuerpo homogéneo, mientras que la coherencia se define como la acción de las fuerzas que se oponen a la separación de las moléculas de un cuerpo heterogéneo [4].

4.2.1. Adhesivos epoxi

Se trata de adhesivos de alta resistencia y fácil aplicación, aportándoles un elevado grado de confianza en aplicaciones estructurales. Entre sus principales características destaca su excelente adhesión, su buena resistencia frente a fallos de cohesión, su resistencia a la humedad y a los disolventes y su facilidad de modificación. Entre las razones por las que se emplean modificadores en los adhesivos epoxi se encuentran la reducción de la viscosidad, aumentar la flexibilidad y la adquisición de características ignífugas. Además, su curado también presenta diferentes ventajas frente a otro tipo de adhesivos.

Para que el adhesivo epoxi adquiera las propiedades dureza, resistencia u otras, en el momento de su utilización debe ser transformado en un material termoestable. Esto se logra mediante el proceso de curado o endurecimiento, en el que mediante determinados agentes, la resina pasa de ser un líquido viscoso o un sólido frágil, a ser un material polimérico resistente y tenaz [4].

4.2.2. Adhesivos de poliéster

Las resinas de poliéster se utilizan en más del 90% de los laminados comerciales. Dichas resinas se disponen en un amplio rango de viscosidades según las diferentes operaciones de procesado a las que va a someterse y según los diferentes requerimientos de prestaciones exigidas. Las prestaciones de la resina también están influenciadas por la elección y proporciones de sus componentes principales, así como por el número de aditivos diferentes y

Antecedentes

modificadores que se utilizan. Existen cientos de diferentes formulaciones de poliéster comercial, lo que permite seleccionar la resina más adecuada dependiendo del producto que se desea fabricar.

Los poliésteres no saturados precisan la adición de un polímero de vinilo para reducir las tensiones que se producen por contracción en las uniones. Con relación a su curado, este está afectado por el uso de iniciadores químicos y aceleradores y por la aplicación de calor o exposición a la radiación [5].

4.2.3. Adhesivos naturales

Entre los adhesivos naturales destacan las colas de animales y de pescado; las colas de caseína y soja; las dextrinas, obtenidas por hidrólisis a partir del almidón; el látex y la goma arábica.

El almidón como base de los adhesivos

El almidón es un producto natural producido durante la fotosíntesis como reserva de alimento para las plantas y vegetales. Se trata del segundo material de biomasa más abundante en la naturaleza y se encuentra en las raíces y tallos de las plantas, así como en las semillas de los cultivos. Las fuentes industriales de almidón más importantes son los cultivos de maíz, trigo, patata, tapioca y arroz. Su obtención se realiza a partir de la refinación de cultivos en varias etapas, dependiendo de la fuente de cultivo.

El almidón está compuesto principalmente de amilosa y amilopectina, mostradas en la figura 4.4. Estas dos macromoléculas están dispuestas en gránulos que tienen un tamaño que varía entre 2 y 100 μm , dependiendo del cultivo y de su genotipo. Estos granos tienen un núcleo, denominado hilio, del que emana una estructura laminar alternativa de conchas cristalinas y amorfas.

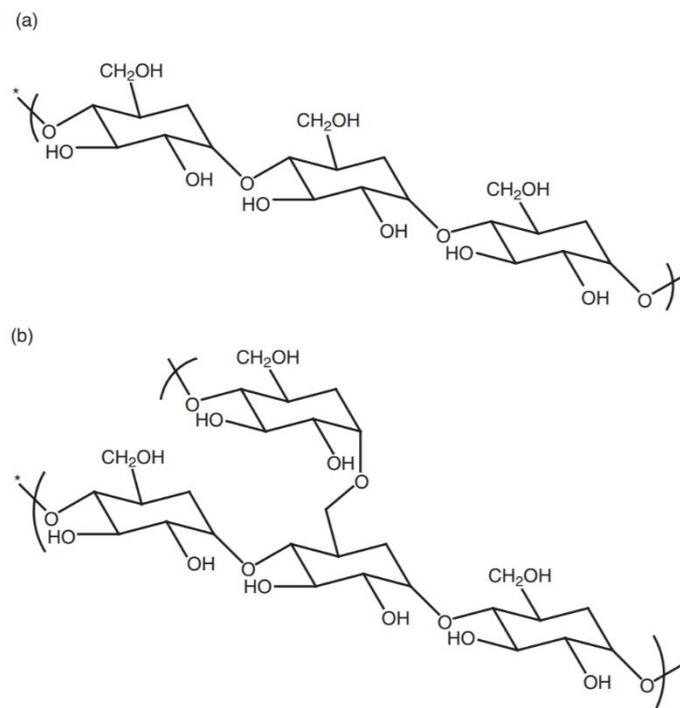


Figura 4.4. Estructura molecular de amilosa (a) y amilopectina (b) [6].

La relación de los polisacáridos varía según el origen botánico del almidón. Los llamados almidones cerosos contienen menos del 15% de amilosa, mientras los almidones normales presentan entre un 20 y un 35% y los almidones de alto contenido de amilosa más del 40%. El contenido de humedad de los almidones varía entre un 10 y 12% en los cereales y aproximadamente entre un 14 y 18% en algunas raíces y tubérculos [6].

La hinchazón de los gránulos, la gelatinización, el pegado y la retrogradación son aspectos importantes de la funcionalidad del almidón. Cuando los gránulos de almidón se calientan en exceso de agua progresivamente a temperaturas más altas, se alcanza un punto donde la cruz de polarización comienza a desaparecer y los gránulos comienzan a hincharse irreversiblemente. Estos fenómenos, asociados con la interrupción de la estructura granular, se denominan gelatinización.

Los diferentes tipos de almidones muestran distintos comportamientos respecto a su hinchamiento, tanto en términos de los volúmenes de gel obtenidos finalmente, como en la respuesta a la temperatura. Los almidones de patata y tapioca dan lugar a volúmenes de gel muy grandes en comparación con otros almidones procedentes de cereales.

Las curvas de viscosidad de Brabender que se presentan a continuación en la figura 4.5, muestran las características de cada tipo de almidón. En estas curvas se pueden reconocer, generalmente, seis puntos, los cuales se utilizan para comparar las distintas muestras: (1) la temperatura de pegado (iniciación de la formación de la pasta); (2) viscosidad pico, la mayor viscosidad aparente obtenida, independientemente de la temperatura a la que se obtuvo; (3) viscosidad a 95 °C (facilidad de cocción indicada por la viscosidad aparente a 95 °C en relación a la viscosidad pico); (4) viscosidad después de una hora a 95 °C (estabilidad de la pasta durante la cocción; cuando se compara con el estado (2), el grado de descomposición); (5) viscosidad a 50 °C (cuando se compara con el estado (4), el grado de retroceso); y (6) la viscosidad después de una hora a 50 °C (estabilidad de la pasta cocida) [7].

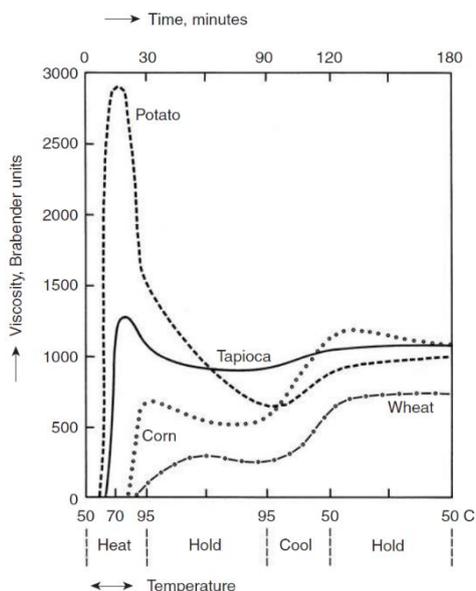


Figura 4.5. Curvas de viscosidad típicas de Brabender de suspensiones de 8% de almidones comunes [7].

Antecedentes

Generalmente, la temperatura de pegado suele ser más elevada que la temperatura de gelatinización. Además, los almidones de raíz y tubérculos muestran un aumento más pronunciado de la viscosidad durante la cocción y tienen una viscosidad pico más alta que la de los almidones de cereales comunes. El almidón de patata presenta los valores más elevados. La viscosidad pico es una medida del poder espesante de un almidón. Sin embargo, las pastas de tubérculos se descomponen más fácilmente que aquellas producidas a partir de almidones de cereales.

Con relación al uso práctico del almidón, las propiedades de pasta más importantes son la viscosidad, la textura, la transparencia de la pasta, la resistencia al corte y la tendencia a la retrogradación.

En términos de texturas, las pastas de almidón de patata translúcidas se pueden describir como cohesivas, de cuerpo largo, fibroso y gomoso. Otros almidones de raíz, tubérculos y cerosos dan lugar a pastas de textura similar a la del almidón de patata, pero, generalmente, menos cohesivas. Por otro lado, las pastas de almidones de cereales comunes son opacas y se pueden describir como no cohesivas y de cuerpo corto y pesado. Estas y otras propiedades de diferentes almidones se presentan en la tabla 4.3 [7].

Tabla 4.3. Propiedades de la gelatinización y la pasta de distintos almidones [7].

| Propiedades | Patata | Maíz | Trigo | Tapioca | Maíz ceroso | Arroz | Sorgo |
|---|----------------|----------|------------|-------------|-------------|------------|----------|
| Rango de temperatura de gelatinización (°C) | 58-63-68 | 62-67-72 | 58-61-64 | 59-64-69 | 63-68-72 | 58-74-78 | 68-74-78 |
| Pico de viscosidad de Brabender (BU) | 2900 | 700 | 250 | 1200 | 1100 | 500 | 700 |
| Potencia de hinchazón a 95°C | 1150 | 24 | 21 | 71 | 64 | 19 | 22 |
| Concentración crítica a 95°C | 0,1 | 4,4 | 5,0 | 1,4 | 1,6 | 5,6 | 4,8 |
| Viscosidad de la pasta | Muy alta | Media | Media-baja | Alta | Media-alta | Media-baja | Media |
| Textura de la pasta fría | Larga, fibrosa | Corta | Corta | Larga | Larga | Corta | Corta |
| Claridad de la pasta | Translúcida | Opaca | Opaca | Translúcida | Translúcida | Opaca | Opaca |
| Resistencia a la cizalladura | Media-baja | Media | Media | Baja | Baja | Media | Media |
| Velocidad de retrogradación | Media | Alta | Alta | Baja | Muy baja | Alta | Alta |

Producción del almidón de patata

La producción total de almidón de patata es pequeño comparada con la cantidad total de almidón producido en el mundo. Esto se puede ver representado en la tabla 4.4 [7].

Tabla 4.4. Cifras de producción de almidones comerciales en el mundo en 2003 (12% de humedad) [7].

| Fuente | Patata | Maíz | Trigo | Tapioca |
|------------------------------------|--|---|--|---|
| Mundo, 10⁶ t/año | 2,49 | 45,8 | 4,9 | 7,5 |
| EUIS, 10⁶ t/año | 1,6 | 3,9 | 3,4 | 0,0 |
| Principales productores | Países Bajos Alemania Francia China | Estados Unidos Japón China Corea del Sur | Francia Alemania Estados Unidos China | Tailandia Indonesia Brasil China |

Para la producción eficaz de almidón de patata, estas deben contener tanto almidón como sea posible. Las patatas de alimentos no se suelen utilizar para este fin debido a su bajo contenido en materia seca y sus relativamente pequeños gránulos de almidón que son relativamente pequeños y más difíciles de procesar. Pueden observarse los gránulos de almidón en la figura 4.6 [7].

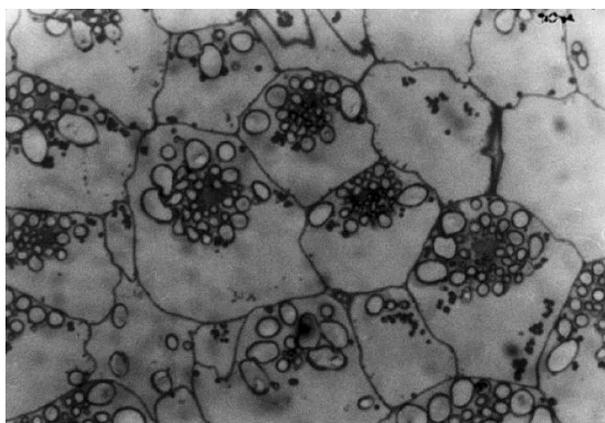


Figura 4.6. Células con almidón [7].

Propiedades del almidón de patata

El almidón de patata y sus derivados tienen propiedades especiales, tales como una temperatura de gelatinización baja y una alta consistencia y claridad de la pasta. Además, presentan una buena solubilidad y un alto contenido en amilosa, esto les proporciona ciertas preferencias respecto a otros almidones en determinadas aplicaciones. Las dextrinas de almidón de patata también tienen una ventaja sobre otros almidones debido a su poder adhesivo. Otras de sus características interesantes en diferentes industrias son sus buenas propiedades de película y de profundidad de penetración de la pasta [7].

Obtención del almidón de patata

Existen diferentes procedimientos para obtener almidón a partir de patatas, figura 4.7. Sin embargo, todos ellos comparten la primera etapa del proceso que consiste en el muestreo, almacenamiento, lavado y pulido de los tubérculos. A continuación, estos deben ser triturados, rompiendo las células de las patatas y liberando los gránulos de almidón. De esta manera se obtiene una mezcla de fibra, almidón y el llamado “jugo de patata”, formado por agua, proteínas solubles, aminoácidos, azúcares, sales, etc.

Antecedentes

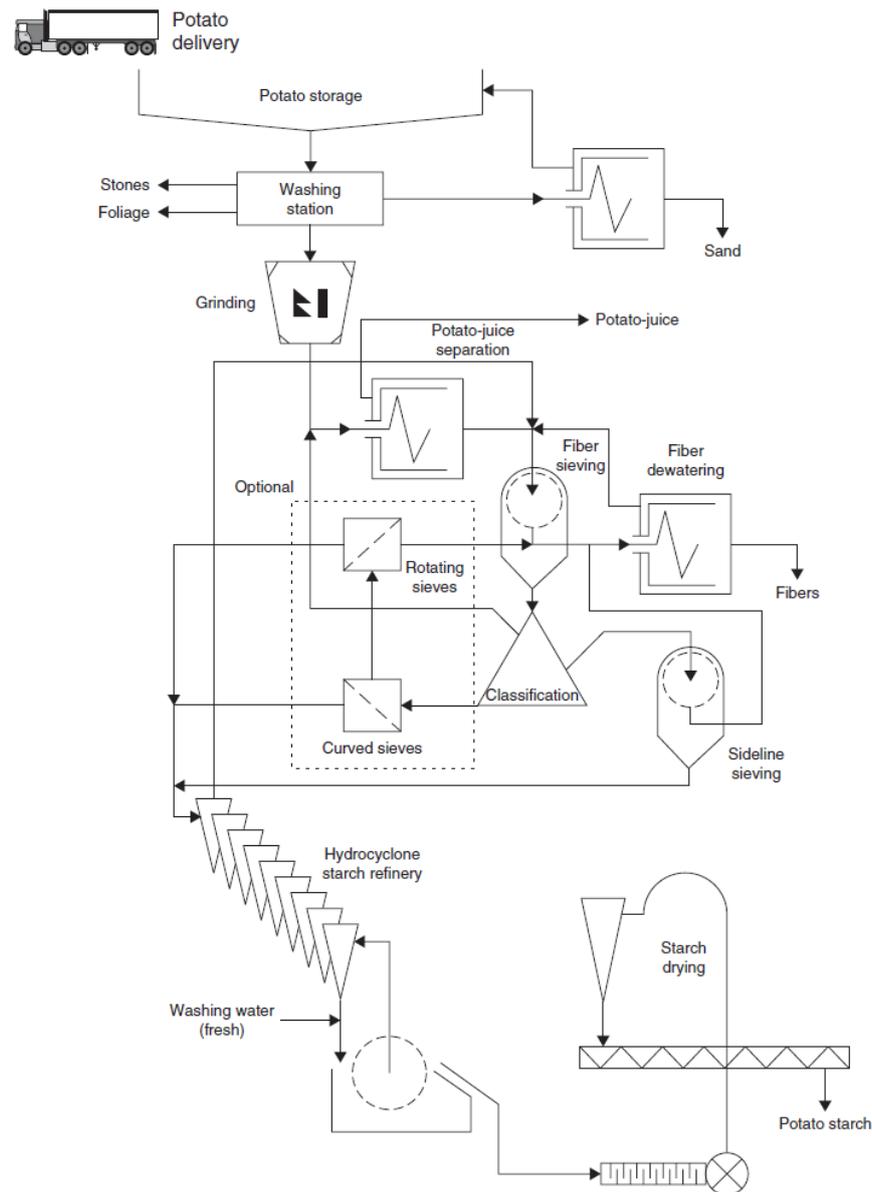


Figura 4.7. Descripción esquemática de un proceso de obtención de almidón de patata [7].

Además, es conveniente evitar la coloración de dicho extracto. Para ello, se puede añadir un antioxidante a la mezcla o realizar el proceso de molienda en un sistema de vacío, eliminando el oxígeno. Sin embargo, este último método presenta un inconveniente, el resto de los procesos hasta la obtención del almidón también deberán ser realizados en vacío, para evitar que la reacción de oxidación ocurra más adelante.

Posteriormente, será necesaria la separación física del almidón, de la fibra y del jugo de patata. Este proceso puede realizarse siguiendo tres procedimientos diferentes, tal y como se muestra en la figura 4.8.

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

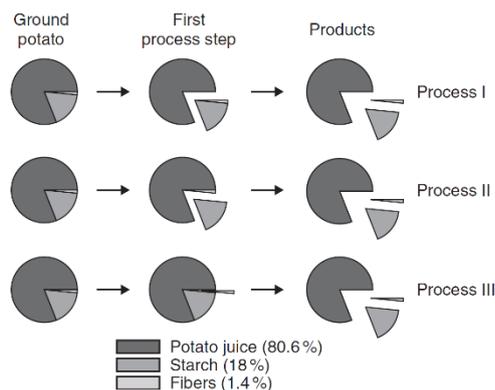


Figura 4.8. Métodos de obtención del almidón de patata [7].

En el procedimiento I, primero se separa el jugo de patata de las patatas de tierra y, en el segundo paso, se separan el almidón y las fibras. En el proceso II, el almidón es eliminado primero desde las patatas de tierra y, en segundo lugar, el jugo de patata se separa de la fibra. En el procedimiento III, la fibra es retirada primero de las patatas de tierra y, en el siguiente paso, el jugo de patata se separa del almidón

La elección de la técnica adecuada depende de diferentes factores que se muestran en la tabla 4.5. Cabe destacar que todos estos procedimientos se encuentran actualmente en uso [7].

Tabla 4.5. Evaluación de los tres métodos de obtención del almidón de patata [7].

| | Proceso I | Proceso II | Proceso III |
|---------------------------------|-----------|------------|-------------|
| Inversión | Promedio | Bajo | Alto |
| Producción de almidón | Promedio | Pobre | Alto |
| Producción de proteína | Promedio | Alto | Promedio |
| Calidad de las proteínas | Buena | Promedio | Pobre |
| Costes del proceso | Promedio | Bajo | Promedio |
| Consumo de agua | Promedio | Bajo | Bajo |
| Control de procesos | Promedio | Fácil | Sofisticado |

Para la separación del jugo de patata y de los dos componentes sólidos se utilizará una centrifuga decantadora, formada por un tambor cilíndrico y un tornillo en el interior. De esta manera, el almidón y la fibra se presionan a la pared del tambor y el jugo de patata fluye por la máquina. Como resultado, se obtiene una pasta de almidón y fibras y, por otro lado, un jugo libre de sólidos.

En la siguiente etapa, se procederá a la extracción de la fibra mediante tamizado. El diámetro de los gránulos de almidón está comprendido entre 1 y 120 μm , en cambio, las fibras poseen un diámetro entre 80 y 500 μm . Para este proceso se utilizarán tamices centrífugos cónicos. Además, también pasa a través de estos tamices una parte de la fibra junto con gránulos de almidón, procedente de células de patata que se mantuvieron intactas durante el proceso de molienda. A lo largo del tamizado puede producirse una pérdida entre el 2 y el 3% del almidón total.

Antecedentes

Como resultado de la extracción se obtiene almidón con pequeñas partículas de fibra que no fueron extraídas y proteínas restantes. A continuación, se procede a realizar la etapa de clasificación con el fin de separar el almidón de la fibra que no fue separada en el proceso de tamizado. Para ello será necesaria la utilización de un separador centrifugo.

Finalmente, las únicas impurezas presentes en el almidón son componentes solubles como las proteínas, que serán retiradas mediante un proceso de refinado. Posteriormente, será necesaria una etapa de eliminación del agua y secado para poder obtener el almidón en las condiciones adecuadas [7].

4.3. Materiales compuestos

Un material compuesto es aquel que está formado por dos o más componentes, dando lugar a un material nuevo con propiedades distintas y superiores a las de sus constituyentes. Suelen estar formados por un material específico de relleno y una resina aglomerante, consiguiendo así las propiedades deseadas. En la figura 4.9 se muestran algunos ejemplos de materiales compuestos.

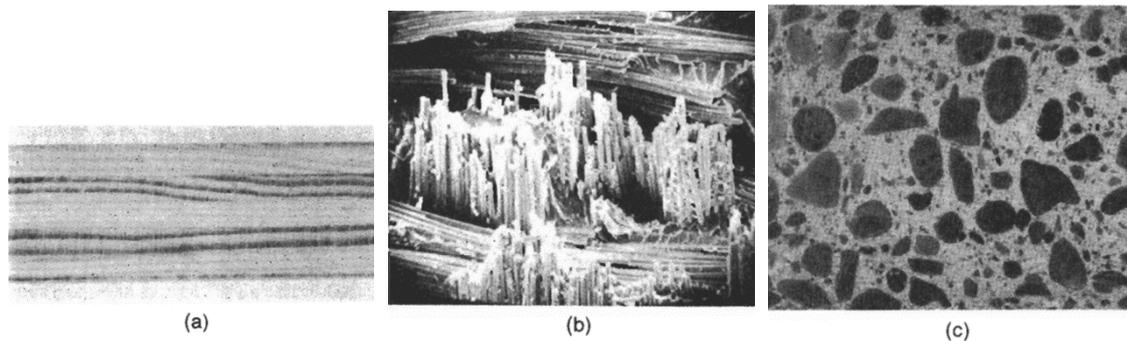


Figura 4.9. Ejemplos de materiales compuestos: (a) Triplay o madera contrachapada. (b) Fibra de vidrio. (c) Hormigón. [8].

Los materiales compuestos pueden clasificarse en función del tipo de matriz y en función de la forma que posea el refuerzo. Siguiendo el primer criterio pueden ser materiales compuestos de matriz metálica, de matriz cerámica o de matriz polimérica. En cambio, teniendo en cuenta la forma que posea el refuerzo los materiales pueden ser compuestos reforzados por partículas, compuestos reforzados por fibras o compuestos estructurales.

Las propiedades de los compuestos estructurales no dependen únicamente de los materiales constituyentes, sino también de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Entre los compuestos estructurales más comunes se encuentran los compuestos laminares y las estructuras sándwich.

4.3.1. Materiales compuestos laminares

Este tipo de materiales incluye recubrimientos muy delgados, superficies protectoras más gruesas, revestimientos metálicos, bimetálicos, laminados y todo un conjunto de aplicaciones. Además, los compuestos reforzados con fibras, producidos a partir de cintas o tejidos se pueden considerar parcialmente laminares.

Laminados

Los compuestos laminados están formados por distintas capas de materiales unidos por un adhesivo orgánico. Por ejemplo, en el vidrio de seguridad, un adhesivo plástico, como el polivinilo butiral une dos piezas de vidrio.

Los micro laminados incluyen compuestos formados por capas alternas de hojas de aluminio y de polímero reforzado por fibras, como por ejemplo el ARALL (laminado de aramida y aluminio), figura 4.10, y el GLARE (laminado de vidrio y aluminio). En el primero, una fibra de aramida como el Kevlar se prepara como tejido o cinta unidireccional, se impregna con un adhesivo y se lamina entre capas de una aleación de aluminio. El laminado compuesto tiene una combinación poco usual de resistencia, rigidez, resistencia a la rigidez y bajo peso. Además, también mejora la resistencia a la fatiga ya que la interfase entre capas puede bloquear las grietas [8].

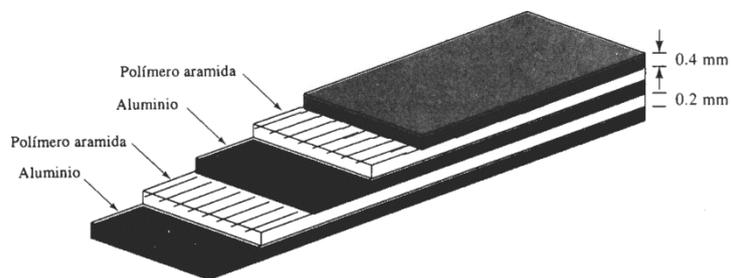


Figura 4.10. Diagrama esquemático de un laminado de aramida y aluminio (ARALL) [8].

4.3.2. Estructuras tipo sándwich

Este tipo de estructuras recibe también el nombre de materiales en emparedado y están formados por capas delgadas de material de recubrimiento unidas a algún material ligero de relleno. Ni el relleno ni el material de recubrimiento son resistentes o rígidos, pero el compuesto tiene ambas propiedades. Un ejemplo de esta estructura es el cartón corrugado, formado por un núcleo corrugado de papel unido por ambos lados a papel plano y grueso.

Otro ejemplo importante es la estructura en panel, representada en la figura 4.11. Dicho panel se puede producir al unir una tira delgada de aluminio en puntos específicos. A continuación, el material para el panel se expande para producir un panel celular de muy baja densidad e inestable por sí mismo, sin embargo, al adherir a ambos lados del panel hojas de aluminio, se obtiene un emparedado muy rígido, fuerte y excepcionalmente ligero.

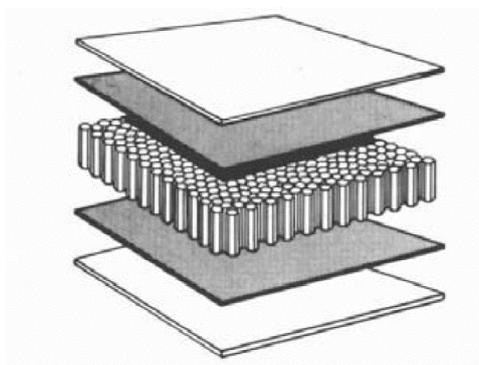


Figura 4.11. Estructura sándwich con núcleo de panel de abeja [5].

Antecedentes

Las celdas del panel pueden tener una diversidad de formas y se pueden fabricar de aluminio, fibra de vidrio, papel, polímeros de aramida y otros materiales. Las celdas del panel pueden estar rellenas de espuma o fibra de vidrio para proporcionar una excelente absorción de sonidos y vibraciones [8].

En la figura 4.12 se muestran procesos de obtención del núcleo en forma de panel para una estructura sándwich.

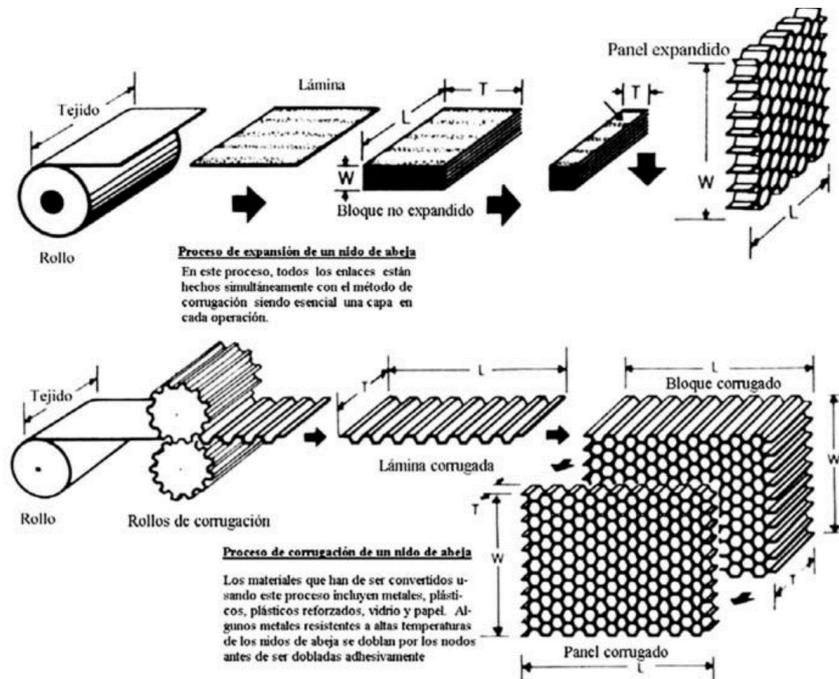


Figura 4.12. Procesos de obtención del núcleo en forma de panel para una estructura sándwich [5].

4.4. Productos desechables

Los productos desechables son aquellos fabricados para ser utilizados durante un corto plazo de tiempo, sacrificando una mayor durabilidad por comodidad de uso un precio menor. En muchos casos, se trata de productos de un solo uso, o de usar y tirar.

Alrededor de los años 50 se popularizó el término de "estilo de vida desechable". En agosto de 1955, la revista LIFE publicó un artículo con el título "Throwaway Living" que celebraba esta nueva sociedad de "usar y tirar". En su portada, que se muestra en la figura 4.13, destacaban principalmente objetos pertenecientes a vajillas desechables que tradicionalmente han sido fabricadas con plásticos. El principal inconveniente de esta clase de productos es su mayor impacto ambiental al tener un ciclo de vida más corto que lo productos duraderos. El uso de este tipo de productos va en contra de las políticas de minimización de residuos [9].



Figura 4.13. Portada de la revista LIFE, agosto 1955 [10].

En la actualidad, la cultura de “usar y tirar” tiende a desaparecer y a ser sustituida por la de “reducir, reusar y reciclar” intentando ser mucho más respetuosa con el medio ambiente.

Por un lado, son muchas las organizaciones, tanto en España como alrededor de todo el mundo, que ya han decidido unirse al movimiento “Break Free From Plastic” que pretende exigir las reducciones masivas en plásticos de un solo uso y establecer soluciones efectivas [11].

Entre sus principios, “Break Free From Plastic” propone adoptar estilos de vida sostenibles, la producción responsable o la generación de residuos orgánicos. Sin embargo, no es el único movimiento que ha decidido sustituir el plástico presente en nuestro día a día por materiales más respetuosos con el medio ambiente. Empresas como Leaf Republic GmbH o VerTerra Dinnerware han decidido sustituir las vajillas desechables por nuevos modelos más ecológicos.

4.4.1. Vajillas plásticas

Las vajillas convencionales de usar y tirar están generalmente fabricadas por materiales plásticos entre los que destacan el polipropileno (PP), el polietileno (PE) y el poliestireno (PT). El origen de los plásticos es petroquímico lo que los convierte en materiales no renovables, de ahí la cultura del reciclaje que se ha desarrollado en los países industrializados para evitar, por un lado, el derroche de materias primas y, por otro, la contaminación que producen los residuos de fabricación y productos desechos. Además, los materiales plásticos no son biodegradables o su ritmo de degradación es extremadamente lento.

A continuación, se muestran en la tabla 4.6 los códigos de reciclado universalmente aceptados y las aplicaciones para el reciclado [12].

Antecedentes

Tabla 4.6. Código y aplicaciones para el reciclado [12].

| Código de reciclado | Material | Aplicaciones para el reciclado |
|--|--|---|
|  1 PETE | Polietileno tereftalato (PET, PETE). También referido genéricamente como poliéster. Se hunde en el agua, por lo que se separa del PE porque este último flota. | Sobre todo, en la elaboración de textiles y textiles no tejidos (filtros y forro polar), moquetas, fibras de relleno para almohadas y acolchados diversos, cintas de audio/video, geotextiles. |
|  2 HDPE | Polietileno de alta densidad (PEAD). | Botellas de detergentes, aceite para automoción, tuberías, macetas, cubos, perfiles y sustituto de madera: bancos, suelos, vallas, etc. |
|  3 V | Cloruro de polivinilo (PVC). | Alfombrillas, tuberías, panelado (estanterías de poca calidad de diseño), pavimentos, cajas eléctricas, conos y elementos viarios. |
|  4 LDPE | Polietileno de baja densidad (PEBD). | Envoltorios para transporte (menor calidad de diseño), cubos, macetas, perfiles y sustituto de madera. |
|  5 PP | Polipropileno (PP). | Carcasas de baterías de vehículos, luces de señalización, fibras de escobas y cepillos, rejillas y rastrillos o herramientas y piezas de fricción, bandejas. |
|  6 PS | Poliestireno (PS). Puede ser rígido o expandido (EPS). | Interruptores eléctricos, aislante térmico, material de oficina rígido, perchas de ropa. El expandido se usa como aislante en construcción y embalaje de protección en aplicaciones de menor calidad de diseño. |
|  7 OTHER | Utilizado para materiales distintos a los anteriores o para mezclas complejas o composites en los que los materiales anteriores no son claramente predominantes. | Aplicaciones en los que no se requiera pureza del material reciclado, como perfiles sustitutos de madera. Los materiales reforzados con fibras no se reciclan. |

4.4.2. Vajillas ecológicas

En la actualidad se comercializan distintas alternativas a las vajillas plásticas mucho más respetuosas con el medio ambiente. Entre ellas, se pueden encontrar recipientes fabricados con hojas o con diferentes fibras vegetales.

La Facultad de Ingeniería en la Universidad de Naresuan (Tailandia) desarrolló en 2016 un recipiente para comida hecho con hojas de árboles, mostrados en la figura 4.14. Se pretendía que estos recipientes sustituyeran a los fabricados con espumas, preservando así el medio ambiente y favoreciendo a la innovación.

Además, dichos recipientes también fueron diseñados con el fin de reducir los problemas de salud de los tailandeses y la cantidad de basura que es difícil de descomponer. Los platos fabricados con espuma y plástico para contener alimentos calientes pueden crear estireno, separarse del recipiente y mezclarse con la comida, lo que puede ser peligroso para el cuerpo humano. Por otro lado, los recipientes ecológicos tardarían relativamente poco tiempo en descomponerse, mientras que los de plástico podrían tardar más de 500 años [13].



Figura 4.14. Recipientes fabricados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Naresuan (Tailandia) con hojas de árboles [13].

La primera etapa de la investigación presentó distintas dificultades, incluida la forma del contenedor ya que esta era inestable debido al poco espesor de las hojas. Sin embargo, finalmente se decidió que la hoja de *Butea monosperma* era la más adecuada debido a su gran resistencia a los alimentos calientes y no presentaba problemas de goteo [14].

Butea monosperma es una especie de *Butea* nativa de las partes tropicales y subtropicales de la India y del sudeste asiático. También recibe los nombres comunes de “llama de la selva” o “teca bastarda” [15].

En la tabla 4.7 se presenta la clasificación científica de *Butea Monosperma*.

Tabla 4.7. Clasificación científica de *Butea monosperma* [17]

| Categoría | Nombre científico y nombre común |
|----------------------|--|
| Reino | Plantae – Plantas |
| Subreino | Tracheobionta – Plantas vasculares |
| Superdivisión | Spermatophyta – Plantas con semillas |
| División | Magnoliophyta – Plantas con flor |
| Clase | Magnoliopsida – Dicotyledóneas |
| Subclase | Rosidae |
| Orden | Fabales |
| Familia | Fabaceae / Leguminosae – Legumbre |
| Género | <i>Butea</i> Roxb. ex Willd. – butea |
| Especies | <i>Butea monosperma</i> (Lam.) Taubert – Bengal kino |

Antecedentes

A continuación, se muestra la hoja de *Butea monosperma* en la figura 4.15.



Figura 4.15. Hoja de *Butea monosperma* (Lam.) Taub. Familia: Fabaceae. Género: *Butea*. Especie: *Butea monosperma*. Colección de Herbario Laboratorio Común, Facultad de Farmacia de Phnom Penh, Instituto de Investigación Pierre Fabre [16].

Por otro lado, la empresa Leaf Republic también ha creado diferentes envases totalmente renovables y biodegradables a partir de hojas caídas, los cuales se pueden observar en la figura 4.16. Para ello, han prescindido de plásticos, aditivos, aceites, pegamentos y productos químicos y cosen dos capas de hojas con fibras obtenidas de hojas de palma. Además, entre ambas capas introducen otra de papel que les proporciona cierta impermeabilidad a estos envases. Finalmente, se prensa el conjunto con el fin de proporcionarle la forma deseada [18].

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales



Figura 4.16. Esquema del recipiente fabricado por la empresa Leaf Republic utilizando hojas caídas [18].

VerTerra Dinnerware es otra de las empresas que han apostado por una gama de utensilios de mesa más responsables con el medio ambiente, libres de productos químicos, ceras, colorantes o aditivos, figura 4.17. Para ello, utilizan hojas de palma secas y prensadas que adquieren bastante consistencia, logrando también que el producto final pueda contener líquidos y sea completamente compostable [19].



Figura 4.17. Recipientes fabricados por la empresa VerTerra con hojas de palma [19].

INTRODUCCIÓN

5. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado propone una alternativa a las vajillas desechables fabricadas con materiales plásticos que sea más respetuosa con el medio ambiente. De esta manera se pretenden fabricar platos desechables y compostables utilizando materiales vegetales. Además, a la vez que se contribuye a la reducción de la contaminación por plástico, en particular de los océanos, también se cumple con las normativas europeas cada vez más exigentes con estos productos de “usar y tirar”.

Ya Greenpeace afirma que “El plástico ha inundado nuestra vida diaria: podemos encontrarlo en envases de productos, ingredientes cosméticos, el textil de la ropa, materiales de construcción...” [20]. Esto se puede ver claramente reflejado en el estudio "Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad", de ONU Medio Ambiente, el primero en evaluar las políticas nacionales contra los plásticos, que hasta el momento se han concentrado en prohibiciones y gravámenes sobre las bolsas plásticas y los artículos de poliestireno expandido. Dicho estudio muestra el elevado aumento de la generación mundial de residuos de plásticos primarios entre los años 1950 y 2015, figura 5.1 [21].

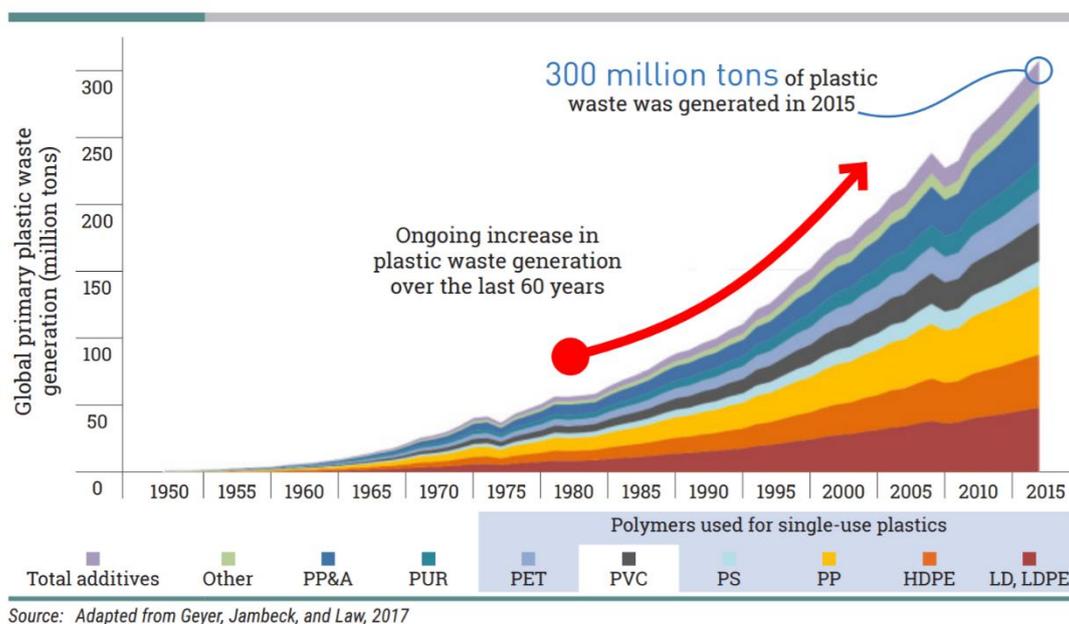


Figura 5.1. Generación mundial de residuos plásticos primarios 1950-2015 [21].

Por otro lado, según los datos recogidos por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España, “en 2016 se recogieron 34.057 objetos durante las campañas llevadas a cabo dentro del Programa de Seguimiento de basuras marinas en playas, un 28,68% más que en 2013”. Además, este estudio también señala que el mayor número de estos objetos recogidos, entre un 60 y 70% son plásticos, incluido el poliestireno [22]. Cabe destacar que algunos de estos productos derivados del petróleo suelen comenzar a biodegradarse a partir de los 450 años, figura 5.2 [23].

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

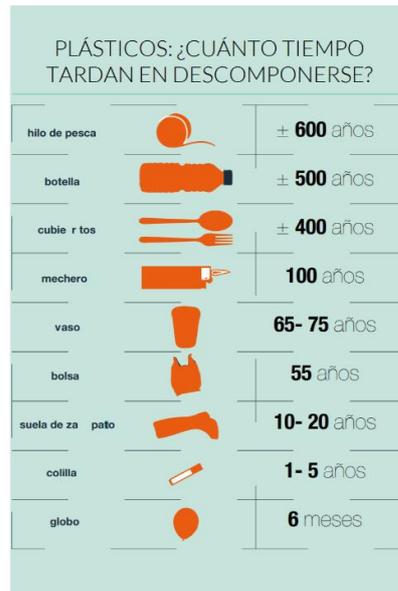


Figura 5.2. Esquema del tiempo que tardan en descomponerse los plásticos [20].

En cuanto a la cantidad de residuos de envases generados en España, se ha incrementado un 4,2% del año 2014 al 2015, siendo el plástico el material más común, seguido de los envases de papel y cartón. Además, solo el 44,03% de estos residuos derivados del petróleo se reciclaron en 2015, frente a una tasa de reciclado del 76,94% de los envases de papel y cartón [22].

En la Unión europea, el potencial para el reciclaje de residuos de plástico permanece en gran parte sin explotar. La reutilización y el reciclado de plásticos al final de su vida es muy baja, particularmente en comparación con otros materiales tales como el papel, vidrio o metales. Cada año se recogen en Europa alrededor de 25,8 millones de toneladas de residuos plásticos y menos del 30% de ellos se recoge para su reciclaje [24]. La figura 5.3 muestra un balance de la generación de residuos plásticos de la Unión Europea en 2015.

EU PLASTIC WASTE GENERATION IN 2015

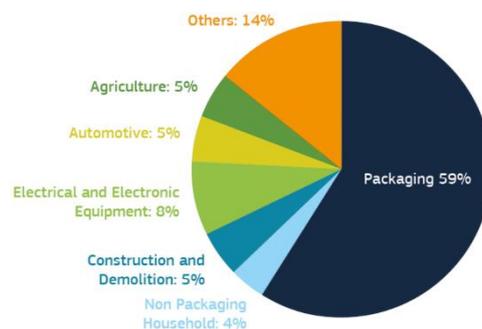


Figura 5.3. Generación de residuos plásticos de la Unión Europea en 2015 [24].

Introducción

En la UE, entre 150 mil y 500 mil toneladas de los residuos plásticos terminan en los océanos cada año, sobre todo en áreas marinas particularmente vulnerables, tales como el Mar Mediterráneo y partes del Océano Ártico. Este fenómeno se ve agravado por el aumento de la cantidad de residuos generados, alimentada también por el creciente consumo de plásticos “de un solo uso” que incluyen pequeños envases, bolsas, vasos desechables, tapas, pajitas y cubiertos, para los que el plástico se utiliza ampliamente debido a su ligereza, bajo coste y características prácticas. En relación con los micro plásticos, se estima que en la UE se libran entre 75 mil y 300 mil toneladas de estos productos en el medio ambiente [24].



Figura 5.4. Portada National Geographic junio 2018 [23]

Frente a estos datos, la UE ha propuesto recientemente nuevas normas para reducir la basura marina y, en concreto normas que afectan a los plásticos de un solo uso. Dichos productos representan el 70% de la basura marina en el continente europeo y el 85% a nivel mundial. [25]



Figura 5.5. Los 10 productos plásticos más comunes en las playas europeas [25].

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Estas estrategias intentan sentar las bases de una nueva economía del plástico más circular. De esta manera, se pretende que el reciclaje sea rentable para las empresas, se frenen los residuos plásticos, se acabe con la basura marina y se fomente la inversión y la innovación. A su vez, se incentivará el cambio en todo el mundo.

Entre las medidas adoptadas en Bruselas destaca la prohibición de plásticos en determinados productos, objetivos de reducción del consumo, obligaciones de los productores, objetivos de recogida, requisitos de etiquetado y medidas de sensibilización.

Los productos de plástico de un solo uso no podrán comercializarse cuando haya alternativas fácilmente disponibles y asequibles. La prohibición se aplicará a los bastoncillos de algodón, los cubiertos, los platos, las pajitas, los agitadores de bebidas y los palitos de globos de plástico, que deberán estar fabricados con materiales más sostenibles. Además, los recipientes de bebidas de un solo uso de plástico solo podrán comercializarse si sus tapas y tapones permanecen unidos a ellos.

Por otro lado, los Estados miembros tendrán que reducir el uso de los recipientes alimentarios y de los vasos de plástico, mientras que los productores contribuirán a cubrir los costes de la gestión y limpieza de residuos. En estas normas también se establece la obligación de los distintos países de la UE de recoger el 90% de las botellas de bebidas de plástico de un solo uso de aquí a 2015. [26]

Ante la evidente necesidad de reducción del uso de plásticos y teniendo en cuenta el cultivo de platanera tan característico de las islas Canarias y los subproductos que este produce, se considera interesante la utilización de estos con el fin de generar nuevos materiales biodegradables y, a su vez, aportarles un valor añadido a dichos subproductos. En el presente Trabajo de Fin de Grado, se plantea la fabricación de platos ecológicos utilizando hojas y badana de platanera.

5.1. La platanera

Plátanos y bananas (*Mussa spp.*, en adelante plátanos cultivados) son plantas herbáceas monocotiledóneas de gran tamaño. Crecen en regiones tropicales y subtropicales del mundo y proporcionan alimentación básica a millones de personas en los países en desarrollo [27]. La mayoría de los cultivares tienen origen en dos especies silvestres, *Musa acuminata* Colla y *M. balbisiana* Colla, que por cruzamientos interespecíficos han formado una amplia gama de materiales con características de ambos [28]. Los diferentes clones representan a *M. acuminata* y a *M. balbisiana* como A y B [29], [30].

Introducción



Figura 5.6. Hoja de *Musa acuminata* Colla. The New York Botanical Garden. Institute of Economic Botany. Ethnobotanical Studies in Micronesia [31].

Desde del año 2013, la denominación “Plátano de Canarias” está inscrita en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas (IGP) de la UE [32], quedando amparados por ella los plátanos procedentes de la variedad Cavendish de la especie *Musa acuminata* Colla (AAA) [33]. En Canarias se cultivan dos variedades importantes de esta especie: “Gran Enana” y “Pequeña Enana” [34]. En la tabla 5.1 se muestra la composición química media de los frutos de estos cultivares dependiendo del tipo de explotación y del método de cultivo.

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Tabla 5.1. Composición química de los plátanos de Tenerife en función del cultivar, tipo de explotación y método de cultivo (adaptado de Forster, 2002) [34].

| | (A) Pequeña Enana | | | (B) Gran Enana | |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|--------------|
| | Invernadero | Exterior convencional | Exterior orgánico | Invernadero | Exterior |
| n | 17 | 31 | 11 | 18 | 18 |
| Longitud (cm) | 16,52 ± 0,75 ^a | 15,60 ± 0,79 | 13,61 ± 0,89 | 16,67 ± 1,61 | 16,17 ± 0,71 |
| Diámetro (cm) | 3,90 ± 0,15 | 3,84 ± 0,20 | 3,63 ± 0,32 | 3,76 ± 0,20 | 3,79 ± 0,13 |
| Humedad (%) | 77,69 ± 1,58 | 77,78 ± 2,19 | 75,34 ± 2,24 | 77,17 ± 2,58 | 77,73 ± 1,97 |
| Proteína (%) | 1,56 ± 0,18 | 1,55 ± 0,30 | 1,30 ± 0,29 | 1,48 ± 0,21 | 1,74 ± 0,32 |
| Fibra total (%) | 2,35 ± 0,40 | 2,37 ± 0,50 | 2,63 ± 0,39 | 2,45 ± 0,54 | 2,23 ± 0,55 |
| Fibra insoluble (%) | 1,40 ± 0,15 | 1,42 ± 0,23 | 1,57 ± 0,23 | 1,50 ± 0,24 | 1,49 ± 0,24 |
| Cenizas (%) | 1,00 ± 0,08 | 1,01 ± 0,07 | 1,05 ± 0,12 | 0,93 ± 0,08 | 1,01 ± 0,14 |
| Ascórbico (mg/100 g) | 9,88 ± 1,57 | 10,32 ± 2,35 | 12,60 ± 2,39 | 9,83 ± 1,32 | 9,56 ± 1,69 |
| Sacarosa (%) | 10,97 ± 4,34 | 11,43 ± 2,24 | 11,80 ± 1,84 | 9,18 ± 1,45 | 12,51 ± 2,26 |
| Glucosa (%) | 2,96 ± 0,43 | 3,72 ± 0,85 | 2,97 ± 0,92 | 3,15 ± 0,77 | 3,10 ± 0,75 |
| Fructosa (%) | 2,69 ± 0,40 | 3,41 ± 0,77 | 2,77 ± 0,82 | 2,88 ± 0,70 | 2,84 ± 0,68 |
| Azúcares totales (%) | 16,68 ± 4,61 | 18,57 ± 1,91 | 17,53 ± 2,24 | 15,20 ± 2,33 | 18,45 ± 2,25 |

^a media ± desviación estándar

En la tabla 5.2 se señalan las concentraciones medias de macro y micronutrientes determinadas en frutos de *Musa acuminata*.

Tabla 5.2. Concentraciones medias de macro y micronutrientes en frutos (parte comestible) de *Musa acuminata* según la zona de cultivo. Los valores se expresan en mg 100 g⁻¹ (adaptado de Hardisson, 2001) [35].

| | Zona Norte | Zona Sur |
|--|------------|-----------|
| Macronutrientes (mg 100 g⁻¹) | | |
| Sodio | 12,0±2,60 | 11,4±2,81 |
| Potasio | 534±88,9 | 483±44,0 |
| Calcio | 17,9±3,73 | 19,9±3,23 |
| Magnesio | 41,2±10,9 | 33,6±3,39 |
| Fósforo | 63,4±4,95 | 54,7±11,1 |
| Micronutrientes (mg 100 g⁻¹) | | |
| Hierro | 0,36±0,06 | 0,28±0,06 |
| Cobre | 0,13±0,03 | 0,12±0,03 |
| Zinc | 0,18±0,04 | 0,16±0,04 |
| Manganeso | 0,07±0,01 | 0,07±0,01 |
| Boro | 0,21±4,95 | 0,18±0,05 |

Introducción

La tabla 5.3 muestra la composición química elemental del pseudotallo y de las hojas de platanera.

Tabla 5.3. Composición química y elemental del pseudotallo y de las hojas de platanera. Los valores se expresan en g 100g⁻¹ de materia seca (%) (adaptado de Arsène, 2013) [38].

| | Pseudotallo | Hojas |
|--------------------------------|--------------------------|--------------|
| Composición química % | | |
| Humedad | 9,74 ± 1,42 ^a | 11,69 ± 0,03 |
| Lignina | 15,07 ± 0,66 | 24,84 ± 1,32 |
| Celulosa | 31,48 ± 3,61 | 25,65 ± 1,42 |
| Hemicelulosa | 14,98 ± 2,03 | 17,04 ± 1,11 |
| Composición elemental % | | |
| C | 36,83 ± 0,18 | 44,01 ± 0,22 |
| O | 43,62 ± 0,22 | 38,84 ± 0,19 |
| H | 5,19 ± 0,02 | 6,10 ± 0,03 |
| N | 0,93 ± 0,005 | 1,36 ± 0,007 |
| Cenizas | 8,65 ± 0,03 | 7,02 ± 0,03 |

^a Valor medio ± desviación estándar

El cultivo del plátano genera una importante cantidad de residuos de naturaleza orgánica, ya que solo el 12% del peso de planta se aprovecha como fruto comestible [36]. Los subproductos (hojas, rolo o pseudotallo, raquis y plátanos de rechazo) han sido tradicionalmente utilizados en alimentación de ganado, figura 5.7. Además, algunos de estos subproductos también se utilizan para el abono de la propia cosecha mediante su descomposición.

Cabe destacar que la parte carnosa que rodea al rolo recibe el nombre de garepa y una vez que esta se seca se convierte en badana [37]. En este trabajo se ha planteado la creación de platos compostables a partir de dicha badana y de las hojas de la platanera.

Subproductos de la platanera para alimentación animal



Figura 5.7. Subproductos de la platanera para alimentación animal (Fuente: propia).

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

A continuación, se muestran en la tabla 5.4 los datos recogidos por ASPROCAN (Asociación de Organizaciones de Productores de Plátanos de Canarias), con relación a la producción total de plátanos en Canarias en 2016. Dicha producción fue de 433.678 toneladas, 40.188 toneladas más que en el año anterior [39]. En cambio, dichos datos no permiten una estimación de la producción de hojas y badana de platanera, subproductos necesarios para la fabricación de los platos ecológicos planteada en el presente Trabajo de Fin de Grado.

Tabla 5.4. Producción anual de plátanos por isla durante en el periodo 2006-2016. Los valores se expresan en toneladas (Fuente: ASPROCAN).

| ISLAS | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| TENERIFE | 153.949 | 157.944 | 159.164 | 154.748 | 190.531 | 145.983 | 159.669 | 151.738 | 151.968 | 174.792 | 184.391 |
| LA PALMA | 117.908 | 135.502 | 138.270 | 131.719 | 147.181 | 124.625 | 131.759 | 125.866 | 127.672 | 131.585 | 151.327 |
| GRAN CANARIA | 67.577 | 66.918 | 73.041 | 69.821 | 84.724 | 70.485 | 77.217 | 78.022 | 76.984 | 78.935 | 88.837 |
| LA GOMERA | 5.798 | 6.085 | 5.609 | 5.475 | 6.298 | 5.324 | 6.023 | 5.122 | 4.780 | 5.208 | 5.788 |
| EL HIERRO | 2.984 | 2.819 | 2.824 | 2.892 | 3.425 | 2.613 | 2.761 | 2.886 | 2.738 | 2.856 | 3.197 |
| FUERTEVENTURA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LANZAROTE | 0 | 105 | 185 | 179 | 121 | 103 | 99 | 137 | 115 | 114 | 137 |
| TOTALES | 348.216 | 369.373 | 379.093 | 364.834 | 432.280 | 349.133 | 377.528 | 363.771 | 364.257 | 393.490 | 433.678 |

MATERIAL Y MÉTODOS

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio comprende cuatro fases principales: toma y preparación de muestras vegetales, fabricación de probetas de materiales compuestos, ensayo de materiales y conformado de platos. Además, durante todo el procedimiento se deben tener en cuenta todas las indicaciones recogidas en el Código Alimentario Español (Anexo II) [1].

6.1. Toma y preparación de las muestras

El material vegetal utilizado en este ensayo se obtuvo de un cultivo de platanera (*Musa acuminata* Colla) realizado bajo invernadero y localizado en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería (sección de Ingeniería Agraria) de la Universidad de La Laguna (28º 28' 46" N, 16º 19' 07" O). Las hojas se muestrearon en verde, enteras, de plantas sanas y al azar. La badana, ya cortada, se muestreó igualmente al azar. En cada recogida se tomaron alrededor de 4 hojas de platanera y 7 muestras de badana. En ambos casos se procuró que las distintas muestras fueran similares en cuanto a estado de desarrollo, forma y tamaño. Las hojas poseen una forma lanceolada y sus dimensiones variaron, aproximadamente, entre 100 cm y 150 cm de longitud y entre 30 cm y 50 cm de anchura. En cambio, las muestras de badana poseen una forma rectangular y unas dimensiones de longitud y ancho alrededor de 55 x 25 cm. Durante el estudio fue necesario realizar varios muestreos, que se llevaron a cabo siguiendo siempre el mismo procedimiento, y en condiciones climáticas y culturales similares.

Las figuras 6.1 y 6.2 presentan las muestras de hojas y badana de platanera recogidas para la fabricación de materiales compuestos.



Figura 6.1. Muestras de hojas de platanera tras su recogida (Fuente: propia).



Figura 6.2. Muestras de badana de platanera tras su recogida (Fuente: propia).

Tras la recogida, las muestras se llevaron al Laboratorio de Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna donde tanto las hojas como la badana se cortaron en piezas más pequeñas. En el caso de las hojas, se retiró el nervio central, mientras que en el caso de la badana se recortaron los bordes, ya que estos son de un espesor inferior y mucho más débiles que el resto de la muestra. Además, también se retiraron aquellas partes que se encontraban excesivamente dobladas o estropeadas. Seguidamente, las diferentes muestras fueron lavadas y secadas. Este proceso constó de dos fases debido a que el primer procedimiento presentaba algunos inconvenientes.

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

En primer lugar, se empleó una disolución de agua jabonosa para eliminar la suciedad presente en las distintas superficies. A continuación, fue necesario retirar el exceso de agua y comenzar con el proceso de secado. En esta ocasión, las muestras fueron secadas en el laboratorio, el cual se encuentra a una temperatura de $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ y fue necesaria la utilización de una estufa con el fin de disminuir la humedad del ambiente ya que, teniendo en cuenta los valores proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología, la humedad relativa media anual en San Cristóbal de La Laguna es del 73% y la temperatura media de $16,8^{\circ}\text{C}$ (Anexo I).

Para dicho secado, se distribuyeron las muestras procedentes de la platanera entre hojas de papel de filtro, tal y como se puede observar en las figuras 6.3 y 6.4, y se ejerció cierta presión sobre ellas utilizando diferentes pesos con el fin de que la superficie quedara lo más lisa y uniforme posible después del secado. En los días posteriores fue necesario retirar y sustituir las hojas papel de filtro por otras nuevas hasta conseguir que las distintas muestras estuvieran uniformemente secas. En el caso de las hojas, este proceso se prolongó durante más de una semana, en cambio, la badana estaba completamente seca después de tres o cuatro días.



Figura 6.3. Muestras de hojas de platanera antes del proceso de secado (Fuente: propia).



Figura 6.4. Muestras de badana de platanera antes del proceso de secado (Fuente: propia).

Tras el proceso de secado del material, algunas de las muestras presentaron moho en su superficie y, por tanto, se decidió realizar distintas variaciones en la fabricación de las siguientes muestras. En este caso, se incorporó un proceso de desinfección después del lavado de las hojas y la badana recogidas.

Para ello, se tomó como referencia las instrucciones establecidas por AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) donde se señala que para lavar las frutas y verduras se deben sumergir durante 5 minutos en una disolución de 4,5 ml de lejía por cada 3 litros de agua. Tras este periodo de tiempo deben ser aclaradas con abundante agua corriente. Cabe destacar que la lejía debe estar etiquetada como “apta para la desinfección de agua de bebida” [40].

Material y métodos

Siguiendo el proceso anterior, se debe retirar el exceso de agua de las muestras y separarlas entre hojas de papel de filtro. Tras un par de días en el laboratorio, algunas de las muestras de badana presentan moho debido a que se dejaron prensadas con excesiva cantidad de agua. Por tanto, se deben retirar dichas muestras y aquellas que corran el riesgo de estar también contaminadas. Además, para asegurar el correcto secado de las hojas y de la badana, se realizan distintas pesadas cada 24 horas hasta conseguir un peso constante, lo que determina que estas están completamente secas, figura 6.5.



Figura 6.5. Muestras de badana y hoja de platanera secas (Fuente: propia).

6.2. Preparación de los materiales compuestos

El material que se va a fabricar es un material laminado, formado por diferentes capas de hojas o badana y un adhesivo a base de almidón de patata soluble.

En primer lugar, se procedió a la preparación de dicho adhesivo. Para ello, se utilizó agua y almidón de patata soluble ($C_6H_{10}O_5$)_n (PANREAC, PA). Se realizó la preparación estableciendo una proporción agua/almidón (P/P) 5:1 y 5:2, con el fin de comparar las propiedades de las muestras con dos adhesivos diferentes. En primer lugar, se disolvió el almidón y, a continuación, se procedió a calentar la disolución utilizando un agitador magnético con calefacción, VMS-A, mostrado en la figura 6.6. Durante este proceso fue necesario remover la mezcla utilizando una varilla de vidrio con el fin de obtener un adhesivo homogéneo. Fue necesario calentar la disolución hasta su temperatura de cocción, adquiriendo un color amarillento y cierta viscosidad, tal y como se puede observar en la figura 6.7. Al tratarse de almidón soluble de patata, esta temperatura debe encontrarse entre los 50°C y 95°C y en la práctica se establece con la consistencia..



Figura 6.6. Preparación de adhesivo a base de almidón de patata soluble utilizando un agitador magnético con calefacción, VMS-A. (Fuente: propia).

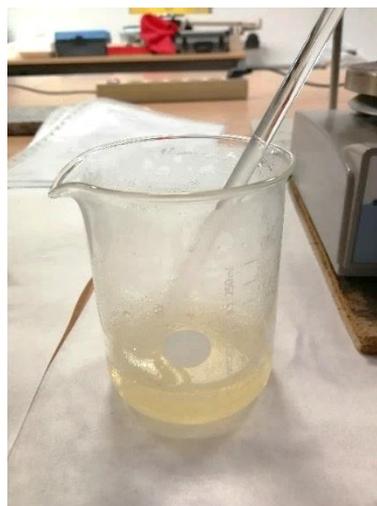


Figura 6.7. Adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia).

Finalmente, se procedió a la preparación de las muestras. Se dispusieron distintas capas de hojas o de badana extendiendo el engrudo de almidón entre las mismas, figura 6.8. Generalmente, las diferentes capas de material vegetal se colocaron en el mismo sentido de las fibras para poder obtener un tamaño y espesor uniforme de las muestras. En algunos casos, fue necesario cortar alguna de las piezas para una mejor disposición. Durante el proceso de aplicación del adhesivo se utilizó una espátula y se retiró el exceso de este. Posteriormente se debió ejercer presión para obtener una mejor adherencia. Se repitió este procedimiento tantas veces como fue necesario dependiendo del espesor que se deseaba obtener. En este caso, se prepararon muestras de cinco y cuatro capas de badana y de cinco y seis capas de hojas.



Figura 6.8. Preparación de muestras con hojas de platanera y adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia).

Material y métodos

A continuación, se dejaron secar las muestras en el laboratorio, manteniendo la estufa encendida y con cierto peso sobre ellas para conseguir una correcta adhesión. Cabe destacar que fue necesario que la presión ejercida fuera lo más grande y uniforme posible, para ello, se utilizaron placas de acero para repartir las cargas y pesos entre 5 kg y 7 kg. Este proceso de secado se prolongó durante uno o dos días.

Las figuras 6.9 y 6.10 presentan los materiales compuestos fabricados con hojas y badana de platanera antes del proceso de secado.



Figura 6.9. Muestras de hojas de platanera y adhesivo a base de almidón antes de la fase de secado (Fuente: propia).



Figura 6.10. Muestras de badana de platanera y adhesivo a base de almidón antes de la fase de secado (Fuente: propia).

Durante el proceso de secado del material, algunas de las muestras presentaron moho en la superficie debido al exceso de adhesivo húmedo. Por tanto, fue necesario realizar algunas variaciones en el procedimiento en preparaciones posteriores para evitar dicho problema.

Una vez preparados los distintos materiales compuestos, para evitar la aparición de moho en la zona superficial de las muestras durante el proceso de secado se decidió aplicar aire caliente a las probetas para secar el engrudo sobrante en la superficie. Una vez secas ambas caras de las muestras, estas se distribuyeron entre hojas de papel de filtro para que se terminara de secar el engrudo presente entre las diferentes capas del material. Durante este procedimiento se aplica presión utilizando de nuevo placas de acero y pesos entre 5 kg y 7 kg.

Finalmente, una vez secas las muestras, se procedió a cortarlas con un cúter. Para establecer las dimensiones de las probetas se tienen en cuenta las normas UNE-EN- ISO 178 y UNE-EN-ISO 527. Se decidió que las medidas más adecuadas en función de los ensayos a realizar eran aproximadamente 2 centímetros de ancho y 15 centímetros de longitud. Las probetas finales se muestran en la figura 6.11.

Estas muestras se almacenaron en bolsas herméticas con una pequeña cantidad de arroz hasta que fueron ensayadas para evitar que se contaminaran y reducir, en la medida de lo posible, la humedad. Estas bolsas deben estar correctamente identificadas con la fecha de la fabricación, el número de capas y la proporción agua/almidón empleada.



Figura 6.11. Muestras de materiales fabricados con hojas y badana de platanera y adhesivo a base de almidón de patata soluble (Fuente: propia).

6.3. Identificación de las muestras

Para la identificación de las muestras de materiales compuestos fabricados con material vegetal de platanera se utilizaron códigos de siete caracteres. Los dos primeros indican el número de capas y si se han utilizados hojas (H) o badana (B) de platanera. Los cuatro siguientes dígitos indican la fecha en la que finalizó la fabricación del material y, a continuación, se emplea una letra o un número para diferenciar las muestras realizadas en esa fecha.

En el caso de las muestras de platos comerciales se utilizaron códigos de dos o tres caracteres. Las muestras fabricadas con hojas de palma fueron identificadas con la letra P y a continuación un número que las diferenciara entre ellas. En el caso de los platos de polipropileno se emplearon las letras P y T, seguidas de un dígito para distinguirlas.

A continuación, en la tabla 6.1 se presenta el total de muestras fabricadas. En los apartados siguientes se identifican los distintos tipos de muestras.

Tabla 6.1. Total de muestras fabricadas con material vegetal de platanera y adhesivo a base de almidón.

| Total de muestras fabricadas | | | |
|------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|
| Material vegetal | N.º de capas | Proporción agua/almidón | N.º de muestras |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 | 3 |
| | | 5:1 | 1 |
| | 6 | 5:2 | - |
| | | 5:1 | 2 |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 | 4 |
| | | 5:1 | 5 |
| | 5 | 5:2 | 6 |
| | | 5:1 | 5 |

Material y métodos

6.3.1. Identificación de las muestras ensayadas a tracción

Tabla 6.2. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera.

| Muestras fabricadas con hojas de platanera | | |
|--|--------------|-------------------------|
| Identificación | N.º de capas | Proporción agua/almidón |
| 5H 0205 2 | 5 | 5:2 |
| 5H 0305 2 | 5 | 5:2 |
| 5H 0305 4 | 5 | 5:2 |
| 5H 0307 A | 5 | 5:1 |
| 6H 1204 3 | 6 | 5:1 |
| 6H 1804 3 | 6 | 5:1 |

Tabla 6.3. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera.

| Muestras fabricadas con badana de platanera | | |
|---|--------------|-------------------------|
| Identificación | N.º de capas | Proporción agua/almidón |
| 4B 0205 C | 4 | 5:2 |
| 4B 0305 B | 4 | 5:2 |
| 4B 0305 E | 4 | 5:2 |
| 4B 3004 C | 4 | 5:2 |
| 5B 0907 4 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 1 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 2 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 3 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 5 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 6 | 5 | 5:2 |
| 4B 0207 3 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 1 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 2 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 4 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 5 | 4 | 5:1 |
| 5B 1804 D | 5 | 5:1 |
| 5B 1104 C | 5 | 5:1 |
| 5B 1104 D | 5 | 5:1 |
| 5B 1204 B | 5 | 5:1 |
| 5B 1804 C | 5 | 5:1 |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Tabla 6.4. Identificación de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | |
|---|-----------|
| Identificación | |
| | P1 |
| | P2 |
| | P3 |
| | P4 |
| | P5 |

Tabla 6.5. Identificación de las muestras ensayadas a tracción fabricadas con hojas de platanera.

| Muestras de plato comercial de polipropileno | |
|--|------------|
| Identificación | |
| | PT2 |
| | PT3 |
| | PT4 |
| | PT5 |

6.3.2. Identificación de las muestras ensayadas a flexión

Tabla 6.6. Identificación de las muestras ensayadas a flexión fabricadas con hojas de platanera.

| Muestras fabricadas con hojas de platanera | | |
|--|--------------|-------------------------|
| Identificación | N.º de capas | Proporción agua/almidón |
| 5H 0205 1 | 5 | 5:2 |
| 5H 0305 1 | 5 | 5:2 |
| 5H 0305 3 | 5 | 5:2 |
| 5H 0307 B | 5 | 5:1 |
| 5H 0307 C | 5 | 5:1 |
| 6H 1204 1 | 6 | 5:1 |
| 6H 1204 2 | 6 | 5:1 |
| 6H 1804 1 | 6 | 5:1 |
| 6H 1804 2 | 6 | 5:1 |
| 6H 0907 A | 6 | 5:2 |
| 6H 0907 B | 6 | 5:2 |

Tabla 6.7. Identificación de las muestras ensayadas a flexión fabricadas con badana de platanera.

| Muestras fabricadas con badana de platanera | | |
|--|---------------------|---------------------------|
| Identificación | N.º de capas | Proporción almidón |
| 4B 0207 6 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 7 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 8 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 9 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 10 | 4 | 5:1 |
| 4B 0207 11 | 4 | 5:1 |
| 4B 0305 A | 4 | 5:2 |
| 4B 0305 C | 4 | 5:2 |
| 4B 0305 D | 4 | 5:2 |
| 4B 3004 A | 4 | 5:2 |
| 4B 0205 A | 4 | 5:2 |
| 4B 0205 B | 4 | 5:2 |
| 4B 3004 B | 4 | 5:2 |
| 5B 1104 A | 5 | 5:1 |
| 5B 1104 B | 5 | 5:1 |
| 5B 1204 A | 5 | 5:1 |
| 5B 1804 A | 5 | 5:1 |
| 5B 1804 B | 5 | 5:1 |
| 5B 0907 7 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 8 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 9 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 10 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 11 | 5 | 5:2 |
| 5B 0907 12 | 5 | 5:2 |

Tabla 6.8. Identificación de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | |
|--|--|
| Identificación | |
| P6 | |
| P7 | |
| P8 | |
| P9 | |
| P10 | |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Tabla 6.9. Identificación de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de polipropileno.

| Muestras de plato comercial de polipropileno | |
|--|------|
| Identificación | |
| | PT6 |
| | PT7 |
| | PT8 |
| | PT9 |
| | PT10 |

6.4. Caracterización de materiales compuestos

Las muestras se sometieron a ensayos de tracción y flexión utilizando la Máquina Universal Shimadzu Autograph AG-IS 50kN, figura 6.12, perteneciente al Laboratorio de Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna. Los valores obtenidos por la máquina son procesados por el software Trapezium, compatible con el sistema operativo Windows. Para los ensayos de flexión se apoyaron las muestras por los dos extremos en el puente de flexión y se aplicó una fuerza en el centro, tal y como se puede observar en la figura 6.13. En cambio, para los ensayos de tracción se utilizó un extensómetro y las muestras fueron sometidas a una fuerza uniaxial en el sentido del eje de las mismas, figura 6.14.



Figura 6.12. Máquina Universal Shimadzu Autograph AG-IS 50kN del Laboratorio de Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna (Fuente: propia).

Cabe destacar que en las muestras fabricadas de badana y hojas se combinó el número de capas y la proporción de agua y almidón empleada. Además de los materiales fabricados, también se realizaron ensayos de muestras obtenidas a partir de platos comerciales de hojas de palma y de polipropileno con el fin de comparar los diferentes resultados.



Figura 6.13. Ensayo de flexión realizado a una muestra conformada por badana de platanera (Fuente: propia).



Figura 6.14. Ensayo de tracción realizado a una muestra conformada por badana de platanera (Fuente: propia).

A la hora de establecer los parámetros de los distintos ensayos, se tuvieron en cuenta las normas UNE-EN-ISO 527: “Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción” y UNE-EN ISO 128: “Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión”.

6.4.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción mide la resistencia de un material a una fuerza gradualmente aplicada. La muestra se coloca en la máquina de pruebas y se aplica una fuerza F , denominada carga, figura 6.15. Para medir el alargamiento del material debido a dicha fuerza en la longitud calibrada se hace uso de un extensómetro.

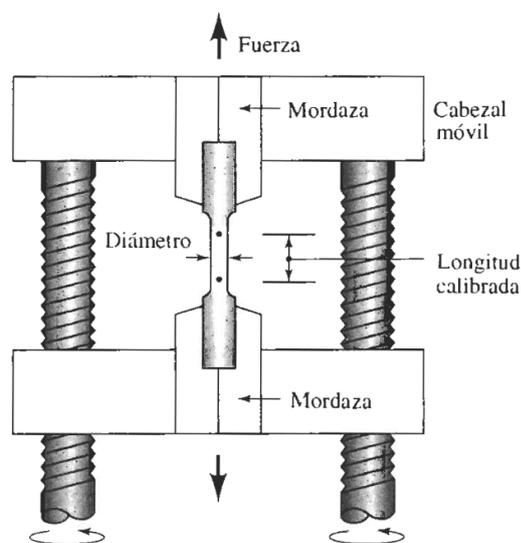


Figura 6.15. Dispositivo de ensayo de tracción [7].

Tomando los datos proporcionados por la máquina y las características geométricas de las muestras se pueden obtener los valores del esfuerzo y la deformación.

$$\text{Esfuerzo} = \sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\text{Deformación} = \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Teniendo en cuenta que A_0 es el área original de la sección transversal de la muestra antes de iniciarse el ensayo, l_0 la distancia original entre marcas calibradas y l la distancia entre las mismas después de haberse aplicado la fuerza F . Finalmente, se procede a la representación de la curva esfuerzo-deformación, figura 6.16 [7].

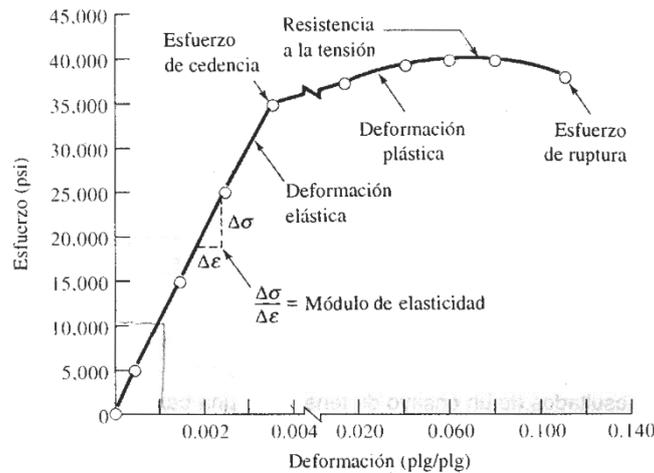


Figura 6.16. Ejemplo de curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio [7].

Propiedades obtenidas del ensayo de tracción

A partir del ensayo de tracción se puede obtener información relacionada con la resistencia, rigidez y ductilidad de un material.

En primer lugar, se puede obtener el esfuerzo de cedencia o límite elástico que hace referencia al esfuerzo a partir del cual la deformación plástica se hace importante. Es decir, se trata del valor del esfuerzo a partir del cual se dividen los compartimentos elásticos y plásticos del material.

En algunos materiales, el esfuerzo al cual el material cambia su comportamiento de elástico a plástico no es sencillo de detectar. En este caso, se determina un esfuerzo de cedencia convencional. Dicho valor se obtiene trazando una línea paralela a la Proción inicial de la curva esfuerzo-deformación, pero desplazada del origen a una deformación del 0,2%. El esfuerzo de cedencia convencional de 0,2% corresponderá al valor del esfuerzo donde dicha recta interseca la curva de esfuerzo-deformación, figura 6.17 [7].

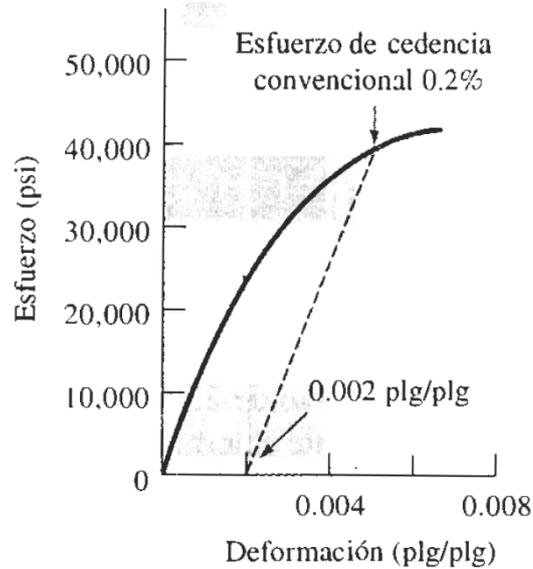


Figura 6.17. Ejemplo de determinación del límite elástico convencional al 0,2% de deformación en el hierro fundido gris [7].

Por otro lado, el esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada recibe el nombre de resistencia a la tracción y hace referencia al esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación.

En relación con las propiedades elásticas, del ensayo de tracción se puede obtener el valor del módulo de elasticidad o módulo de Young, E , correspondiente a la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en su región elástica. Teniendo en cuenta la ley de Hooke:

$$E = \frac{\epsilon}{\sigma}$$

El módulo es una medida de la rigidez del material. Un material rígido tendrá un alto módulo de elasticidad y conservará su tamaño y forma incluso al ser sometido a una carga en la región elástica.

Finalmente, la ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. El porcentaje de elongación representa la distancia que la muestra se alarga plásticamente antes de romperse.

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$$

Siendo l_f la distancia entre las marcas calibradas después de la fractura del material.

Finalmente, cabe destacar que las propiedades a la tensión dependen de la temperatura. Mientras que el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad disminuyen a temperaturas más altas, generalmente, la ductilidad se incrementa.

Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción

En este apartado se muestran las dimensiones de las distintas probetas ensayadas a tracción. Para el espesor y la anchura se tomó la media aritmética entre tres valores medidos

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

con un calibre. En esta ocasión, las medidas de las muestras ensayadas varían respecto a la norma UNE-EN-ISO 527 que establece que las probetas deben estar adelgazadas en su zona media. Se decide tomar muestras rectangulares debido al método de fabricación de los materiales compuestos y la dificultad de obtener secciones simétricas en el proceso de corte. En estos ensayos se utilizó un extensómetro cuya longitud calibrada es de 50 milímetros y una velocidad de 2mm/min.

Tabla 6.10. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de hojas (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5H 0205 2 | 0,96 | 19,37 | 18,60 |
| 5H 0305 2 | 1,13 | 20,28 | 22,92 |
| 5H 0305 4 | 1,07 | 19,31 | 20,66 |

Tabla 6.11. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de hojas (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5H 0307 A | 1,78 | 22,53 | 40,10 |

Tabla 6.12. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 6 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 6 capas de hojas (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 6H 1204 3 | 0,90 | 19,78 | 17,80 |
| 6H 1804 3 | 0,89 | 23,53 | 20,94 |

Tabla 6.13. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 4 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 4B 0207 1 | 5,05 | 23,27 | 117,51 |
| 4B 0207 2 | 4,57 | 21,88 | 99,99 |
| 4B 0207 3 | 3,38 | 21,88 | 73,95 |
| 4B 0207 4 | 3,47 | 22,36 | 77,59 |
| 4B 0207 5 | 3,51 | 24,11 | 84,63 |

Material y métodos

Tabla 6.14. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5B 1104 C | 4,39 | 18,22 | 79,99 |
| 5B 1104 D | 3,15 | 19,11 | 60,20 |
| 5B 1204 B | 7,37 | 25,04 | 184,54 |
| 5B 1804 C | 3,56 | 27,2 | 96,83 |
| 5B 1804 D | 3,62 | 17,45 | 63,17 |

Tabla 6.15. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 4B 3004 C | 3,46 | 19,66 | 68,02 |
| 4B 0205 C | 2,49 | 18,42 | 45,87 |
| 4B 0305 B | 3,92 | 19,79 | 77,58 |
| 4B 0305 E | 4,51 | 19,48 | 87,85 |

Tabla 6.16. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5B 0907 1 | 5,62 | 23,15 | 130,10 |
| 5B 0907 2 | 3,58 | 21,35 | 76,43 |
| 5B 0907 3 | 4,87 | 22,61 | 110,11 |
| 5B 0907 4 | 5,96 | 23,82 | 141,97 |
| 5B 0907 5 | 6,24 | 23,36 | 145,77 |
| 5B 0907 6 | 6,07 | 23,74 | 144,10 |

Tabla 6.17. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| P1 | 2,19 | 22,02 | 48,22 |
| P2 | 2,25 | 22,74 | 51,17 |
| P3 | 2,11 | 22,56 | 47,60 |
| P4 | 2,13 | 22,21 | 47,31 |
| P5 | 1,9 | 22,91 | 43,53 |

Tabla 6.18. Dimensiones de las muestras ensayadas a tracción de plato comercial de polipropileno.

| Muestras de plato comercial de polipropileno | | | |
|--|---------|---------|-----------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm ² |
| PT2 | 0,28 | 28,3 | 7,92 |
| PT3 | 0,37 | 29,33 | 10,85 |
| PT4 | 0,4 | 27,35 | 10,94 |
| PT5 | 0,39 | 26,52 | 10,34 |

6.4.2. Ensayo de flexión

En este tipo de ensayos, al aplicar la carga en tres puntos causando flexión, actúa una fuerza que provoca tensión sobre la superficie, opuesta al punto medio de la muestra, donde se iniciará la fractura. La resistencia a la flexión describe la resistencia del material y también recibe el nombre de módulo de ruptura.

$$\text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Siendo F la carga a la fractura, L la distancia entre los dos puntos de apoyo, w el ancho de la muestra y h su espesor, figura 6.18 [7].

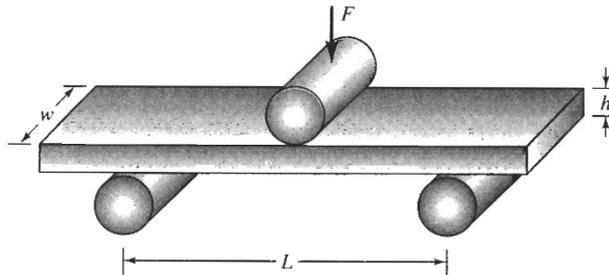


Figura 6.18. Ensayo de flexión [7].

Los resultados de la prueba de flexión son similares a las curvas de esfuerzo-deformación, en cambio, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en lugar de en función de deformaciones, figura 6.19.

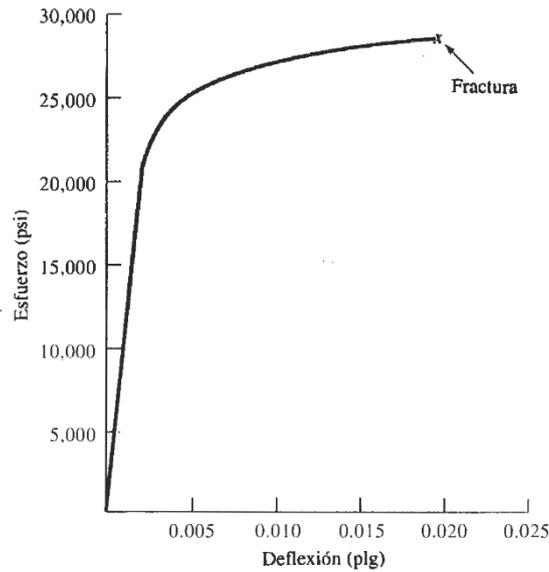


Figura 6.19. Ejemplo de curva esfuerzo de flexión obtenida a partir de un ensayo de flexión [7].

El módulo de elasticidad a la flexión o módulo en flexión se calcula en la región elástica y se define como:

$$\text{Módulo en flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$$

Siendo δ la deflexión de la muestra al aplicarse una fuerza F , figura 6.20.

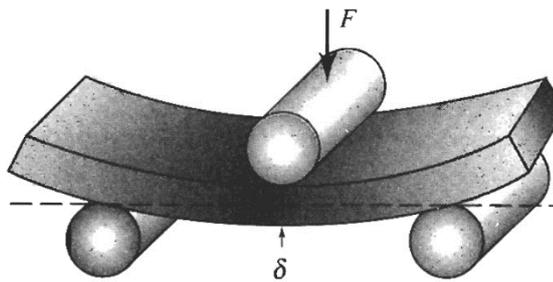


Figura 6.20. Deflexión obtenida durante la flexión de una probeta [7].

Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión

En este apartado se muestran las dimensiones de las distintas muestras ensayadas a flexión. Para el espesor y la anchura se tomó la media aritmética entre tres valores medidos con un calibre. En esta ocasión, las medidas de las muestras ensayadas varían respecto a la norma UNE-EN-ISO 178 que establece que las probetas deben estar adelgazadas en su zona media. Se decide tomar muestras rectangulares debido al método de fabricación de los materiales

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

compuestos y la dificultad de obtener secciones simétricas en el proceso de corte. Además, se estableció una distancia entre los apoyos de 60 milímetros y una velocidad de ensayo de 2 mm/min.

Tabla 6.19. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de hojas (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5H 0205 1 | 0,90 | 19,73 | 17,76 |
| 5H 0305 1 | 1,03 | 19,57 | 20,16 |
| 5H 0305 3 | 1,30 | 19,18 | 24,93 |

Tabla 6.20. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de hojas (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 5H 0307 B | 1,70 | 21,03 | 35,75 |
| 5H 0307 C | 1,03 | 22,23 | 22,90 |

Tabla 6.21. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 6 capas de hojas 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 6 capas de hojas (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 6H 1204 1 | 1,02 | 20,06 | 20,46 |
| 6H 1204 2 | 0,91 | 23,62 | 21,49 |
| 6H 1804 1 | 0,89 | 24,65 | 21,94 |
| 6H 1804 2 | 0,96 | 20,78 | 19,95 |

Tabla 6.22. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 6 capas de hojas 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 6 capas de hojas (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------------|
| Identificación | Espesor | Anchura | Área |
| | mm | mm | mm² |
| 6H 0907 A | 1,03 | 21,36 | 22,00 |
| 6H 0907 B | 1,22 | 22,25 | 27,15 |

Material y métodos

Tabla 6.23. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 4 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | |
|---|----------------|----------------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | Mm | mm |
| 4B 0207 6 | 3,92 | 23,60 |
| 4B 0207 7 | 3,09 | 22,00 |
| 4B 0207 8 | 3,79 | 22,92 |
| 4B 0207 9 | 3,53 | 23,47 |
| 4B 0207 10 | 3,08 | 22,83 |
| 4B 0207 11 | 4,53 | 22,77 |

Tabla 6.24. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de badana 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | |
|---|----------------|----------------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | Mm | mm |
| 5B 1104 A | 5,55 | 21,05 |
| 5B 1104 B | 5,42 | 19,22 |
| 5B 1204 A | 7,01 | 25,01 |
| 5B 1804 A | 4,03 | 24,15 |
| 5B 1804 B | 4,26 | 24,3 |

Tabla 6.25. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 4 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | |
|---|----------------|----------------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | Mm | mm |
| 4B 3004 A | 2,83 | 18,63 |
| 4B 3004 B | 3,83 | 18,69 |
| 4B 0205 A | 3,54 | 19,78 |
| 4B 0205 B | 3,11 | 19,53 |
| 4B 0305 A | 3,98 | 19,52 |
| 4B 0305 C | 4,41 | 17,74 |
| 4B 0305 D | 4,74 | 19,31 |

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Tabla 6.26. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de 5 capas de badana 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | |
|--|---------|---------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | Mm | mm |
| 5B 0907 7 | 5,43 | 23,64 |
| 5B 0907 8 | 6,44 | 22,33 |
| 5B 0907 9 | 7,37 | 21,86 |
| 5B 0907 10 | 5,69 | 23,95 |
| 5B 0907 11 | 7,41 | 21,99 |
| 5B 0907 12 | 8,71 | 22,73 |

Tabla 6.27. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | | |
|---|---------|---------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | mm | mm |
| P6 | 2,16 | 23,70 |
| P7 | 1,90 | 21,39 |
| P8 | 2,22 | 23,65 |
| P9 | 1,74 | 23,21 |

Tabla 6.28. Dimensiones de las muestras ensayadas a flexión de plato comercial de polipropileno.

| Muestras de plato comercial de polipropileno | | |
|--|---------|---------|
| Identificación | Espesor | Anchura |
| | mm | mm |
| PT6 | 0,38 | 29,34 |
| PT7 | 0,35 | 25,64 |
| PT8 | 0,41 | 24,66 |
| PT9 | 0,31 | 26,37 |
| PT10 | 0,29 | 25,78 |

6.5. Microscopía digital

Durante este estudio se he realizado un análisis de microscopía digital. Para ello, se utilizó el microscopio digital Dino-Lite AM-211, mostrado en la figura 6.21, y el software DinoCapture, compatible con el sistema operativo Windows.

Material y métodos



Figura 6.21. Microscopio digital Dino-Lite AM- 211 (Fuente: propia).

Se procedió a la realización de distintas fotografías de las dos superficies de las muestras y de la zona transversal con el fin de comparar las fotografías antes y después de los distintos ensayos y poder localizar posibles fallos en las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se procede a la representación de los valores proporcionados por los diferentes ensayos. Seguidamente, se presentarán los parámetros obtenidos al estudiar las distintas gráficas. Se analizarán aquellos conjuntos de muestras formados por 5 o más probetas, tomando como referencia las normas UNE-EN-ISO 178: “Plásticos. Determinación de las propiedades a flexión” y UNE-EN-ISO 527: “Plásticos. Determinación de las propiedades a tracción”. Las gráficas de las muestras no incluidas en este apartado se adjuntan en el Anexo III y en el Anexo IV.

Además, tampoco se representan las gráficas de los ensayos de flexión de las muestras de platos comerciales de polipropileno ya que de ellas no se pueden obtener valores representativos, se adjuntan dichas graficas en el Anexo IV.

Finalmente, para cada conjunto de muestras se calculará la media aritmética \bar{x} , la desviación típica s y el intervalo de confianza del 95% de los distintos parámetros obtenidos mediante los ensayos de las propiedades mecánicas. La desviación típica se define según la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

Siendo \bar{x} la media aritmética del parámetro a analizar y n el número de muestras.

El intervalo de confianza del 95% de probabilidad se establece de la siguiente manera:

$$\bar{x} - \frac{T}{\sqrt{n}} * s < \bar{x} < \bar{x} + \frac{T}{\sqrt{n}} * s$$

Siendo \bar{x} la media aritmética del parámetro a analizar, s la desviación típica, n el número total de muestras y T el valor de la distribución T de Student.

7.1. Resultados ensayos de tracción

En este apartado se muestran los resultados de los ensayos de tracción. En primer lugar, se presentan los valores obtenidos para cada tipo de muestra, dependiendo de su composición. Posteriormente, se realiza una comparación entre los diferentes materiales.

En las distintas figuras se representan las curvas de tensión-deformación para cada grupo de materiales, pudiendo observar algunas variaciones de comportamiento entre ellos. Seguidamente, se muestran los valores de los parámetros calculados en las distintas tablas.

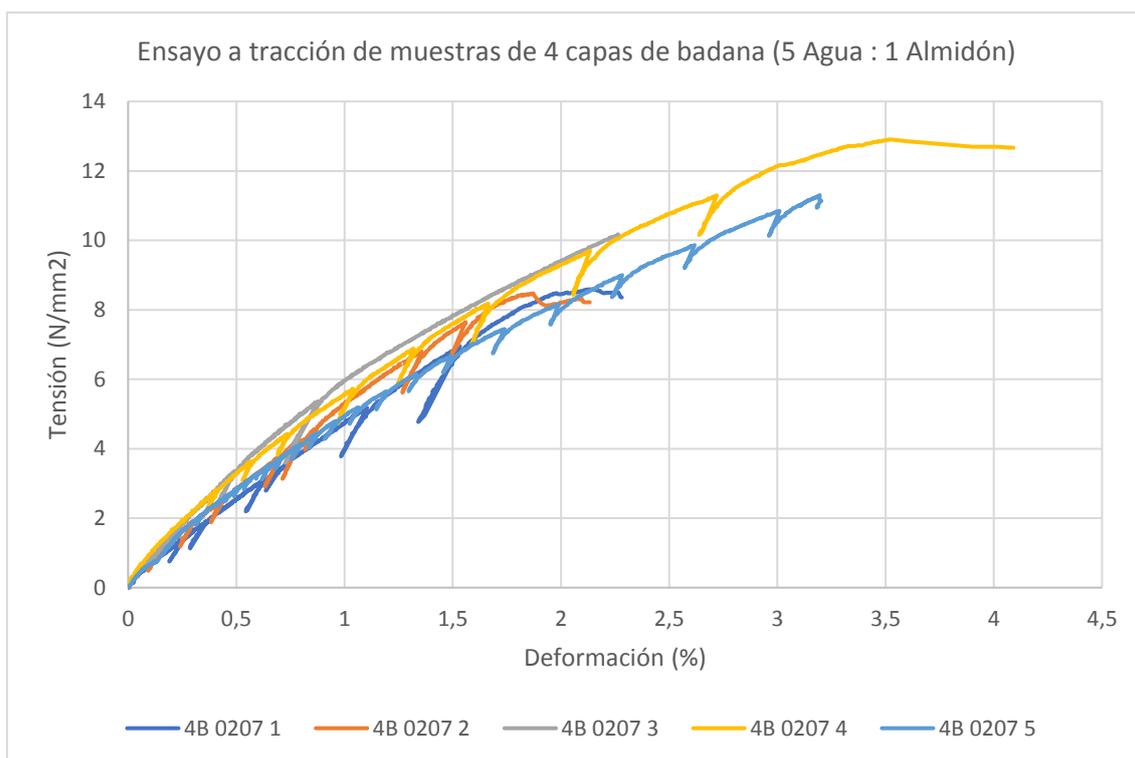


Figura 7.1. Curvas tensión-deformación para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

En el caso de las muestras fabricadas con cuatro capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:1, se obtienen unos resultados bastante similares para los distintos parámetros. Obteniéndose una resistencia media a tracción de 10,31 N/mm² y una elongación media del 2,69%.

Tabla 7.1. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| 4B 0207 1 | 8,59 | 2,13 | 4,61 |
| 4B 0207 2 | 8,47 | 1,87 | 4,77 |
| 4B 0207 3 | 10,18 | 2,71 | 5,52 |
| 4B 0207 4 | 12,90 | 3,52 | 4,56 |
| 4B 0207 5 | 11,39 | 3,20 | 4,45 |
| Media | 10,31 | 2,69 | 4,78 |
| Desviación típica | 1,95 | 0,69 | 0,43 |
| Intervalo de confianza (95%) | 7,97 < \bar{x} < 12,65 | 1,83 < \bar{x} < 3,55 | 4,25 < \bar{x} < 5,31 |

Resultados y discusión

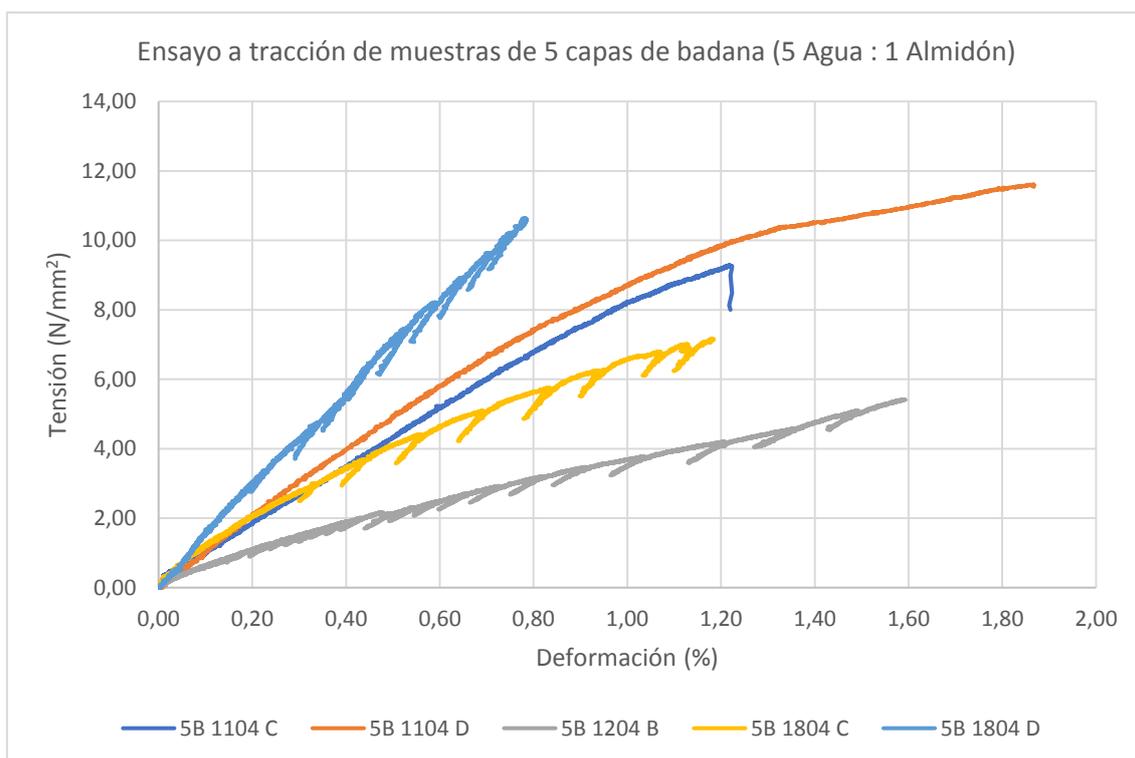


Figura 7.2. Curvas tensión-deformación para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

Las muestras ensayadas de cinco capas de badana y una proporción de agua/almidón de 5:1, presentan ciertas variaciones al someterlas a una carga uniaxial. Estas variaciones pueden ser debidas a la poca homogeneidad del material y a la rotura progresiva de las fibras que lo componen.

En el caso de la muestra 5B 1204 B, presenta un módulo de Young inferior en comparación con las demás muestras ensayadas. En cambio, la probeta 5B 1804 D posee un módulo de Young bastante superior.

Tabla 7.2. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| 5B 1104 C | 9,29 | 1,22 | 8,18 |
| 5B 1104 D | 11,60 | 1,87 | 9,42 |
| 5B 1204 B | 5,42 | 1,59 | 4,26 |
| 5B 1804 C | 7,16 | 1,18 | 8,21 |
| 5B 1804 D | 10,63 | 0,78 | 14,24 |
| Media | 8,82 | 1,33 | 8,86 |
| Desviación típica | 2,53 | 0,42 | 3,58 |
| Intervalo de confianza (95%) | 5,68 < \bar{x} < 11,96 | 0,81 < \bar{x} < 1,84 | 4,41 < \bar{x} < 13,31 |

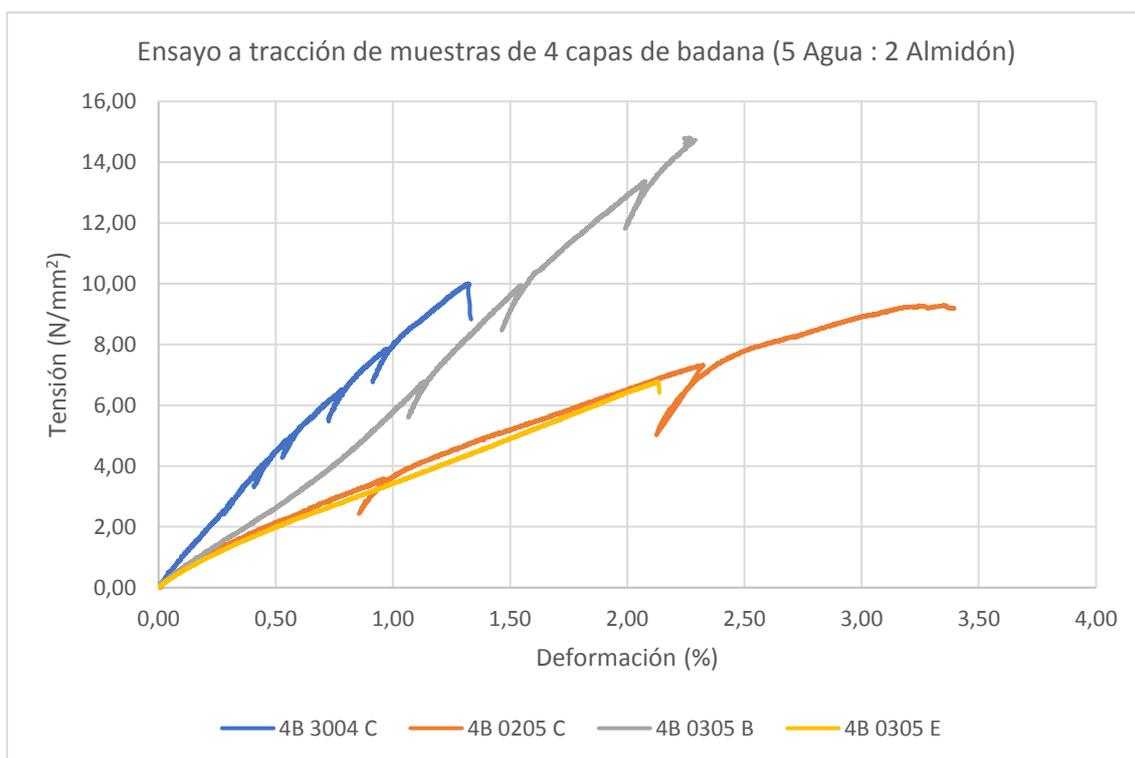


Figura 7.3. Curvas tensión-deformación para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

En esta ocasión, algunas de las muestras fabricadas con 4 capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:2 presentan ciertas desviaciones. Tal y como se ha comentado anteriormente, este comportamiento puede ser debido a la rotura de las fibras intermedias que lo conforman, así como a la separación de las distintas capas de material vegetal.

Tabla 7.3. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|--|--|---|---|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| 4B 3004 C | 10,46 | 1,85 | 8,36 |
| 4B 0205 C | 9,30 | 3,35 | 3,35 |
| 4B 0305 B | 14,81 | 2,11 | 5,14 |
| 4B 0305 E | 6,76 | 2,12 | 3,57 |
| Media | 10,33 | 2,36 | 5,11 |
| Desviación típica | 3,36 | 0,67 | 2,31 |
| Intervalo de confianza (95%) | 4,98 < \bar{x} < 15,68 | 1,29 < \bar{x} < 3,43 | 1,43 < \bar{x} < 8,79 |

Resultados y discusión

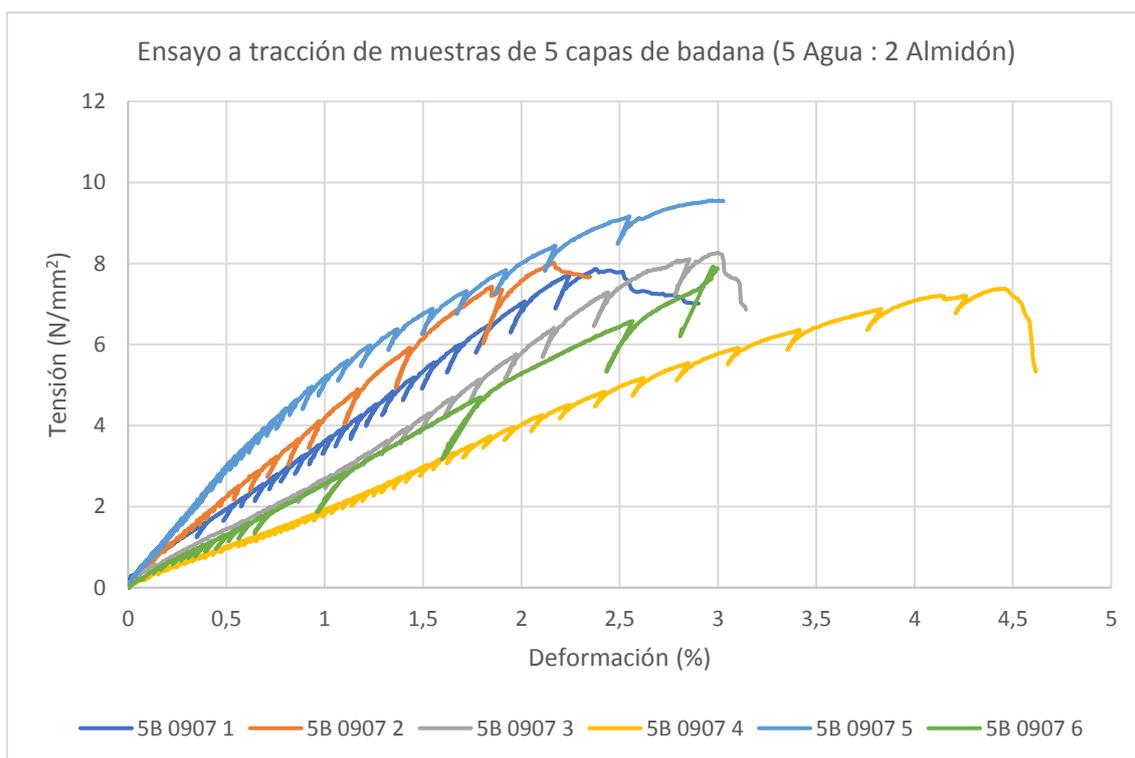


Figura 7.4. Curvas tensión-deformación para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

A continuación, se muestran los parámetros obtenidos para las muestras de 5 capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:2. En esta ocasión, los valores obtenidos para las distintas muestras son bastante cercanos, calculando así una resistencia a tracción media de 8,17 N/mm² y una elongación del 2,98%.

Tabla 7.4. Resultados de ensayo a tracción para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | |
|--|---|---|---|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| 5B 0907 1 | 7,86 | 2,38 | 3,35 |
| 5B 0907 2 | 8,02 | 2,16 | 4,15 |
| 5B 0907 3 | 8,27 | 3,00 | 2,58 |
| 5B 0907 4 | 7,39 | 4,46 | 1,72 |
| 5B 0907 5 | 9,56 | 3,01 | 5,72 |
| 5B 0907 6 | 7,92 | 2,89 | 2,59 |
| Media | 8,17 | 2,98 | 3,35 |
| Desviación típica | 0,74 | 0,80 | 1,42 |
| Intervalo de confianza (95%) | 7,39 < \bar{x} < 8,95 | 2,14 < \bar{x} < 3,83 | 1,86 < \bar{x} < 4,84 |

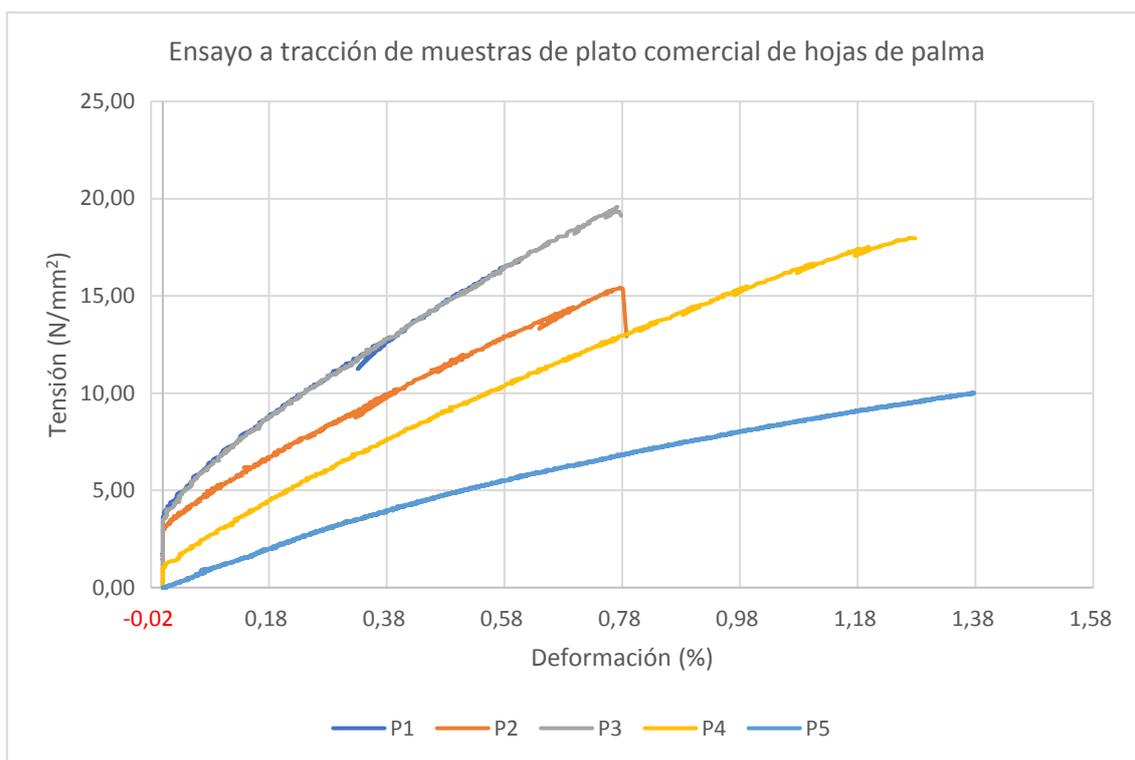


Figura 7.5. Curvas tensión-deformación para muestras de plato comercial de hojas de palma.

En el caso de las muestras de platos comerciales de hojas de palma, presentan curvas de tensión-deformación con pendientes similares, a excepción de la muestra P5 que presenta una mayor desviación con respecto al resto.

Al comenzar el ensayo, hay un periodo de tiempo y carga en el que a pesar de que la tensión aumenta, las muestras no se deforman. Posteriormente, al llegar a un valor crítico de tensión comienza dicha deformación.

Tabla 7.5. Resultados de ensayo a tracción para muestras de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| P1 | 16,74 | 0,60 | 21,86 |
| P2 | 15,43 | 0,78 | 19,47 |
| P3 | 19,58 | 0,77 | 22,98 |
| P4 | 17,99 | 1,27 | 15,97 |
| P5 | 10,71 | 1,58 | 9,40 |
| Media | 16,09 | 1,00 | 17,94 |
| Desviación típica | 3,38 | 0,41 | 5,48 |
| Intervalo de confianza (95%) | 11,9 < \bar{x} < 20,28 | 0,49 < \bar{x} < 1,51 | 11,14 < \bar{x} < 24,74 |

Resultados y discusión

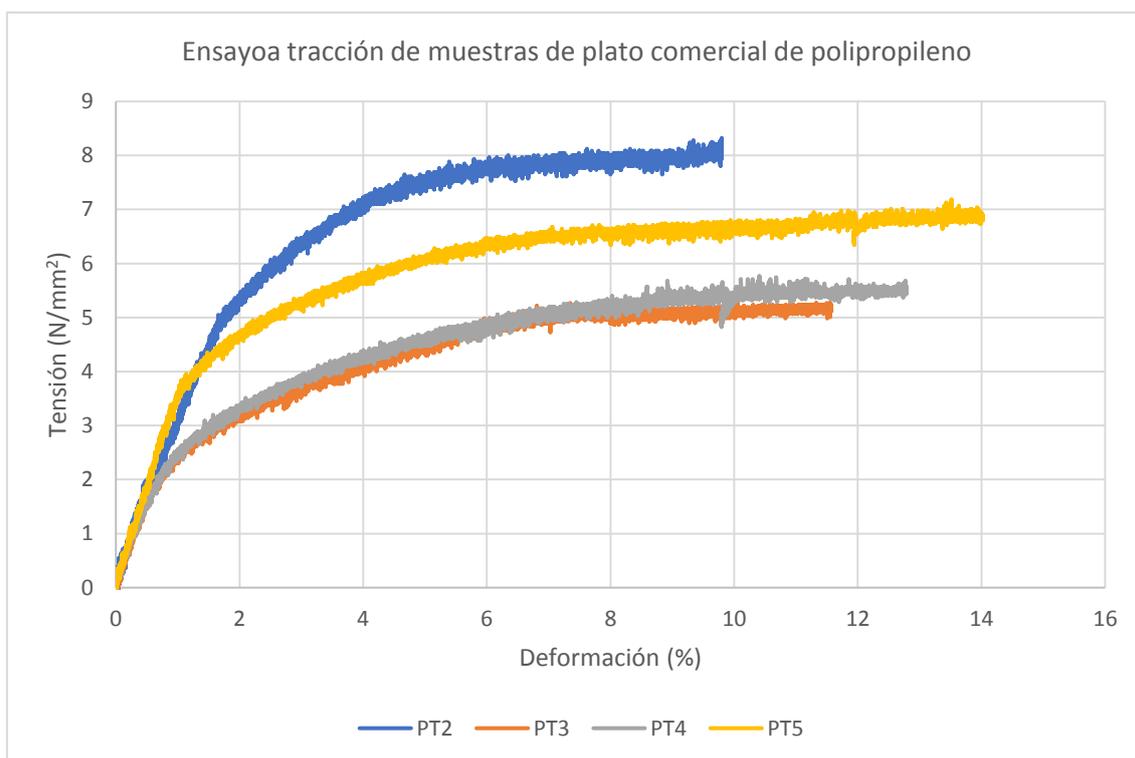


Figura 7.6. Curvas tensión-deformación para muestras de plato comercial de polipropileno.

En cuanto a los resultados obtenidos para las muestras de platos comerciales de polipropileno, las curvas de tensión-deformación presentan pendientes y formas muy similares. En esta ocasión, las diferencias en los valores de resistencia a tracción y de elongación varían debido a que los ensayos fueron interrumpidos en periodos de tiempo diferentes.

Tabla 7.6. Resultados de ensayo a tracción para muestras de plato comercial de polipropileno.

| Muestras de plato comercial de polipropileno | | | |
|--|---|---|---|
| Identificación | Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| | N/mm ² | % | N/mm ² |
| PT2 | 8,32 | 9,80 | 2,67 |
| PT3 | 5,38 | 15,29 | 2,56 |
| PT4 | 5,88 | 17,76 | 2,59 |
| PT5 | 7,4 | 23,54 | 3,62 |
| Media | 6,75 | 16,60 | 2,86 |
| Desviación típica | 1,36 | 5,70 | 0,51 |
| Intervalo de confianza (95%) | 5,07 < \bar{x} < 8,43 | 9,52 < \bar{x} < 233,68 | 2,23 < \bar{x} < 3,49 |

A continuación, la tabla 7.7 muestra la media aritmética de los resultados obtenidos de resistencia a la tracción y de elongación para los diferentes materiales fabricados y comerciales.

Tabla 7.7. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para los distintos materiales.

| Material | Resistencia a tracción | Elongación |
|---|------------------------|------------|
| | N/mm ² | % |
| 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | 10,31 | 2,69 |
| 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | 10,33 | 2,36 |
| 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | 8,82 | 1,33 |
| 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | 8,17 | 2,98 |
| Platos comerciales de hojas de palma | 16,09 | 1,00 |
| Platos comerciales de polipropileno | 6,75 | 16,60 |

Teniendo en cuenta estos resultados se puede observar como las muestras de platos comerciales de hojas de palma son los que presentan una mayor resistencia a tracción, seguidos de las muestras fabricadas con cuatro capas de badana.

En relación con las muestras fabricadas con badana, no presentan grandes diferencias al emplear diferentes proporciones de almidón. En cambio, si hay una ligera diferencia en la resistencia a tracción al utilizar cuatro o cinco capas de material vegetal. Esto puede ser debido a que el material es menos compacto a mayor cantidad de capas. De esta manera, se producen más roturas de las fibras intermedias y una mayor separación de las capas que conforman el material compuesto.

Los materiales fabricados con badana presentan una elongación mayor que los de palma debido a que son materiales mucho más fibrosos y menos homogéneos. De esta manera, mientras algunas fibras se rompen, otras permiten que el material continúe con la deformación.

Finalmente, las muestras de platos comerciales de polipropileno presentan una resistencia a tracción menor y una elongación mucho mayor, a determinados valores de tensión pasan a tener un comportamiento plástico.

7.2. Resultados ensayos de flexión

En este apartado se muestran los resultados de los ensayos de flexión. En primer lugar, se presentan los valores obtenidos para cada tipo de muestra, dependiendo de su composición. Posteriormente, se realiza una comparación entre los diferentes materiales compuestos.

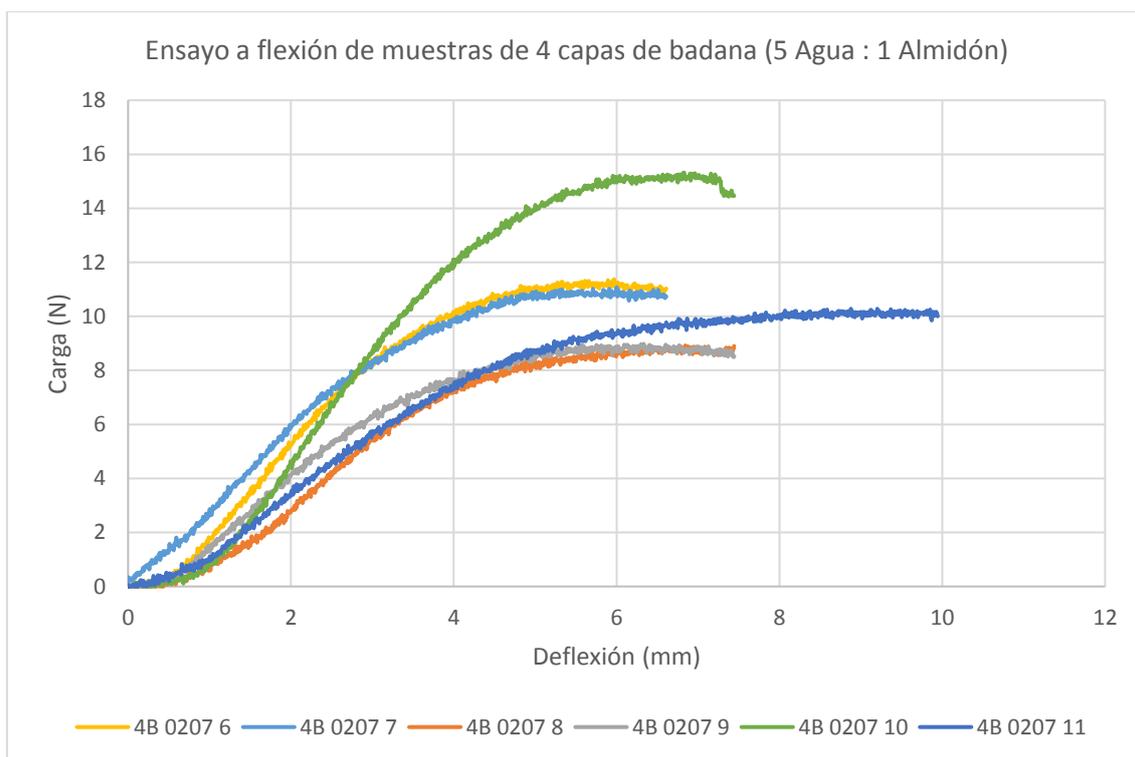


Figura 7.7. Curvas tensión-deflexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

Al analizar los valores obtenidos del ensayo a flexión de las muestras de 4 capas de badana y una proporción de agua/almidón de 5:1 se pueden observar variaciones entre los distintos resultados.

La muestra 4B 0207 11 presenta grandes diferencias en sus valores del módulo en flexión y de la deformación de flexión respecto al resto de probetas ensayadas. Esto puede ser debido a la disposición y a la rotura de las fibras intermedias de dicha muestra.

De la misma forma, la muestra 4B 0207 10 también presenta ciertas variaciones con respecto a las demás probetas con relación a los valores de carga máxima y resistencia a la flexión.

Las demás muestras ensayadas a flexión de este material compuesto presentan valores más o menos cercanos de sus diferentes parámetros.

Tabla 7.8. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | | |
|--|--|---|---|--|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 4B 0207 6 | 11,38 | 2,823 | 3,90 | 129,19 |
| 4B 0207 7 | 11,08 | 4,746 | 3,09 | 258,83 |
| 4B 0207 8 | 8,92 | 2,439 | 4,32 | 111,35 |
| 4B 0207 9 | 8,98 | 2,765 | 3,73 | 119,66 |
| 4B 0207 10 | 15,33 | 6,370 | 3,50 | 332,58 |
| 4B 0207 11 | 10,28 | 1,98 | 6,70 | 55,98 |
| Media | 11,00 | 3,521 | 4,21 | 167,93 |
| Desviación típica | 2,36 | 1,687 | 1,29 | 104,82 |
| Intervalo de confianza (95%) | $8,52 < \bar{x} < 13,48$ | $1,751 < \bar{x} < 5,291$ | $2,86 < \bar{x} < 5,56$ | $57,93 < \bar{x} < 277,93$ |

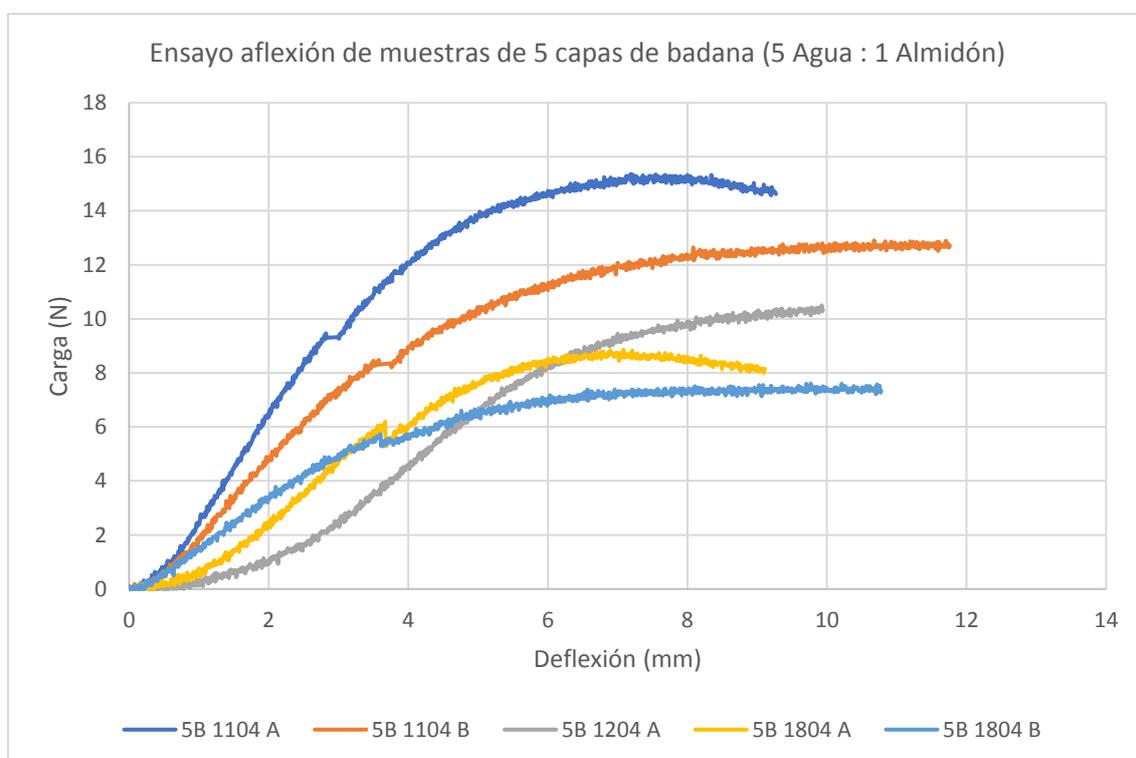


Figura 7.8. Curvas tensión-deflexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

En el caso de las muestras de 5 capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:1 ensayadas a flexión, presentan valores más o menos cercanos a excepción de la muestra 5B 1204 A. En este caso, sus parámetros de resistencia a la flexión, deformación de flexión y módulo de flexión se encuentran fuera del intervalo de confianza de probabilidad del 95%. Estos resultados pueden ser debido a la rotura de las fibras que componen la badana o a la separación entre las capas del material.

Resultados y discusión

Tabla 7.9. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 1 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | | | | |
|--|--|---|--|---|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 5B 1104 A | 15,36 | 2,132 | 6,65 | 48,18 |
| 5B 1104 B | 12,91 | 2,057 | 9,65 | 48,39 |
| 5B 1204 A | 10,50 | 0,769 | 19,02 | 13,16 |
| 5B 1804 A | 8,86 | 2,033 | 4,76 | 73,07 |
| 5B 1804 B | 7,61 | 1,553 | 6,94 | 52,38 |
| Media | 11,05 | 1,709 | 9,40 | 47,04 |
| Desviación típica | 3,12 | 0,573 | 5,65 | 21,55 |
| Intervalo de confianza (95%) | $7,17 < \bar{x} < 14,93$ | $0,998 < \bar{x} < 2,420$ | $2,38 < \bar{x} < 16,42$ | $20,29 < \bar{x} < 73,79$ |

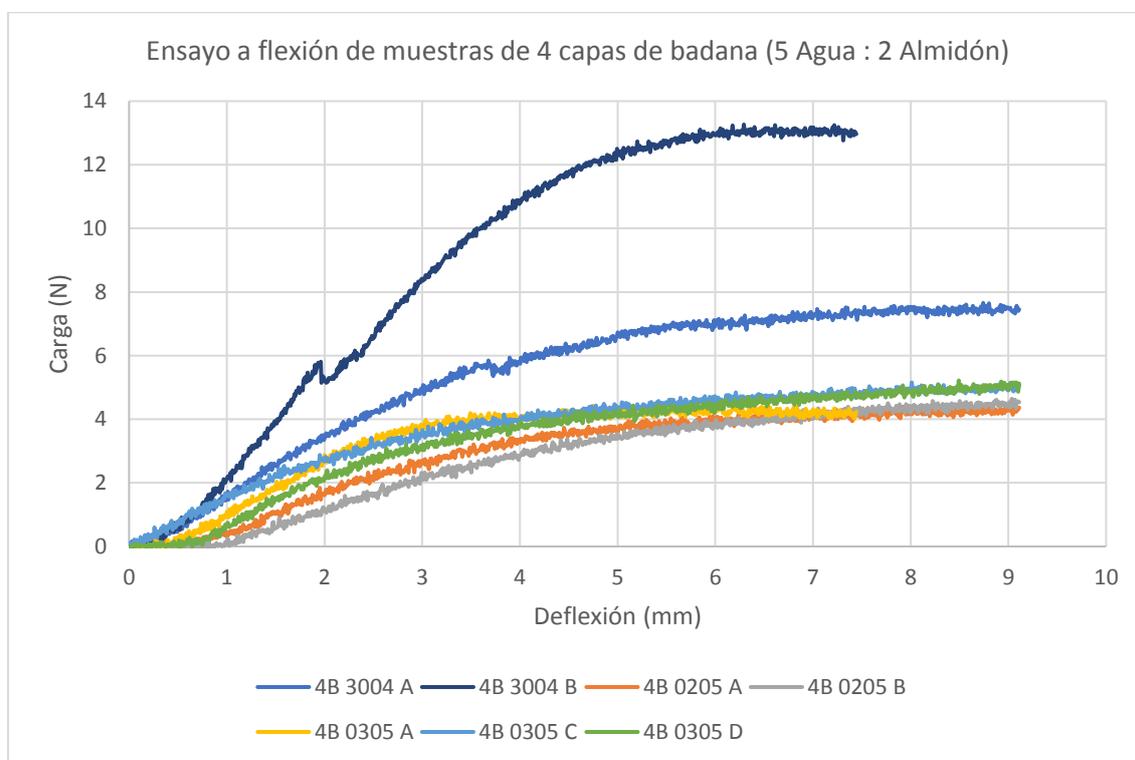


Figura 7.9. Curvas tensión-deflexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

En el ensayo a flexión de las muestras de 4 capas de badana y una proporción de agua/almidón de 5:2, todas las muestras presentan un comportamiento muy similar a excepción de las muestras 4B 3004 A y 4B 3004 B. Esto puede ser debido a alguna variación durante el proceso de fabricación ya que ambas probetas fueron preparadas en la misma fecha y los valores de sus parámetros son más cercanos.

Teniendo esto en cuenta y debido al número de muestras fabricadas de este material, el cálculo de la media aritmética, la desviación típica y el intervalo de confianza se realizará sin tomar los valores correspondientes a ambas probetas. De esta forma se pretende obtener resultados más representativos de propiedades mecánicas de este tipo de material.

Tabla 7.10. Resultados de ensayo a flexión para las muestras 4B 3004 A y 4B 3004 B. 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | | |
|--|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 4B 3004 A | 7,66 | 4,618 | 4,12 | 249,03 |
| 4B 3004 B | 13,27 | 4,355 | 4,02 | 184,76 |

Los resultados obtenidos para el resto de las muestras se encuentran dentro o muy cerca del intervalo de confianza de probabilidad del 95% que se ha calculado.

Tabla 7.11. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 4 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | | |
|--|---|---|--|---|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 4B 0205 A | 4,41 | 1,600 | 11,68 | 76,29 |
| 4B 0205 B | 4,64 | 2,211 | 7,85 | 85,45 |
| 4B 0305 A | 4,47 | 1,301 | 4,34 | 71,92 |
| 4B 0305 C | 5,16 | 1,345 | 14,65 | 50,38 |
| 4B 0305 D | 5,22 | 1,083 | 11,25 | 43,47 |
| Media | 4,78 | 1,508 | 9,95 | 65,50 |
| Desviación típica | 0,38 | 0,434 | 3,96 | 17,82 |
| Intervalo de confianza (95%) | 4,30 < \bar{x} < 5,26 | 0,969 < \bar{x} < 2,047 | 5,04 < \bar{x} < 14,86 | 43,38 < \bar{x} < 87,62 |

Resultados y discusión

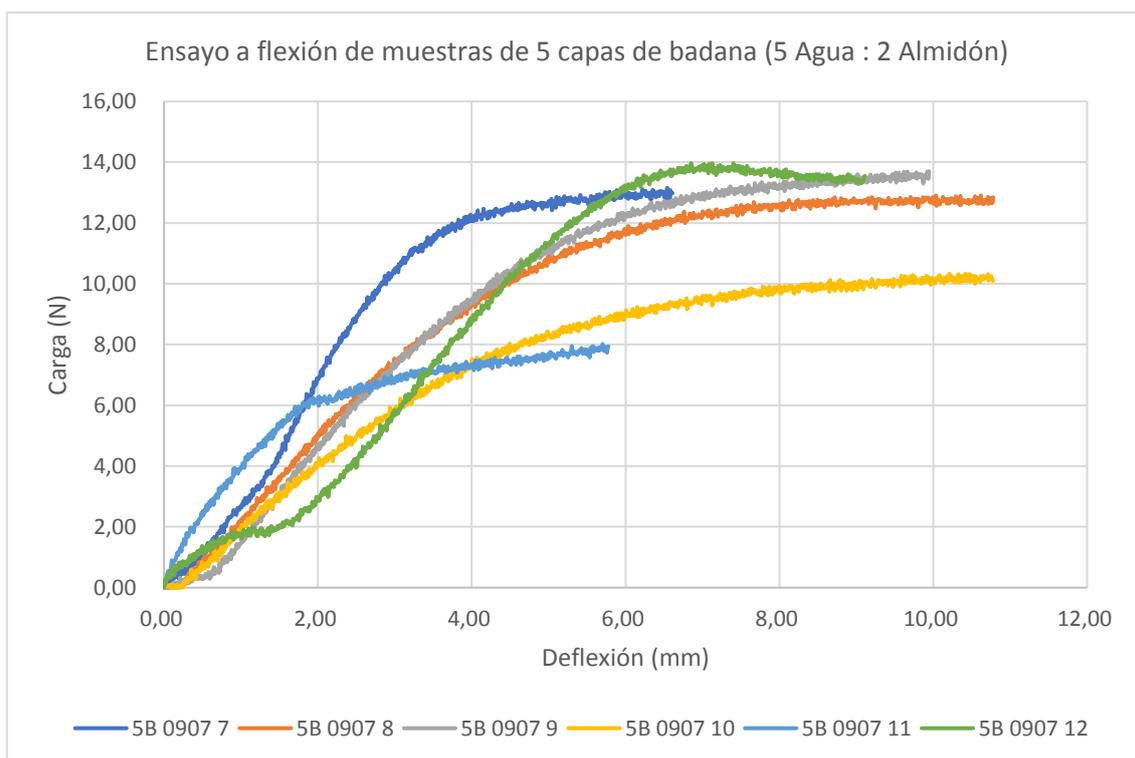


Figura 7.10. Curvas tensión-deflexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

Los resultados obtenidos tras los ensayos a flexión de las muestras de 5 capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:2 presentan algunas variaciones para los diferentes parámetros, quedando en algunos casos fuera de los intervalos de confianza de probabilidad del 95%.

Tabla 7.12. Resultados de ensayo a flexión para muestras de 5 capas de badana y 5 Agua : 2 Almidón.

| Muestras de 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | | | | |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 5B 0907 7 | 13,16 | 1,211 | 20,83 | 42,68 |
| 5B 0907 8 | 12,91 | 1,254 | 16,41 | 25,51 |
| 5B 0907 9 | 13,70 | 1,039 | 24,18 | 19,43 |
| 5B 0907 10 | 10,33 | 1,199 | 18,73 | 25,00 |
| 5B 0907 11 | 8,02 | 0,597 | 19,98 | 16,98 |
| 5B 0907 12 | 13,97 | 0,729 | 28,58 | 10,82 |
| Media | 12,02 | 1,005 | 21,45 | 23,40 |
| Desviación típica | 2,35 | 0,278 | 4,33 | 10,90 |
| Intervalo de confianza (95%) | 9,56 < \bar{x} < 14,48 | 0,713 < \bar{x} < 1,297 | 16,91 < \bar{x} < 25,99 | 11,96 < \bar{x} < 34,84 |

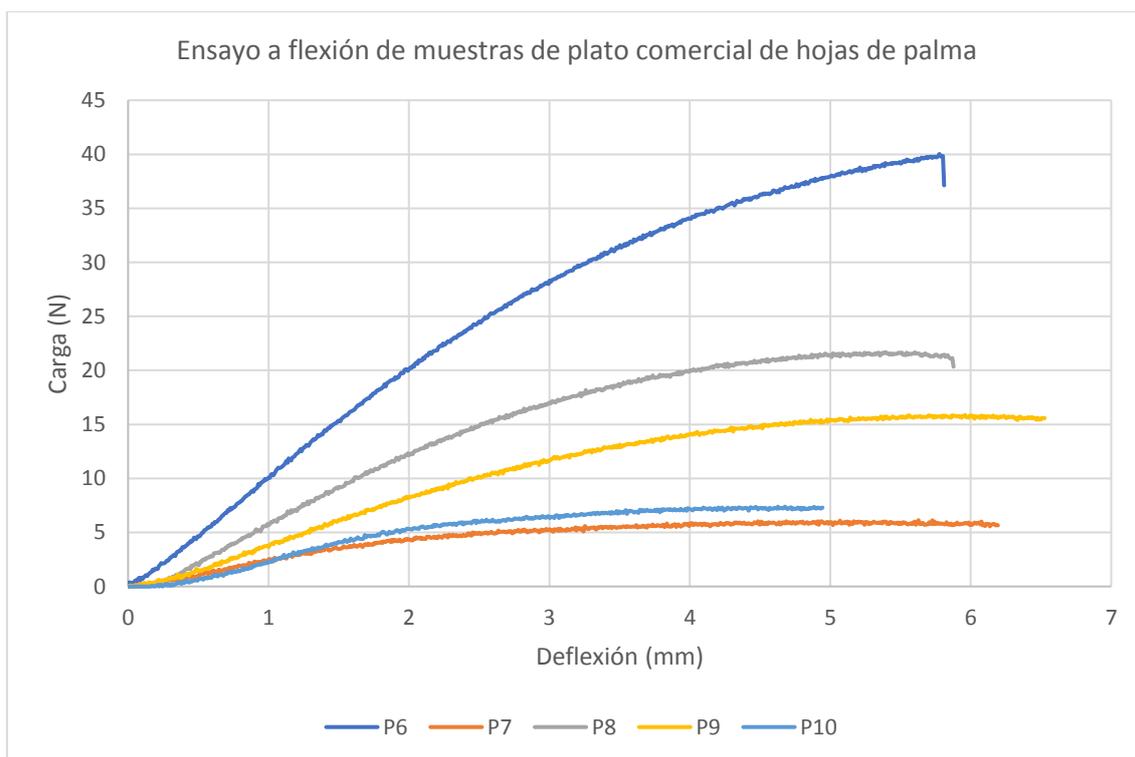


Figura 7.11. Curvas tensión-deflexión para muestras de plato comercial de hojas de palma.

Los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las muestras de platos comerciales fabricados con hojas de palma son bastante variables. Sin embargo, los valores de las muestras P6 y P10 son más semejantes en comparación con el resto de las probetas. Esto puede ser debido a que las muestras P6 y P10 fueron obtenidas de un mismo plato comercial mientras que las probetas P7, P8 y P9 pertenecen a otro recipiente. Debido a estas diferencias en los resultados, la desviación típica calculada para los distintos parámetros es bastante elevada, sobre todo la correspondiente al módulo en flexión. De esta forma, se obtiene un intervalo de confianza poco representativo.

Tabla 7.13. Resultados de ensayo a flexión para muestras de plato comercial de hojas de palma.

| Muestras de plato comercial de hojas de palma | | | | |
|---|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Identificación | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| P6 | 40,03 | 32,558 | 2,08 | 2363,11 |
| P7 | 6,14 | 7,157 | 1,78 | 926,53 |
| P8 | 21,69 | 16,746 | 2,00 | 1460,96 |
| P9 | 15,88 | 20,332 | 1,73 | 1994,28 |
| P10 | 7,39 | 4,798 | 1,93 | 560,30 |
| Media | 18,23 | 16,318 | 1,90 | 1461,04 |
| Desviación típica | 13,75 | 11,143 | 0,15 | 740,79 |

| | | | | |
|-------------------------------------|---|--|---|--|
| Intervalo de confianza (95%) | $1,16 < \bar{x} < 35,3$ | $2,482 < \bar{x} < 30,154$ | $1,72 < \bar{x} < 2,08$ | $541,22 < \bar{x} < 2380,86$ |
|-------------------------------------|---|--|---|--|

A continuación, la tabla 7.14 muestra la media aritmética de los resultados obtenidos para la resistencia a la carga máxima, la resistencia a la flexión, la deformación de flexión y el módulo en flexión para las probetas de los diferentes materiales compuestos fabricados y comerciales.

Tabla 7.14. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión para los distintos materiales.

| Resultados de los ensayos de flexión de los distintos materiales | | | | |
|---|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Material | Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
| | N | MPa | % | MPa |
| 4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | 11,00 | 3,521 | 4,21 | 167,93 |
| 4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | 4,78 | 1,508 | 9,95 | 65,50 |
| 5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón) | 11,05 | 1,709 | 9,40 | 47,04 |
| 5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón) | 12,02 | 1,005 | 21,45 | 23,40 |
| Platos comerciales de hojas de palma | 18,23 | 16,318 | 1,90 | 1461,04 |

Al igual que sucede en los ensayos a tracción, las diferencias entre los distintos ensayos de un mismo tipo de muestras de hojas o de badana puede ser debido a la poca homogeneidad del material o a la separación de las distintas capas que lo conforman.

Con relación a los resultados obtenidos para los materiales compuestos fabricados, los valores para la carga máxima son relativamente cercanos a excepción de las muestras de 4 capas de badana y una proporción agua/almidón, esto puede ser debido al proceso de fabricación o al origen de los materiales.

Los platos comerciales de hojas de palma presentan la mayor resistencia a la flexión y la menor deformación de flexión. Sin embargo, las muestras de 4 capas de badana y una proporción agua/almidón de 5:1 también presentan valores bastante óptimos de estos parámetros teniendo en cuenta el uso para el que van a ser destinados estos materiales.

7.3. Microscopía digital

A continuación, se procede al análisis de distintas fotografías realizadas con el microscopio digital Dino-Lite, con el fin de analizar los acabados de los distintos materiales de origen vegetal. También se estudiarán las distintas estructuras tras los ensayos de flexión y tracción.

En primer lugar, se muestran distintas fotografías de las muestras fabricadas a base de material vegetal. Se ha realizado una fotografía de las superficies superior e inferior y otra de la zona transversal.

En el caso de las muestras conformados por badana, figuras 7.12, 7.13 y 7.14, las superficies superior e inferior muestran cierto brillo debido al adhesivo de almidón que se ha podido quedar impregnado en ellas durante el proceso de fabricación. En la fotografía de la sección transversal se puede observar que se trata de un material muy fibroso y poco

homogéneo. Además, también se pueden apreciar las distintas capas de badana que lo conforman.



Figura 7.12. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).

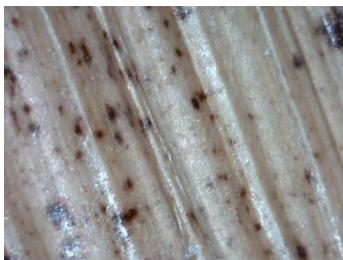


Figura 7.13. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).



Figura 7.14. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).

Las muestras fabricadas con hojas de platanera, figuras 7.15, 7.16 y 7.17, también muestran en su superficie cierto brillo debido al adhesivo de almidón. En cambio, su sección transversal es más compacta y de menor espesor, pudiéndose distinguir las capas de adhesivo, de color más blanquecino, y las capas de material vegetal.

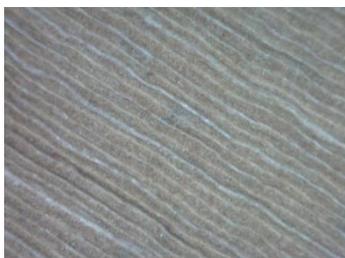


Figura 7.15. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).



Figura 7.16. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).



Figura 7.17. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).

Resultados y discusión

Las muestras de platos comerciales de hojas de palma, figuras 7.18, 7.19 y 7.20, también muestran ese brillo característico en la superficie. En cuanto a su superficie transversal, esta es más homogénea y compacta debido a su método de fabricación a nivel industrial.



Figura 7.18. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia).



Figura 7.19. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia).



Figura 7.20. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma antes de ser ensayada (Fuente: propia).

A continuación, se muestran distintas fotografías realizadas con el microscopio digital de las muestras las superficies de una muestra de badana ensayada a tracción, figuras 7.21, 7.22 y 7.23. El fallo más repetido en estas muestras durante dicho ensayo fue la rotura de las distintas fibras, siendo en algunos casos visibles en la superficie. Debido a este fallo, también se observa una mayor separación entre las distintas capas que conforman el material.

Cabe destacar que algunas de las muestras también llegaron a fracturarse por completo.

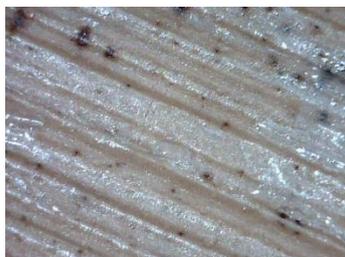


Figura 7.21. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.22. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.23. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera antes de ser ensayada (Fuente: propia).

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Algunas de las muestras fabricadas con hojas de platanera, figuras 7.24, 7.25 y 7.26, también llegaron a fracturarse, en cambio, el fallo más común en este caso tras el ensayo de tracción fue la separación de las distintas capas que forman el material, tal y como se observa a continuación.

La superficies superior e inferior de estas muestras no presentan a penas variaciones.

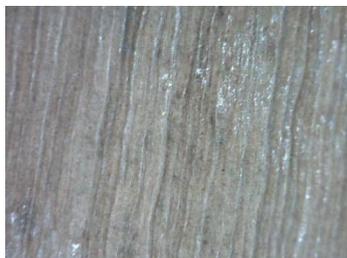


Figura 7.24. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.25. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.26. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).

En cambio, en el caso de las muestras de platos comerciales de hojas de palma, figuras 7.27, 7.28 y 7.29, la sección transversal se mantiene casi intacta. En cambio, todas las muestras de este origen se fracturaron al realizar el ensayo de tracción, tal y como se muestran en las fotografías de las superficies superior e inferior de las mismas.

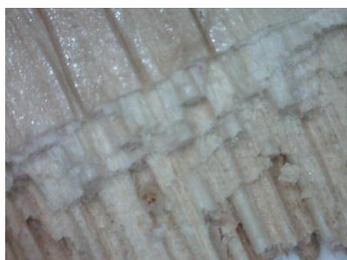


Figura 7.27. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.28. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).



Figura 7.29. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de tracción (Fuente: propia).

Resultados y discusión

Finalmente, se muestran distintas fotografías realizadas con el microscopio digital de las superficies de diferentes muestras ensayadas a flexión.

En el caso de las muestras conformadas por badana, figuras 7.30, 7.31 y 7.32, al igual que en el ensayo anterior, las diferentes capas del material tienden a separarse. En esta ocasión, se puede observar una doblez en la superficie superior de la muestra donde ha sido aplicada la carga. La superficie inferior presenta una fisura debida a la rotura de las fibras.

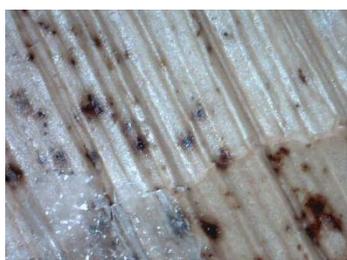


Figura 7.30. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).

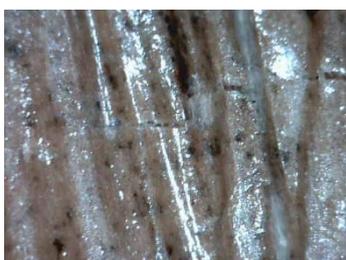


Figura 7.31. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).



Figura 7.32. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con badana de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).

En el caso de las muestras de hojas de platanera, figuras 7.33, 7.34 y 7.35, tanto la superficie superior e inferior permanecen visualmente intactas tras el ensayo de flexión. En cambio, tal y como sucede en el caso anterior, en la fotografía de la sección transversal puede observarse como las distintas capas de material vegetal tienden a separarse.



Figura 7.33. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).



Figura 7.34. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).



Figura 7.35. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra fabricada con hojas de platanera tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Finalmente, las muestras de platos comerciales de hojas de palma, figuras 7.36, 7.37 y 7.38, también presentan en su parte superior e inferior, una doblez y una fisura respectivamente, igual que sucede en el caso de las muestras conformadas por badana.

En la fotografía de la sección transversal puede observarse que la muestra tiende a romperse por la zona donde ha sido aplicada la carga. En cambio, aparentemente, las distintas capas del material continúan compactadas.



Figura 7.36. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie superior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).



Figura 7.37. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la superficie inferior de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).



Figura 7.38. Fotografía realizada con el microscopio digital Dino-Lite de la sección transversal de una muestra de platos comerciales de hojas de palma tras el ensayo de flexión (Fuente: propia).

CONFORMADO Y MODELADO DE PLATOS

8. CONFORMADO Y MODELADO DE PLATOS

8.1. Conformado de platos

En primer lugar, para la fabricación de los denominados “Ecoplatos” fue necesaria la fabricación de un molde, mostrado en la figura 8.1. Para ello el Área de Ingeniería Mecánica del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de La Laguna procedió a realizar una impresión 3D de un molde para obtener la réplica de un plato comercial. La impresión se realizó utilizando filamentos de PLA (ácido poliláctico) y un relleno del 20%, proporcionándole cierta porosidad al molde.

Dicho molde consta de una tapa y una base ensambladas mediante 4 tornillos. El conjunto ensamblado presenta una altura total de 5,3 cm, 1,3 cm pertenecen a la tapa, mientras que 4 cm corresponden a la base. Ambas partes tienen un diámetro exterior de 24 cm. Teniendo en cuenta las dimensiones del molde, el plato resultante tendrá, aproximadamente, un diámetro de 19 cm en su zona exterior y un diámetro de 16 cm en el interior. La altura del plato será de alrededor de 3 cm.

Durante todo el proceso de preparación y fabricación de los platos, se mantendrán las debidas condiciones de conservación, higiene y limpieza y se tendrán en cuenta las distintas especificaciones recogidas en el Código Alimentario Español.

En primer lugar, se procedió a la limpieza y desinfección del molde. Para ello, se lavó con una disolución de agua jabonoso y, posteriormente, se desinfectó con una disolución de lejía, siguiendo el mismo método que el utilizado para la desinfección del material vegetal. A continuación, se aclaró con abundante agua y se procedió al secado.

Para asegurar su completo secado se introdujo el molde, previamente pesado, en una estufa de laboratorio a 60 °C. y se pesó el conjunto cerrado cada 24 horas. Una vez conseguido un peso constante, el molde está completamente seco y se puede utilizar para la fabricación de los platos.



Figura 8.1. Molde (tapa y base) para conformado de platos fabricado con impresora 3D (Fuente: propia).

ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Este proceso se realizó de la misma manera que se prepararon las muestras utilizadas para la caracterización de los materiales compuestos fabricados con materiales vegetales. Se procedió a la fabricación de dos platos, uno utilizando hojas de platanera y otro badana.

En primer lugar, se deben distribuir diferentes capas de hojas o badana de platanera y adhesivo a base de almidón de patata soluble. Debido a las dimensiones del molde cada capa del material compuesto debe estar formada por fragmentos, de manera que no se puede asegurar la alineación de las fibras, pudiendo variar así las características mecánicas del material, figura 8.2.



Figura 8.2. Disposición de las distintas capas de hojas de platanera para la preparación del material compuesto y la fabricación de los platos (Fuente: propia).

En la fabricación de los platos con hojas de platanera se establecieron alrededor de 4 capas de hojas, incorporando una o dos más en la zona central del plato con el fin de proporcionarle mayor consistencia. En el caso de los platos fabricados con badana se distribuyeron menos capas de las utilizadas para las muestras ya que el molde permite un espesor máximo de 2 milímetros. Por tanto, se utilizaron 2 capas de badana y en la zona central se incorporó una tercera de la misma forma que se realizó con el plato de hojas de platanera.

Una vez obtenidas las distintas láminas de material vegetal y adhesivo a base de almidón soluble de patata, se procedió a secar las superficies con aire caliente haciendo uso de un secador, evitando así que se pegaran al molde y esto dificultase un correcto desmoldado de los platos.

A continuación, el compuesto laminar formado por hojas o badana de platanera se insertó en el molde y se colocó la tapa para darle la forma deseada. Para una mayor presión, se utilizaron cuatro tornillos de M8, arandelas y tuercas de mariposa para unir ambas partes del molde.

Conformado y modelado de platos

Finalmente, se pesó el conjunto cerrado y se insertó nuevamente en la estufa de laboratorio a 60 °C. Al igual que se realizó anteriormente, este se pesó cada 24 horas hasta conseguir un peso constante. Se debió tener especial precaución de que el conjunto estuviera completamente seco para evitar que el plato se deformase tras el desmoldado. En cambio, también fue importante no exceder el tiempo que este estuvo en el horno ya que si se seca excesivamente puede comenzar a desquebrajarse. Dicho procedimiento de secado se prolongó alrededor de cuatro días. Se considera que este tiempo es excesivo y se debe a la dificultad de secado por las grandes dimensiones que presenta el molde.

La figura 8.3 muestra el molde abierto durante el proceso de fabricación del plato conformado por materiales compuestos de hojas de platanera. La figura 8.4 presenta el molde cerrado durante el proceso de fabricación del plato formado por badana de platanera.



Figura 8.3. Proceso de conformado de plato con hojas de platanera (Fuente: propia).



Figura 8.4. Molde cerrado en el proceso de conformado de plato con badana de platanera (Fuente: propia).

Posteriormente, se procedió a abrir el molde y comprobar que el interior del plato estaba completamente seco para poder realizar el desmoldado del mismo. Este procedimiento requiere especial precaución ya que algunas partes del plato han podido quedar pegadas al molde y se pueden separar las distintas capas que conforman el material. Además, en el caso del plato fabricado con badana, el material vegetal adquiere cierto acabado quebradizo tras el secado y los bordes tienden a romperse.

Finalmente, fue necesario recortar el material vegetal sobrante y proporcionarles a dichos platos la forma deseada.

En las figuras 8.5 y 8.6 se presentan los platos finales fabricados con materiales compuestos de hojas y badana de platanera, respectivamente.



Figura 8.5. Modelo de plato conformado con hojas de platanera (Fuente: propia).



Figura 8.6. Modelo de plato conformado con badana de platanera (Fuente: propia).

Su almacenamiento se realizó de la misma manera que el de las muestras fabricadas, dentro de bolsas herméticas con una pequeña cantidad de granos de arroz para reducir la humedad y evitar que se contaminen.

8.2. Modelado 3D de plato y molde

Debido a las dificultades presentes en la fabricación y secado de los platos por las grandes dimensiones del molde, se decide diseñar un segundo modelo con medidas más reducidas. Para ello se selecciona un plato comercial de aproximadamente, 17 cm de diámetro en su zona exterior, 9 cm de diámetro en el interior y 3,3 cm de altura.

Utilizando el software SOLIDWORKS se ha procedido al diseño 3D de un molde para el conformado de los platos y un modelo final de los mismos. Se adjuntan los distintos planos en el Anexo V.

En cuanto al molde, como puede observarse en las figuras 8.7 y 8.8, está formado por dos partes, una base y una tapa de 21 cm cada una en su parte más exterior. Además, ambas pueden ensamblarse mediante 8 tornillos de M10 situados de forma simétrica en un diámetro de 20,5 cm, lo que permite ejercer una mayor presión y de forma más uniforme con respecto al molde inicial. También será necesaria la utilización de 8 tuercas de mariposa y 8 arandelas de la misma métrica. La altura de la tapa y de la base es de 4 cm y 3,5 cm respectivamente. La altura total del molde cerrado es de 45 cm.

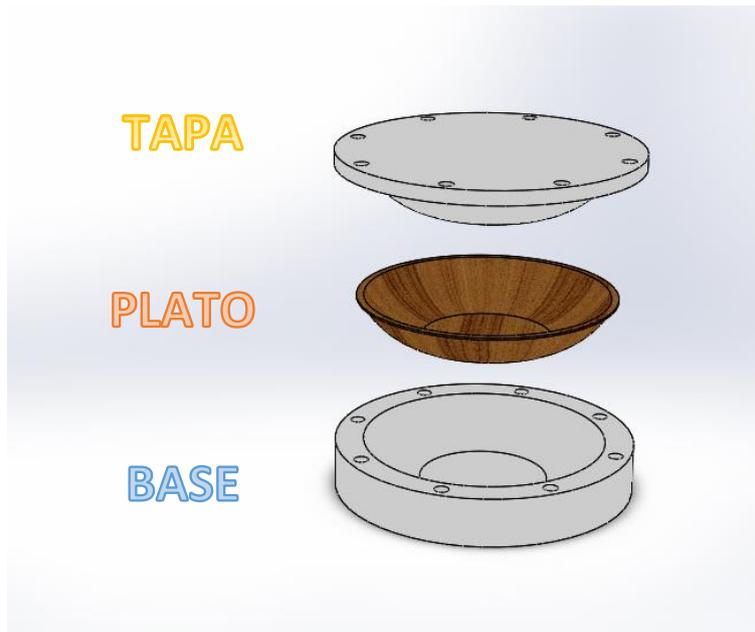


Figura 8.7. Dibujo explosionado del modelo 3D del molde y del plato (Fuente: propia).

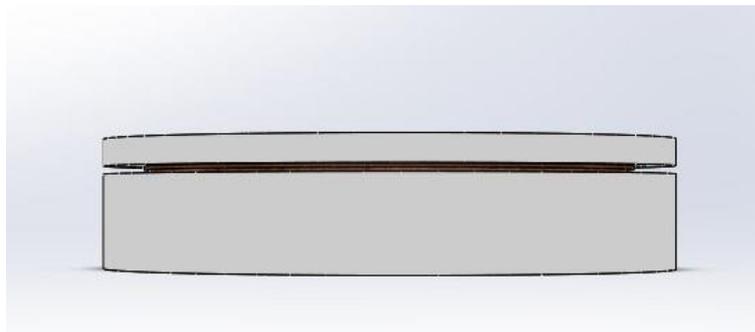


Figura 8.8. Dibujo frontal del conjunto (base, plato y molde) cerrado (Fuente: propia).

Este molde podrá ser fabricado utilizando diferentes materiales. Sin embargo, es recomendable el conformado mediante impresora 3D y con un relleno inferior al 100%, de la misma forma que el molde original, ya que la porosidad que presenta dicho acabado favorece el correcto secado de los platos en el proceso de fabricación.

Cabe destacar, que el material empleado para dicho molde también debe estar fabricado con materias primas autorizadas por el Código Alimentario Español con el fin de no contaminar los platos durante el proceso de conformado.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

Durante fabricación de materiales compuestos para uso alimenticio se deben mantener en todo momento las debidas condiciones de conservación, higiene y limpieza y cumplir con las distintas indicaciones recogidas en el Código Alimentario Español.

El proceso de fabricación de los materiales compuestos se establece en una serie de etapas consecutivas: recogida y limpieza del material vegetal, secado, corte, preparación del adhesivo y conformado de las muestras.

Este proceso de fabricación se perfecciona mejorando el secado mediante el control de la temperatura y la humedad del entorno y la presión ejercida durante el mismo, consiguiendo materiales más compactos y homogéneos.

La caracterización mecánica de los materiales compuestos fabricados con material vegetal de platanera presenta dificultades relacionadas con la variabilidad de las materias primas y la poca homogeneidad de estos.

Los resultados obtenidos indican que las propiedades mecánicas no mejoran con el aumento del número de capas de material vegetal (4 capas de badana mejor que 5 capas) ni con el aumento de la proporción de almidón en el adhesivo (proporción agua/almidón 5:1 mejor que 5:2).

Los platos fabricados con material vegetal de platanera presentan mejores propiedades mecánicas que los platos convencionales de polipropileno.

El proceso de fabricación de platos a base de hojas de platanera presenta más dificultades debido al tamaño de las muestras recogidas, un proceso de secado más lento y la necesidad de un mayor número de capas.

Los platos fabricados con badana de platanera tienen un mejor acabado que los conformados por hojas y, por tanto, posiblemente una mejor aceptación en el mercado.

10. CONCLUSIONS

During the manufacture of composite materials for food use must always be maintained the proper conditions of preservation, hygiene and cleanliness and comply with the various indications collected in the Spanish Food Code.

The manufacturing process of the composite materials is established in a series of consecutive stages: collection and cleaning of the plant material, drying, cutting, preparation of the adhesive and shaping of the samples.

This manufacturing process is perfected by improving the drying by controlling the temperature and humidity of the environment and the pressure exerted during the same, obtaining more compact and homogeneous materials.

The mechanical characterization of the composite materials made with banana plant material presents difficulties related to the variability of the raw materials and the little homogeneity of these.

The results obtained indicate that the mechanical properties do not improve with the increase in the number of layers of plant material (4 layers of “badana” are better than 5 layers) or with the increase in the proportion of starch in the adhesive (water / starch ratio 5: 1 is better than 5: 2).

The plates made with banana plant material have better mechanical properties than conventional polypropylene plates.

The manufacturing process of plates based on banana leaves presents more difficulties due to the size of the samples collected, a slower drying process and the need for a greater number of layers.

The dishes made with “badana” have a better finish than those made of leaves and, therefore, possibly a better acceptance in the market.

BIBLIOGRAFÍA

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español., vol. BOE N° 248. 1967, p. 76.
- [2] «plastic -- Britannica Academic». [En línea]. Disponible en: <https://academic-eb-com.accedys2.bbtk.ull.es/levels/collegiate/article/plastic/108561>. [Accedido: 26-jul-2018].
- [3] W. F. Smith y J. Hashemi, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Madrid: MacGraw-Hill, 2006.
- [4] F. Liesa y L. Bilurbina, *Adhesivos industriales*. Barcelona, SPAIN: Marcombo, 2009.
- [5] A. Miravete, *Materiales compuestos I*. Barcelona, SPAIN: Editorial Reverté, 2012.
- [6] S. Kabasci y C. Stevens, *Bio-Based Plastics: Materials and Applications*. New York, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2013.
- [7] J. N. BeMiller, R. L. Whistler, y R. L. Whistler, *Starch: Chemistry and Technology*. San Diego, UNITED STATES: Elsevier Science & Technology, 2005.
- [8] D. R. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Paraninfo, 1998.
- [9] B. Cosgrove, «“Throwaway Living”: When Tossing Out Everything Was All the Rage», *Time*. [En línea]. Disponible en: <http://time.com/3879873/throwaway-living-when-tossing-it-all-was-all-the-rage/>. [Accedido: 26-jul-2018].
- [10] T. Inc, *LIFE*. Time Inc, 1955.
- [11] «Break Free From Plastic Movement | #breakfreefromplastic», *Break Free From Plastic*. [En línea]. Disponible en: <https://www.breakfreefromplastic.org/>. [Accedido: 19-jul-2018].
- [12] X. Elias Castells y L. Jurado, *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [13] «NU Newsletter ฉบับที่ 8», *Issuu*. [En línea]. Disponible en: https://issuu.com/naresuanpr/docs/issuu_6_05. [Accedido: 24-jul-2018].
- [14] «NU Researchers have successfully developed Bastard Teak packaging to replace foam containers – Green&Clean NU». [En línea]. Disponible en: <http://green.nu.ac.th/?p=849>. [Accedido: 29-ago-2018].
- [15] «Taxonomy - GRIN-Global Web v 1.10.2.8». [En línea]. Disponible en: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?8177>. [Accedido: 26-jul-2018].
- [16] «Spécimen - *Butea monosperma* (Lam.) Taub.» [En línea]. Disponible en: <https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/p/item/p00626928?listIndex=1&listCount=78>. [Accedido: 28-ago-2018].
- [17] «United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service», *Butea monosperma* (Lam.) Taubert *Show All Bengal kino*. [En línea]. Disponible en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=BUMO5>. [Accedido: 26-jul-2018].

[18] «Leaf Republic», *Leaf Republic*. [En línea]. Disponible en: <https://www.leaf-republic.com/>. [Accedido: 19-jul-2018].

[19] V. Dinnerware, «Stylishly Sustainable Disposable Dinnerware», *VerTerra Dinnerware*. [En línea]. Disponible en: <https://www.verterra.com/>. [Accedido: 15-jul-2018].

[20] Greenpeace, «Plásticos», *Greenpeace España*. [En línea]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>. [Accedido: 18-mar-2018].

[21] «Más de 60 países toman medidas contra la contaminación por plásticos», *World Environment Day*, 05-jun-2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.worldenvironmentday.global/es/m%C3%A1s-de-60-pa%C3%ADses-toman-medidas-contr-la-contaminaci%C3%B3n-por-pl%C3%A1sticos>. [Accedido: 31-ago-2018].

[22] «Perfil Ambiental en España 2016 [NIPO: 013171801] - Publicaciones y documentación - Calidad y evaluación ambiental - mapama.es». [En línea]. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/perfil_ambiental_2016.aspx. [Accedido: 18-mar-2018].

[23] «National Geographic y la lucha contra el plástico», *www.nationalgeographic.com.es*, 17-may-2018. [En línea]. Disponible en: http://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contr-plastico_12710. [Accedido: 26-jul-2018].

[24] «Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Telecommunications Single Market - COM(2013) 634», *Digital Single Market*. [En línea]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-commission-european-parliament-council-european-economic-and-social-committee-a-0>. [Accedido: 26-jul-2018].

[25] «Europa declara la guerra al plástico», *www.nationalgeographic.com.es*, 30-may-2018. [En línea]. Disponible en: http://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/europa-declara-guerra-plastico_12762. [Accedido: 26-jul-2018].

[26] «European Commission - PRESS RELEASES - Press release - Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias». [En línea]. Disponible en: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_es.htm. [Accedido: 26-jul-2018].

[27] L.-F. Li y X.-J. Ge, «Origin and domestication of cultivated banana», *Ecol. Genet. Genomics*, vol. 2, pp. 1-2, feb. 2017.

[28] G. Fortul, D. Rodríguez, M. E. Sanabria, y R. Valera, «Comparación de caracteres anatómicos y morfológicos de raíces de cambur “Manzano” (Musa AAB) y “Gran Enano” (Musa AAA)», *Rev. Científica UDO Agríc.*, vol. 9, n.º 2, pp. 376-382, 2009.

[29] O. J. P. Pachón, D. G. C. Salinas, y J. P. Vorenberg, «Descripción morfoagronómica de materiales de plátano (Musa AAB, ABB) y banano (Musa AAA) cultivados en San Andrés Isla», *Acta Agronómica*, vol. 58, n.º 4, pp. 292-298, oct. 2009.

Bibliografía

- [30] N. W. Simmonds y K. Shepherd, «The taxonomy and origins of the cultivated bananas.», *J. Linn. Soc. Lond. Bot.*, vol. 55, n.º 359, pp. 302-312.
- [31] «Home » C. V. Starr Virtual Herbarium», *New York Botanical Garden*. [En línea]. Disponible en: <http://sweetgum.nybg.org/science/>. [Accedido: 05-sep-2018].
- [32] *Reglamento de Ejecución (UE) no 1084/2013 de la Comisión, de 30 de octubre de 2013, por el que se inscribe una denominación en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas [Plátano de Canarias (IGP)]*. 2013, p. 2.
- [33] «I.G.P. Plátano de Canarias». [En línea]. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/frutas/IGP_Platano_Canarias.aspx. [Accedido: 18-jul-2018].
- [34] M. P. Forster, E. Rodríguez Rodríguez, y C. Díaz Romero, «Differential characteristics in the chemical composition of bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 50, n.º 26, pp. 7586-7592, dic. 2002.
- [35] A. Hardisson, C. Rubio, A. Baez, M. Martín, R. Álvarez, y E. Díaz, «Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife», *Food Chem.*, vol. 73, n.º 2, pp. 153-161, may 2001.
- [36] A. Guarnizo-Franco, P. N. Martínez-Yepes, y M. L. Pinzón-Bedoya, «Azúcares del pseudotallo de plátano: una opción para la obtención de alcohol de segunda generación», *Bistua Rev. Fac. Cienc. Básicas*, vol. 10, n.º 1, pp. 39-51, 2012.
- [37] P. N. Leal Cruz, «Lenguaje del cultivo del plátano en Canarias», *Tebeto Anu. Arch. Histórico Insul. Fuertevent. Islas Canar.*, n.º 09, pp. 207-232, 1996.
- [38] M.-A. Arsene, K. Bilba, H. Savastano Junior, y K. Ghavami, «Treatments of non-wood plant fibres used as reinforcement in composite materials», *Mater. Res.*, vol. 16, n.º 4, pp. 903-923, ago. 2013.
- [39] «Cifras», *Plátano de Canarias*. [En línea]. Disponible en: <https://platanodecanarias.net/asprocan-pdc/cifras/>. [Accedido: 24-jul-2018].
- [40] «Aecosan - Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición». [En línea]. Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/para_el_consumidor/ampliacion/frutas_verduras.htm. [Accedido: 24-jul-2018].
- [41] A. E. de Meteorología, «Valores climatológicos normales: Tenerife Norte Aeropuerto - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línea]. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>. [Accedido: 13-jul-2018].
- [42] *UNE-EN 15593: Envases y embalajes. Gestión de la higiene en la producción de los envases para productos alimenticios. Requisitos*. AENOR, 2008.

ANEXOS

12. ANEXOS

12.1. Anexo I. Valores climatológicos de San Cristóbal de La Laguna

Tabla 12.1. Valores climatológicos normales. Tenerife Norte Aeropuerto. AEMET [41].

| Valores climatológicos normales. Tenerife Norte Aeropuerto. | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-----|----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|
| Periodo: 1981-2010 | | | | | | | | | | | | |
| Altitud: 632 m | | | | | | | | | | | | |
| Latitud: 28° 28' 39" N – Longitud: 16° 19' 46" O | | | | | | | | | | | | |
| Mes | T | TM | Tm | R | H | DR | DN | DT | DF | DH | DD | I |
| Enero | 13,1 | 16,0 | 10,2 | 80 | 76 | 7,7 | 0,0 | 0,3 | 5,0 | 0,0 | 3,2 | 150 |
| Febrero | 13,4 | 16,7 | 10,0 | 70 | 75 | 7,4 | 0,0 | 0,3 | 4,6 | 0,0 | 4,0 | 168 |
| Marzo | 14,5 | 18,2 | 10,7 | 61 | 71 | 6,8 | 0,0 | 0,6 | 5,7 | 0,0 | 4,8 | 188 |
| Abril | 14,7 | 18,5 | 10,9 | 39 | 74 | 6,2 | 0,0 | 0,1 | 6,2 | 0,0 | 2,5 | 202 |
| Mayo | 16,1 | 20,1 | 12,0 | 19 | 72 | 3,8 | 0,0 | 0,0 | 5,8 | 0,0 | 3,0 | 234 |
| Junio | 18,1 | 22,2 | 14,0 | 11 | 73 | 2,4 | 0,0 | 0,0 | 8,0 | 0,0 | 3,0 | 237 |
| Julio | 20,2 | 24,7 | 15,7 | 6 | 69 | 1,7 | 0,0 | 0,0 | 10,7 | 0,0 | 5,7 | 262 |
| Agosto | 21,2 | 25,7 | 16,6 | 5 | 69 | 1,1 | 0,0 | 0,1 | 9,5 | 0,0 | 5,6 | 269 |
| Septiembre | 20,7 | 24,9 | 16,5 | 16 | 71 | 2,8 | 0,0 | 0,1 | 5,4 | 0,0 | 3,8 | 213 |
| Octubre | 18,9 | 22,5 | 15,2 | 47 | 74 | 6,5 | 0,0 | 0,1 | 5,1 | 0,0 | 3,3 | 194 |
| Noviembre | 16,5 | 19,6 | 13,3 | 81 | 75 | 8,3 | 0,0 | 0,4 | 5,3 | 0,0 | 3,1 | 155 |
| Diciembre | 14,3 | 17,1 | 11,5 | 82 | 79 | 8,8 | 0,0 | 0,6 | 6,6 | 0,0 | 2,6 | 137 |
| Año | 16,8 | 20,5 | 13,0 | 520 | 73 | 64,0 | 0,0 | 2,8 | 77,7 | 0,0 | 44,1 | - |

T: temperatura media mensual/anual (°C),

TM: media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C),

Tm: media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C),

R: precipitación mensual/anual media (mm),

H: humedad relativa media (%),

DR: número medio mensual anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm,

DN: número medio mensual/anual de días de nieve,

DT: número medio mensual/anual de días de tormenta,

DF: número medio mensual/anual de días de niebla,

DH: número medio mensual/anual de días de helada,

DD: número medio mensual/anual de días despejados,

I: número medio mensual/anual de horas de sol,

12.2. Anexo II. Código Alimentario Español

A la hora de realizar la fabricación de dichos platos ecológicos, se debe cumplir con el Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español [1]. Además, también se tendrá en cuenta la norma UNE-EN 15593 que recoge la “Gestión de la higiene en la producción de los envases para productos alimenticios” [42].

Dicho Decreto establece que:

“Todo material que tenga contacto con los alimentos en cualquier momento de su preparación, elaboración, distribución y consumo, mantendrá las debidas condiciones de conservación, higiene y limpieza y reunirá las condiciones siguientes, además de aquellas otras que para cada caso se especifican en este Código y disposiciones complementarias:

- a) Estar fabricado con materias primas autorizadas en este Código.
- b) No transmitir a los alimentos y bebidas con que se ponga en contacto sustancias tóxicas o que pueda contaminarlos.
- c) No ceder sustancia alguna ajena a la composición normal de los alimentos y bebidas, o que aun siéndolo exceda del contenido autorizado de los mismos.
- d) No alterar las características de composición y los caracteres organolépticos de los alimentos.”

Además, entre las materias primas autorizadas se encuentran las maderas, corcho y fibras naturales, las cuales serán utilizadas a lo largo de este proyecto. En concreto, se aprueban:

- a) Maderas de distintas especies vegetales.
- b) Corcho, serrín y sus conglomerados, todos de primer uso, admitiéndose la adición del 15 por 1000 de sorbitol químicamente puro a las capsulas y tapones.
- c) Tejidos y fibras vegetales o animales simples o estabilizadas con productos inofensivos.

Con relación a los adhesivos utilizados a la hora de realizar dichos envases, el Decreto señala que:

“Los adhesivos, tales como colas, pastas y otros materiales no consignados, reunirán las condiciones generales señaladas en este capítulo.”

Finalmente, la normativa indica que se consideran materiales primas prohibidas “aquellas maderas que no sean sanas o que contengan materias extrañas y parásitos”.

En un proceso inicial, estas hojas serán secadas mientras son sometidas a cierta presión con el fin de obtener láminas lo más uniforme posibles. Posteriormente, se procederá a la unión de diferentes hojas y al moldeado de estas tal y como sea deseado.

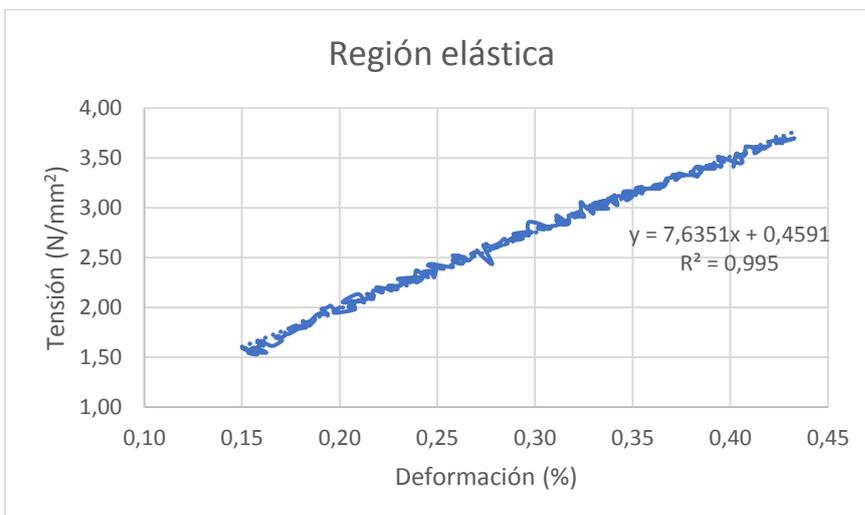
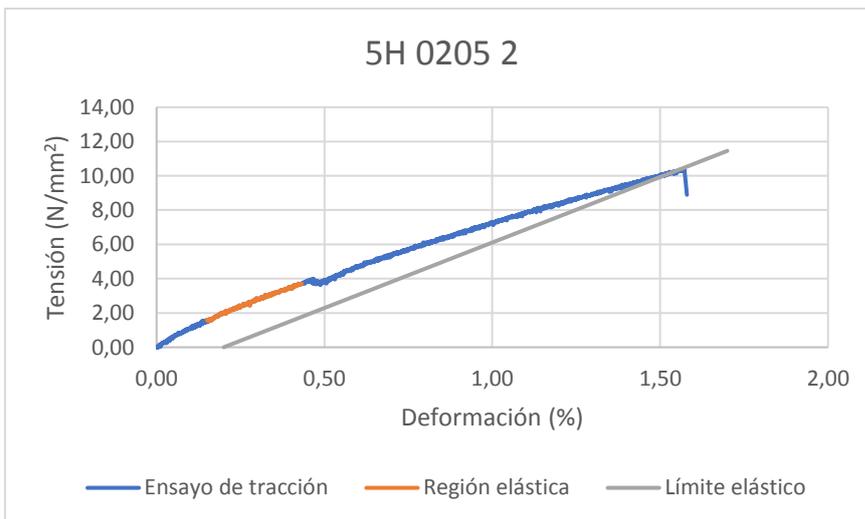
12.3. Anexo III. Determinación de las propiedades a tracción

Identificación: 5H 0205 2

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 0,96 | 19,37 | 50 | 18,60 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 10,42 | 1,57 | 7,64 |



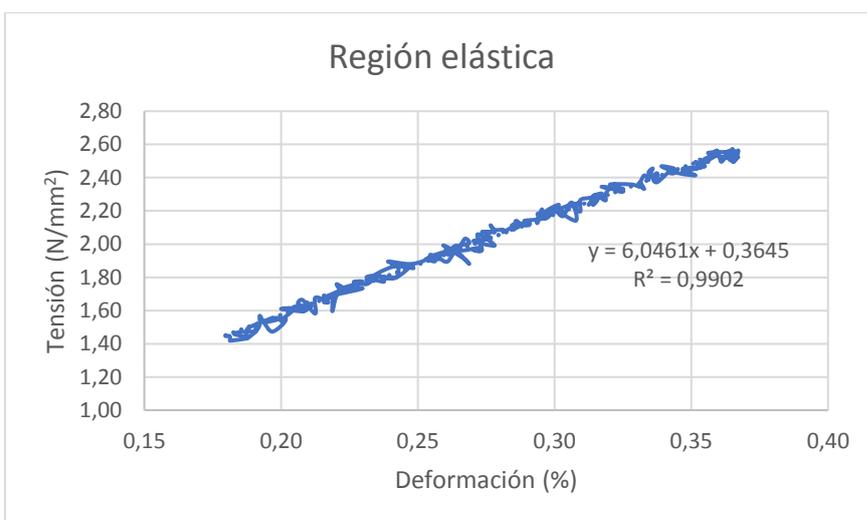
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5H 0305 2

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 1,13 | 20,28 | 50 | 22,92 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,65 | 1,50 | 6,05 |



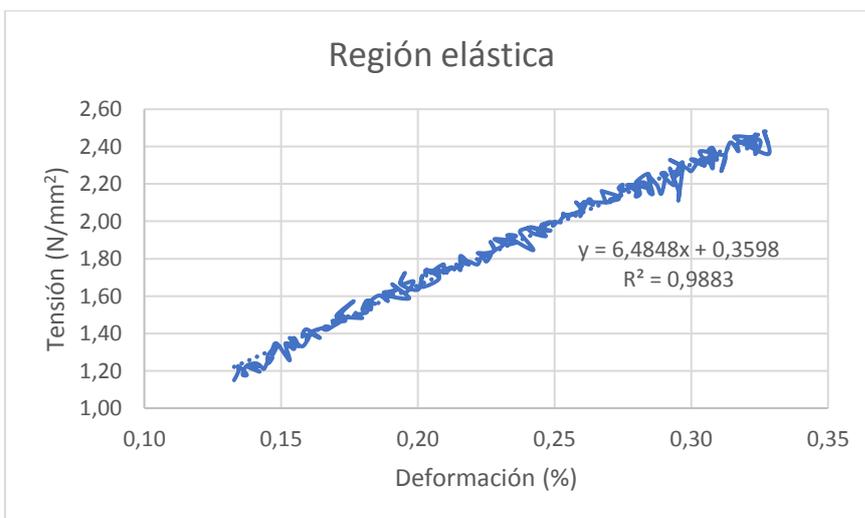
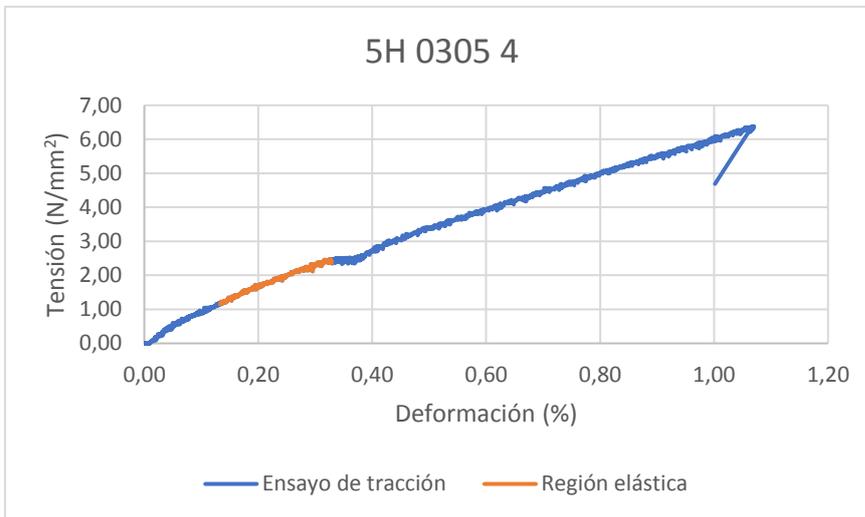
Anexo III

Identificación: 5H 0305 4

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 1,07 | 19,31 | 50 | 20,66 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 6,38 | 1,07 | 6,49 |



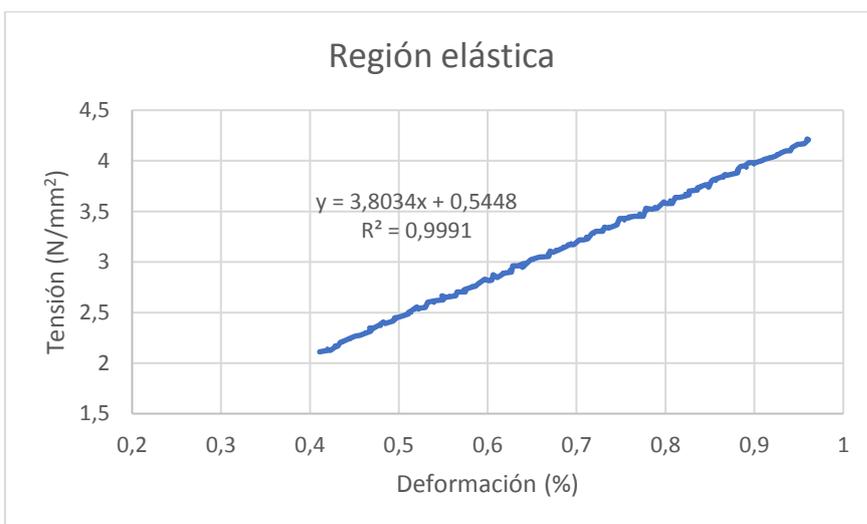
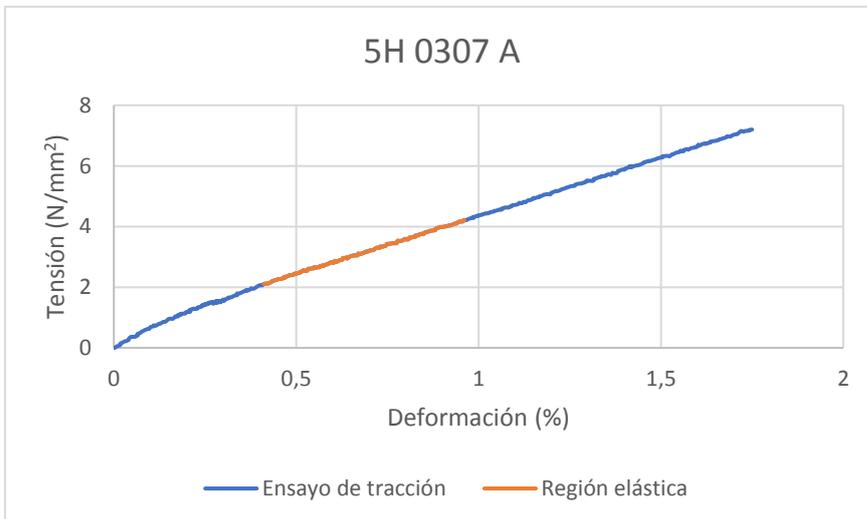
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5H 0307 A

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 1,78 | 22,53 | 50 | 40,10 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,20 | 1,75 | 3,80 |



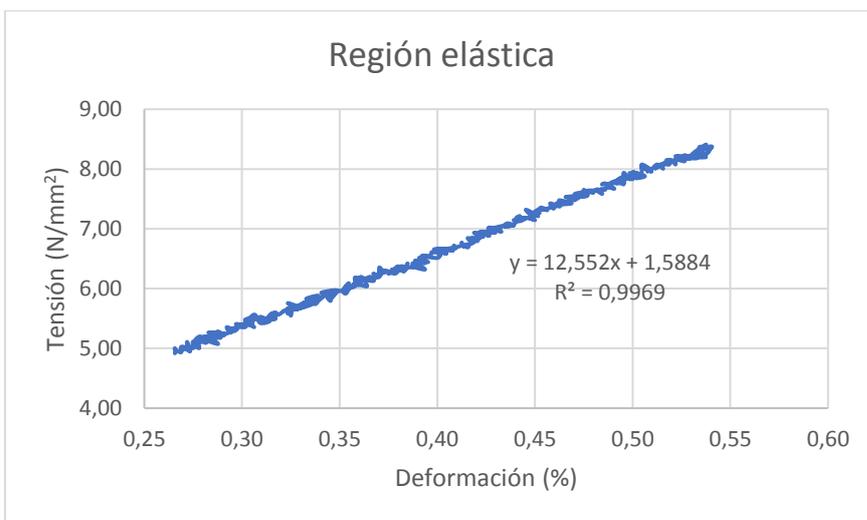
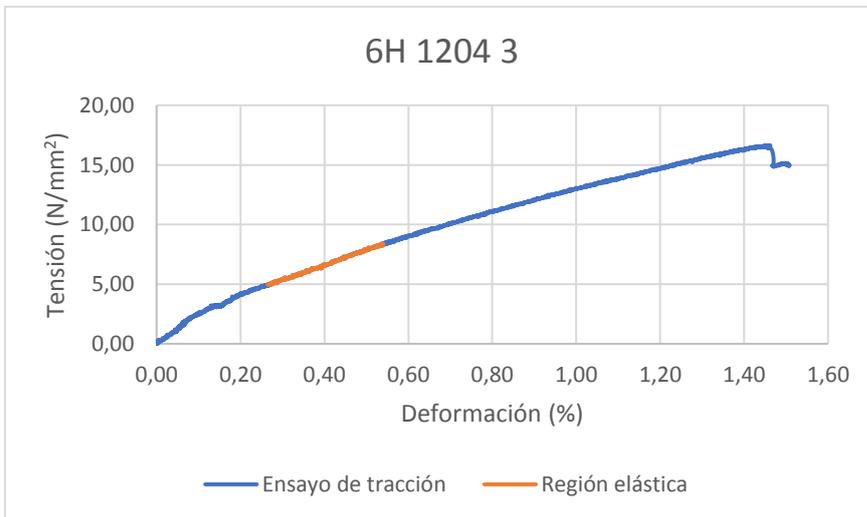
Anexo III

Identificación: 6H 1204 3

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 0,9 | 19,78 | 50 | 17,80 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 16,64 | 1,46 | 12,55 |



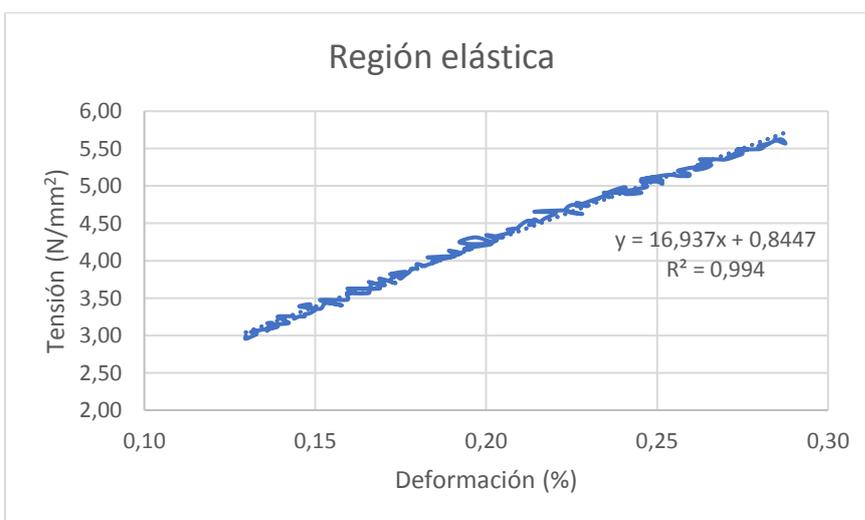
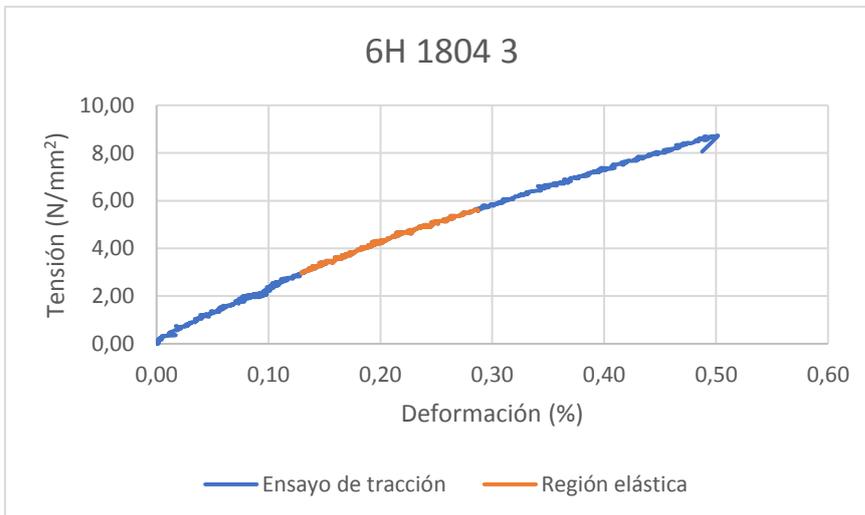
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 6H 1804 3

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 0,89 | 23,53 | 50 | 20,94 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,71 | 0,50 | 16,94 |



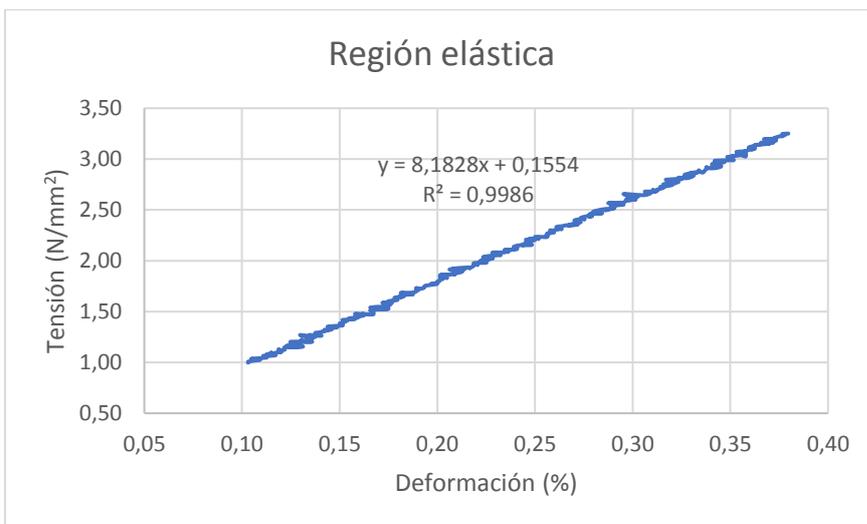
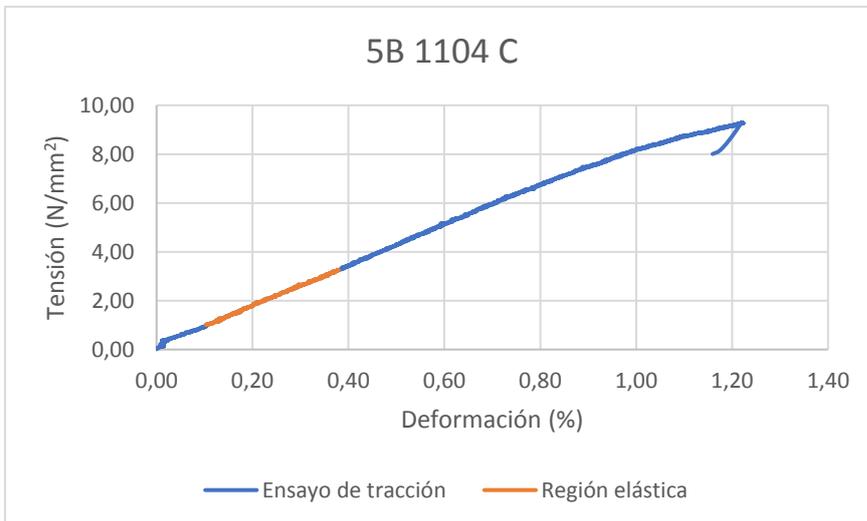
Anexo III

Identificación: 5B 1104 C

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 4,39 | 18,22 | 50 | 79,99 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 9,29 | 1,22 | 8,18 |



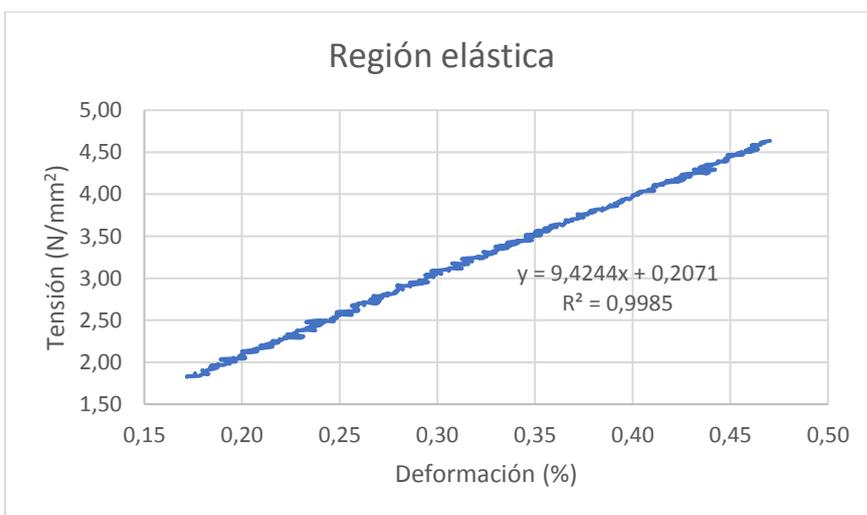
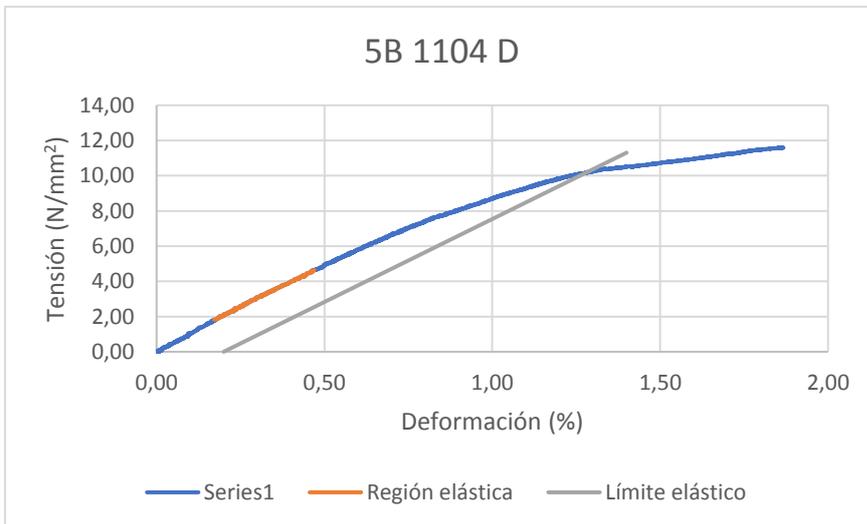
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 1104 D

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,15 | 19,11 | 50 | 60,20 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 11,60 | 1,87 | 9,42 |



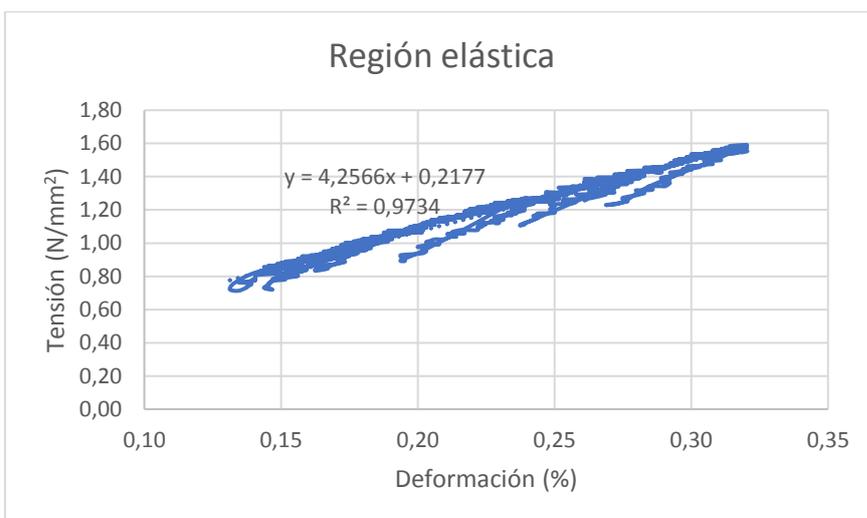
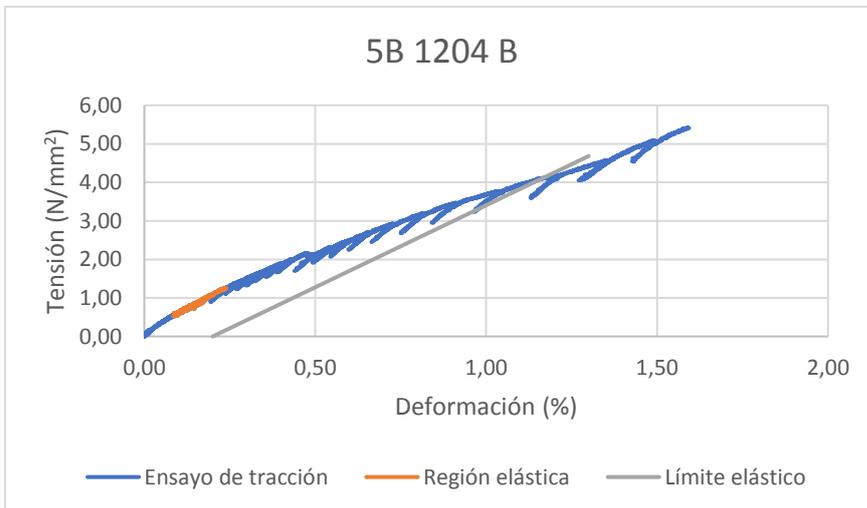
Anexo III

Identificación: 5B 1204 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 7,37 | 25,04 | 50 | 184,54 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 5,42 | 1,59 | 4,26 |



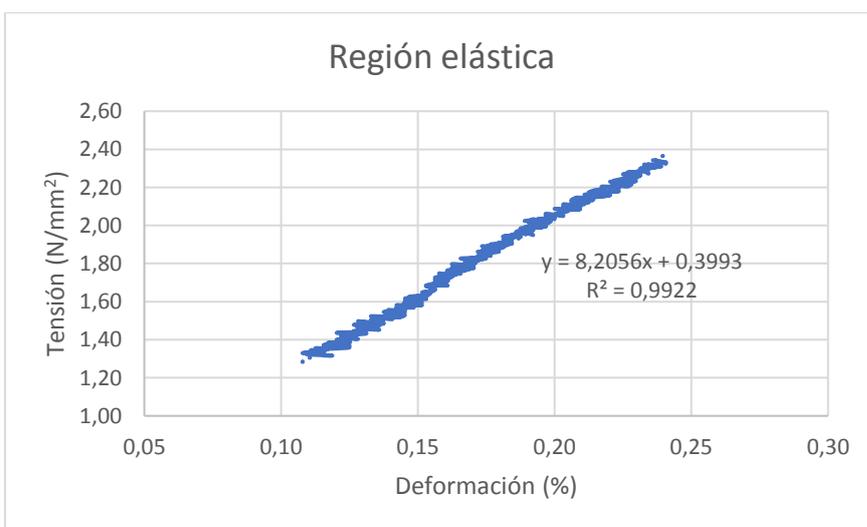
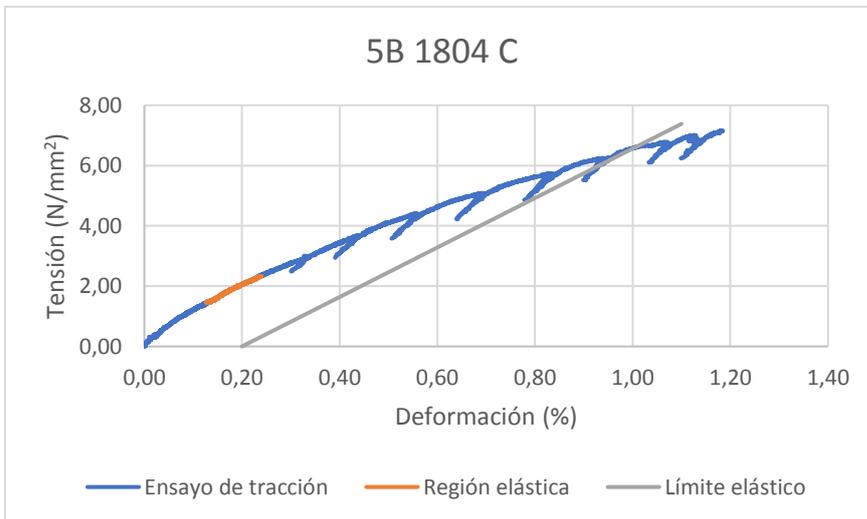
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 1804 C

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,56 | 27,2 | 50 | 96,83 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,16 | 1,18 | 8,21 |



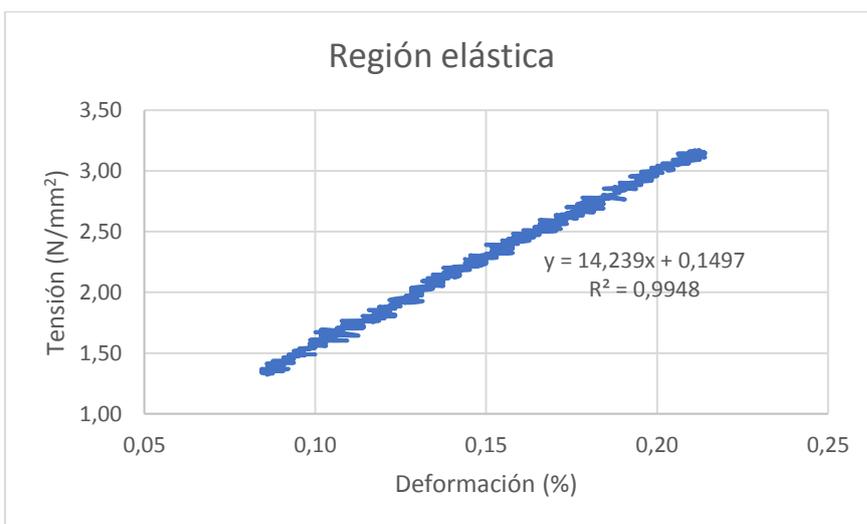
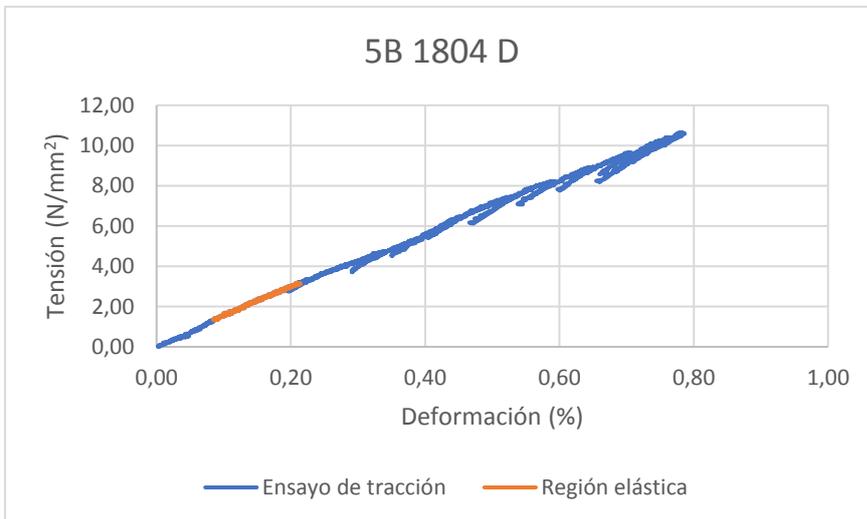
Anexo III

Identificación: 5B 1804 D

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,62 | 17,45 | 50 | 63,17 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 10,63 | 0,78 | 14,24 |



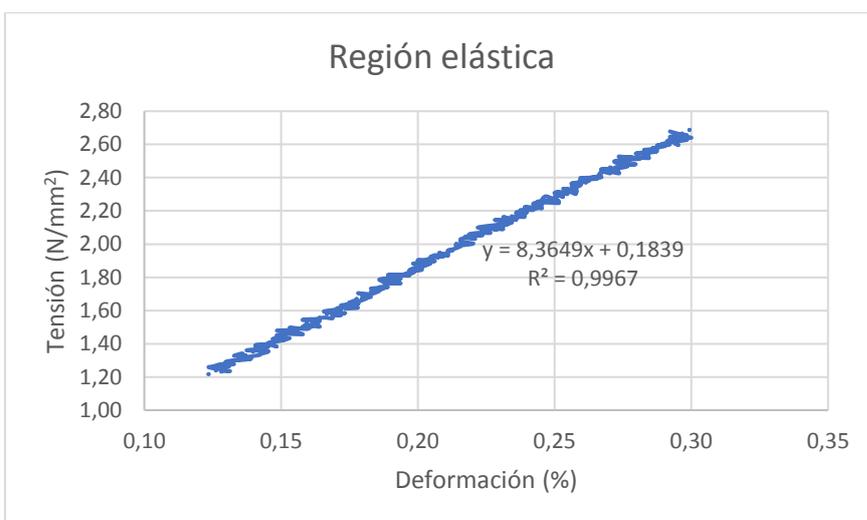
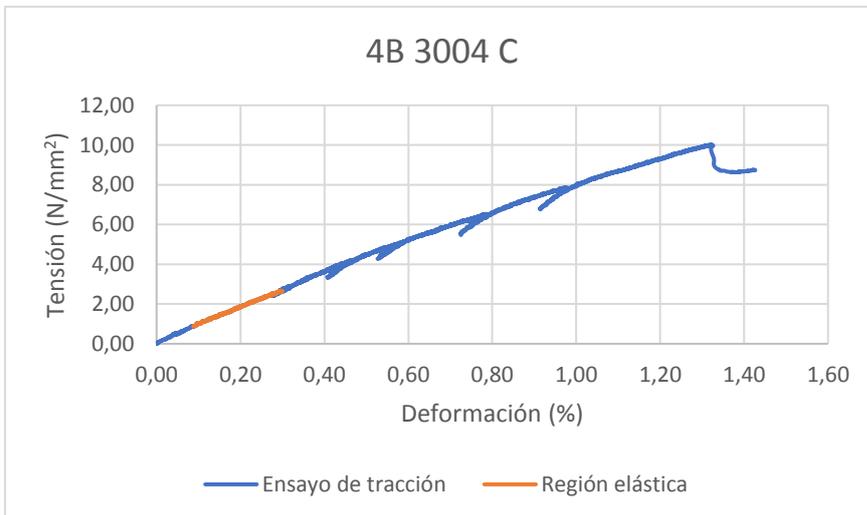
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 3004 C

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,46 | 19,66 | 50 | 68,02 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 10,46 | 1,85 | 8,37 |



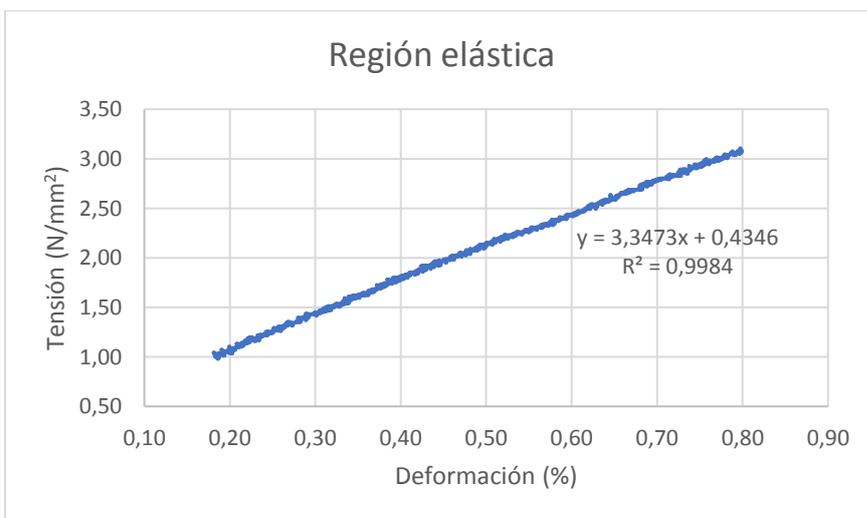
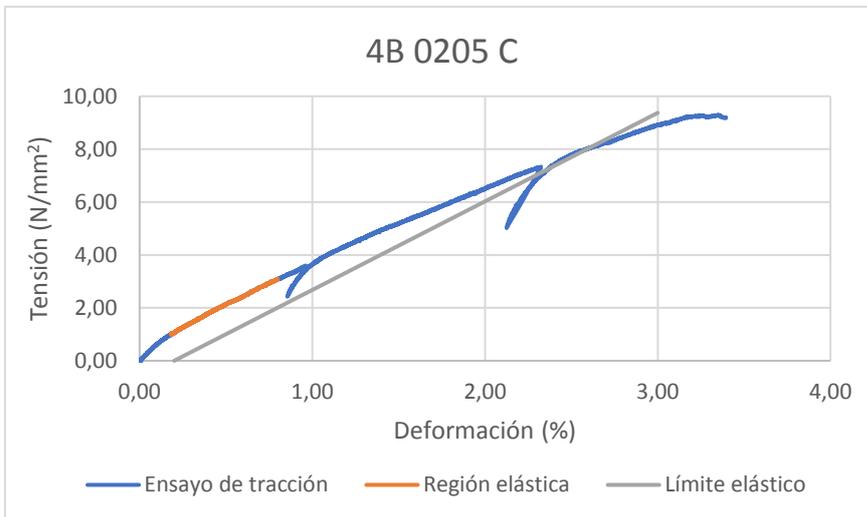
Anexo III

Identificación: 4B 0205 C

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 2,49 | 18,42 | 50 | 45,87 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 9,30 | 3,35 | 3,35 |



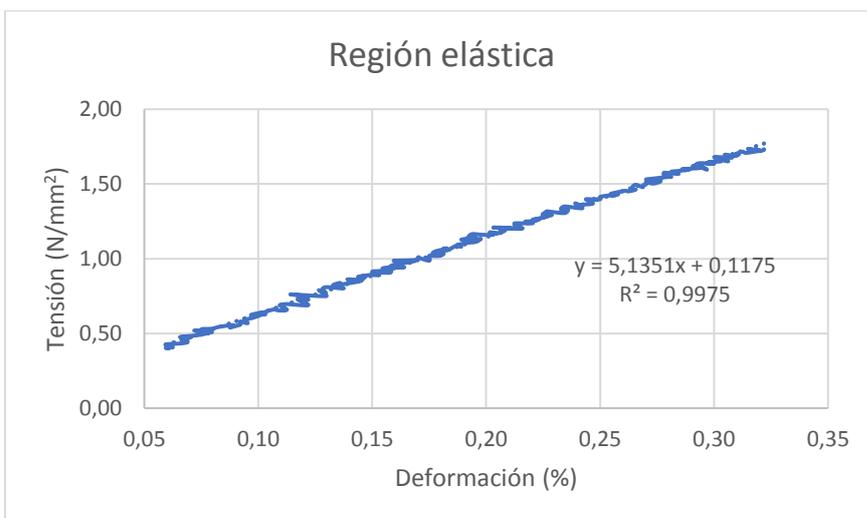
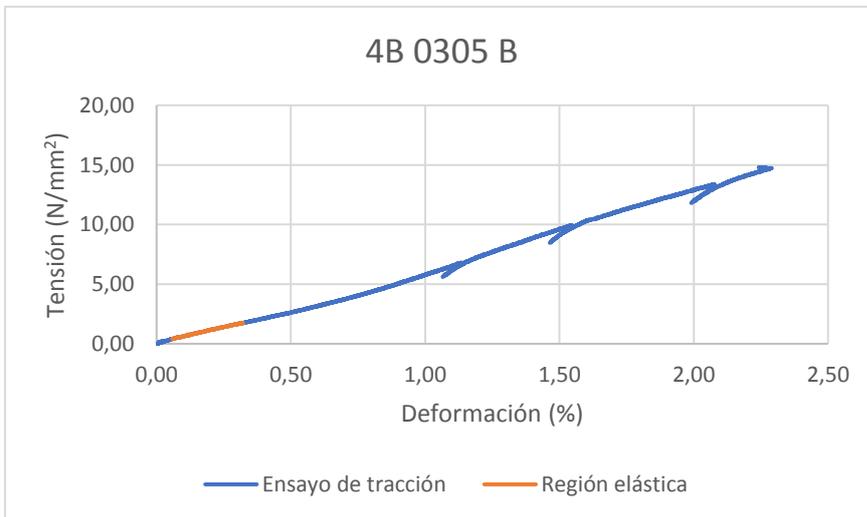
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0305 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,92 | 19,79 | 50 | 77,58 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 14,81 | 2,11 | 5,14 |



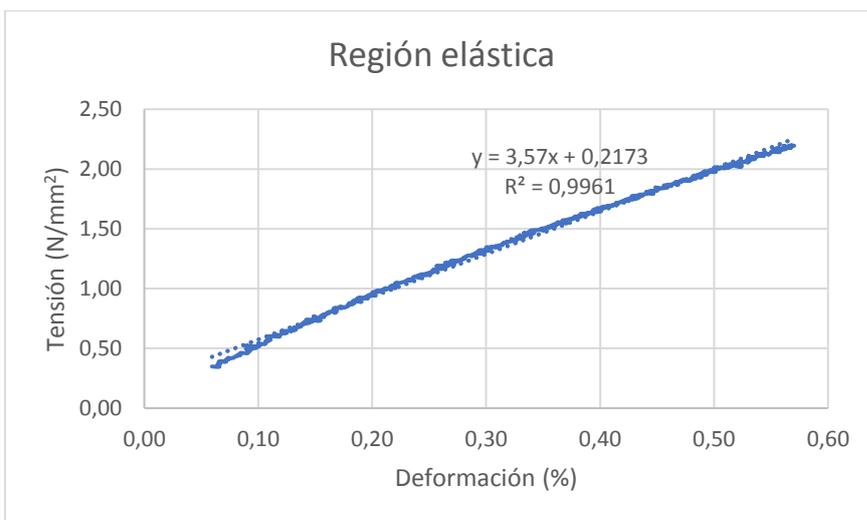
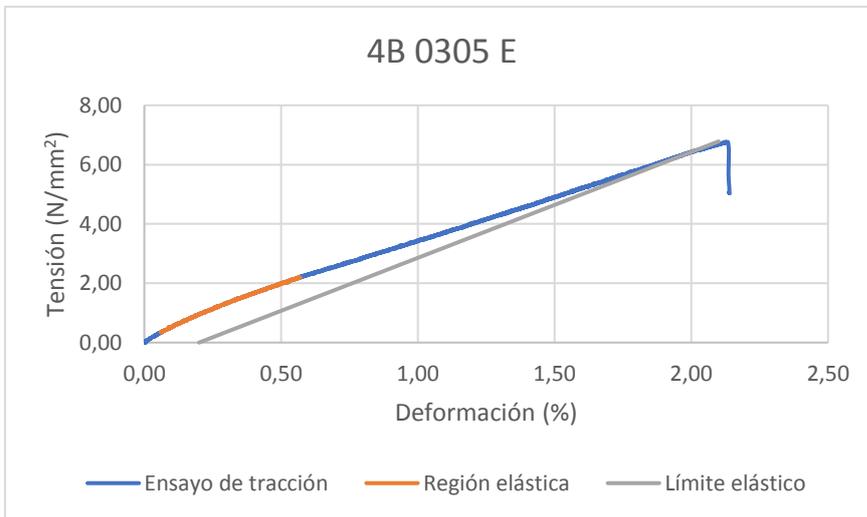
Anexo III

Identificación: 4B 0305 E

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 4,51 | 19,48 | 50 | 87,85 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 6,76 | 2,12 | 3,57 |



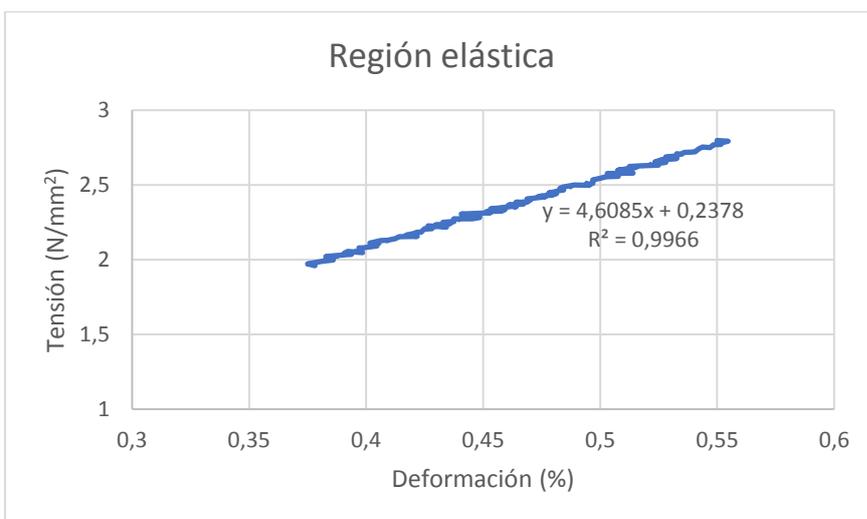
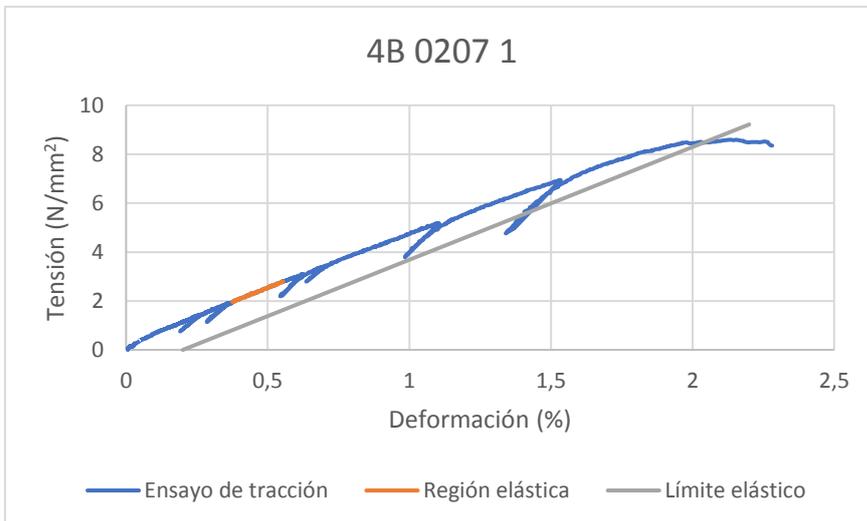
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0207 1

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 5,05 | 23,27 | 50 | 117,51 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,59 | 2,13 | 4,61 |



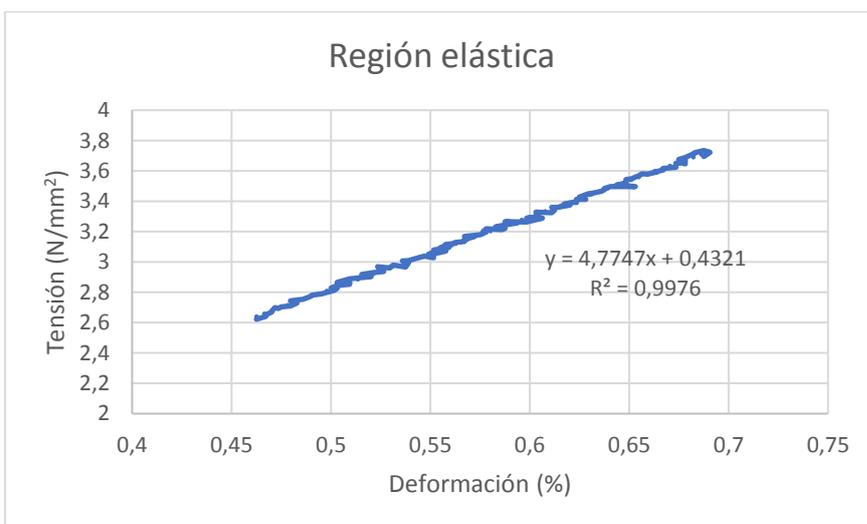
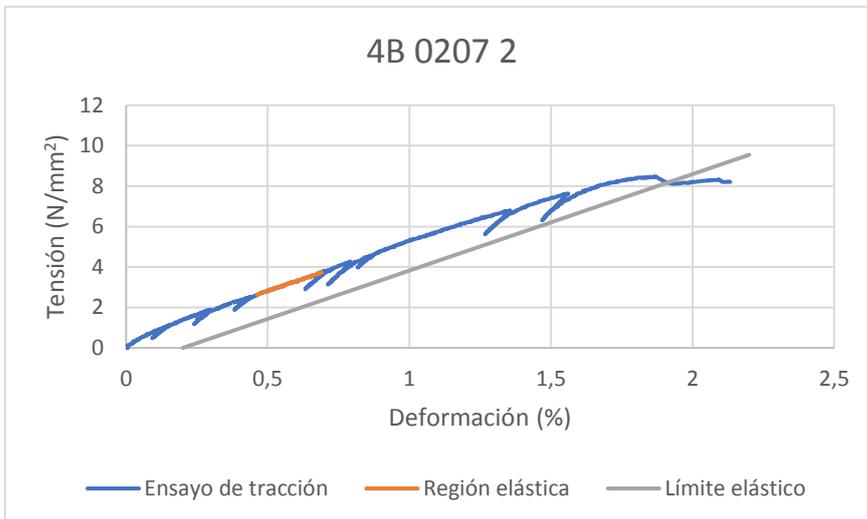
Anexo III

Identificación: 4B 0207 2

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 4,57 | 21,88 | 50 | 99,99 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,47 | 1,87 | 4,78 |



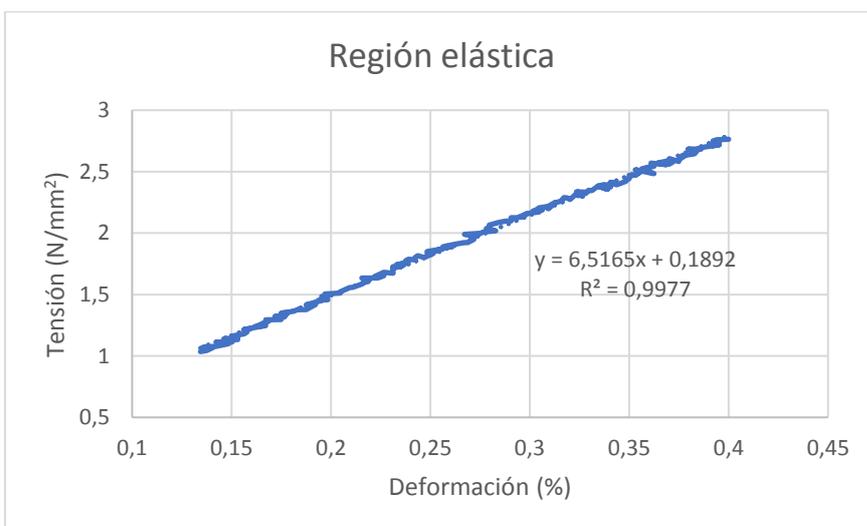
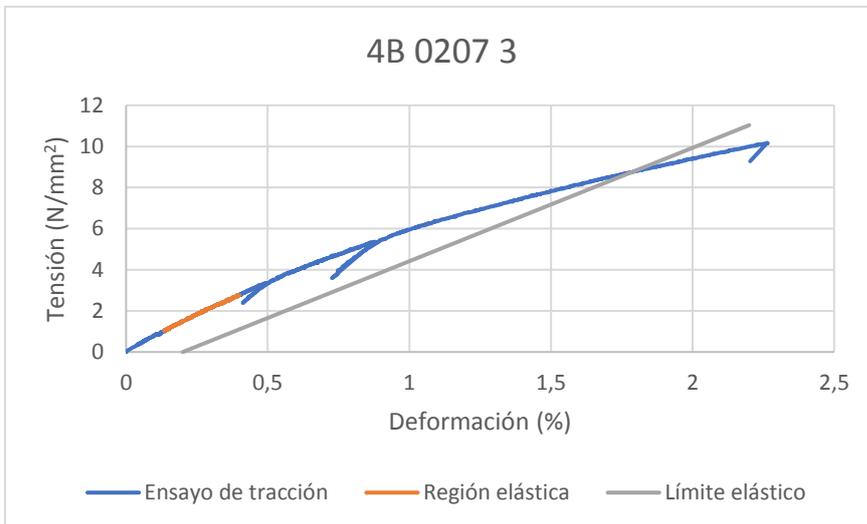
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0207 3

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,38 | 21,88 | 50 | 73,95 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 10,18 | 2,71 | 5,52 |



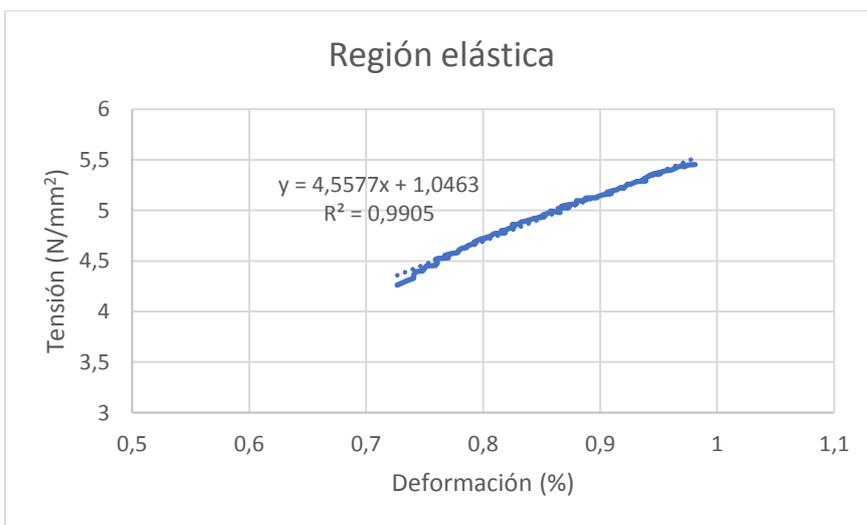
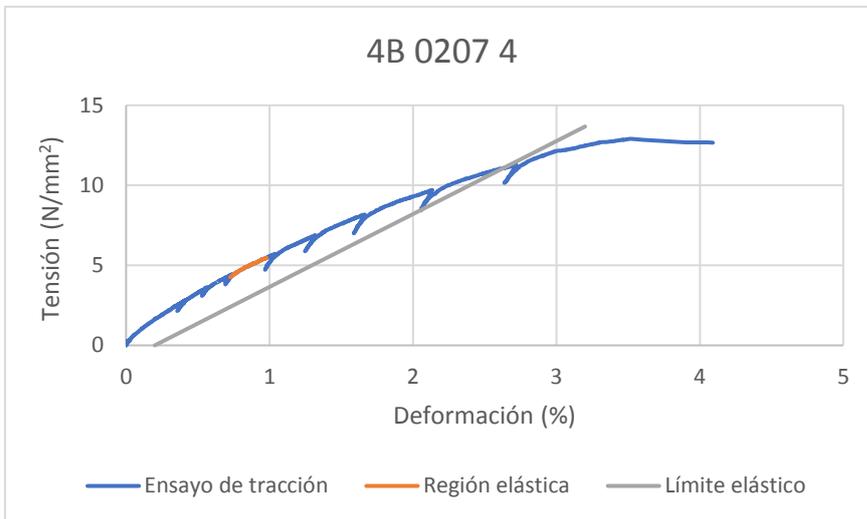
Anexo III

Identificación: 4B 0207 4

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,47 | 22,36 | 50 | 77,59 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 12,90 | 3,52 | 4,56 |



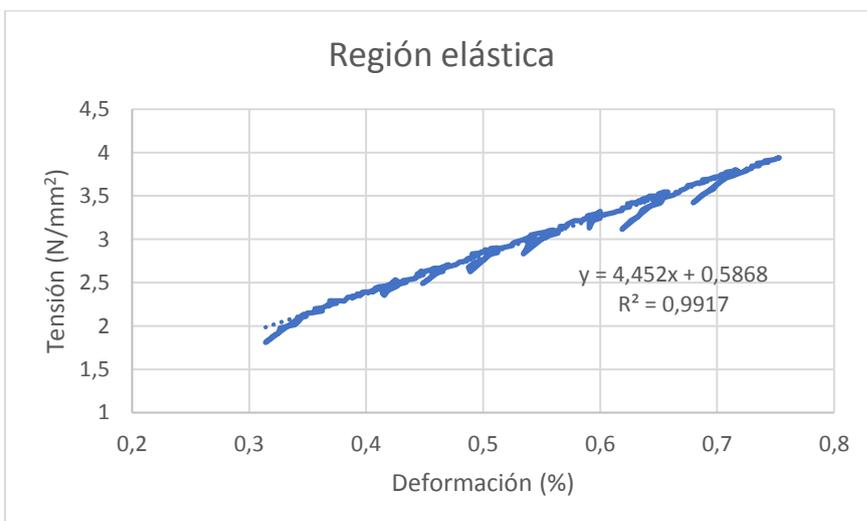
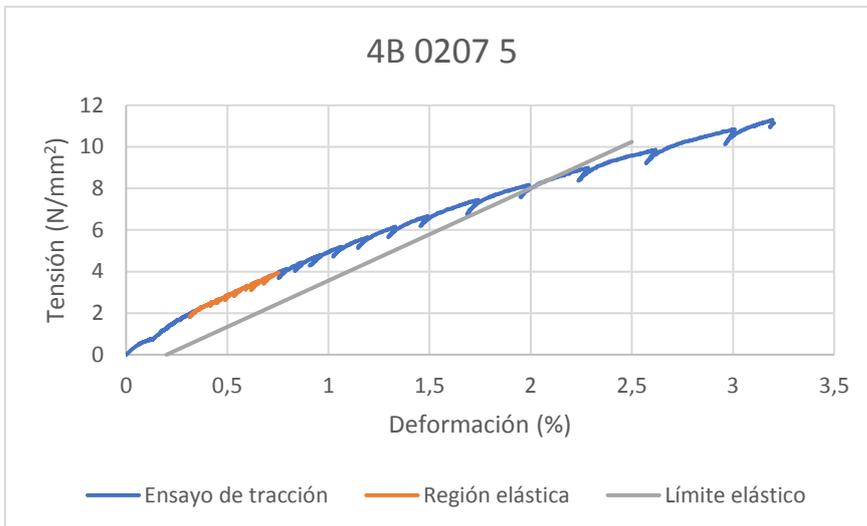
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0207 5

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,51 | 24,11 | 50 | 84,63 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 11,30 | 3,20 | 4,45 |



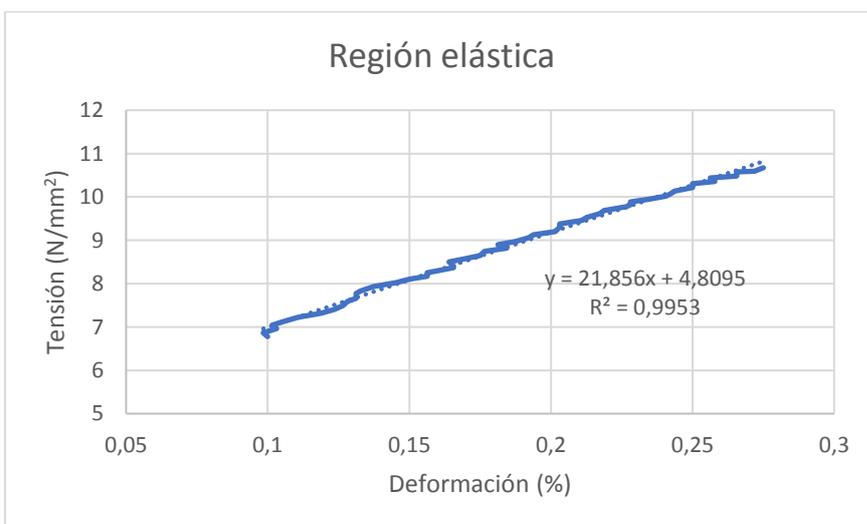
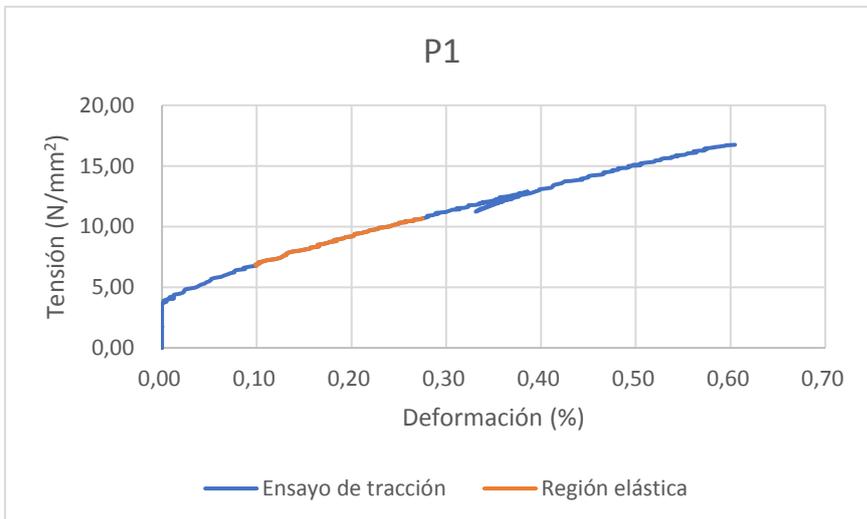
Anexo III

Identificación: P1

| Composición |
|------------------------------|
| Material vegetal (Comercial) |
| Hojas de palma |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 2,19 | 22,02 | 50 | 48,22 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 16,74 | 0,61 | 21,86 |

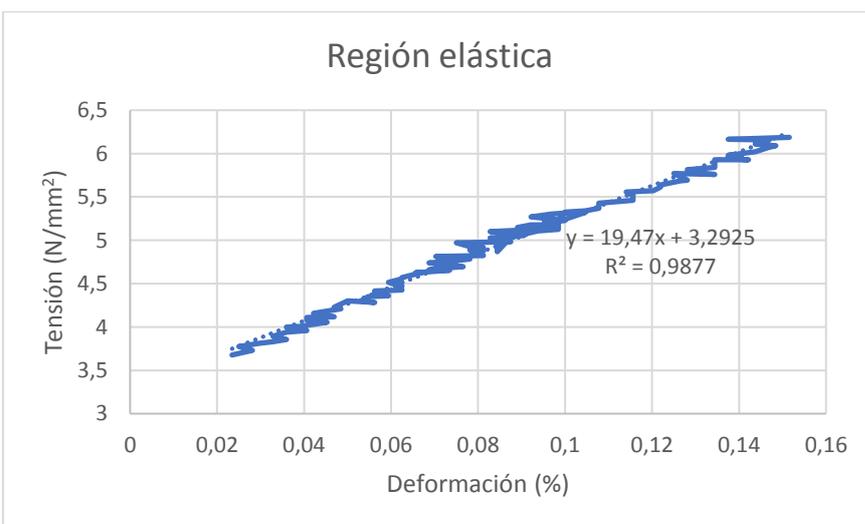
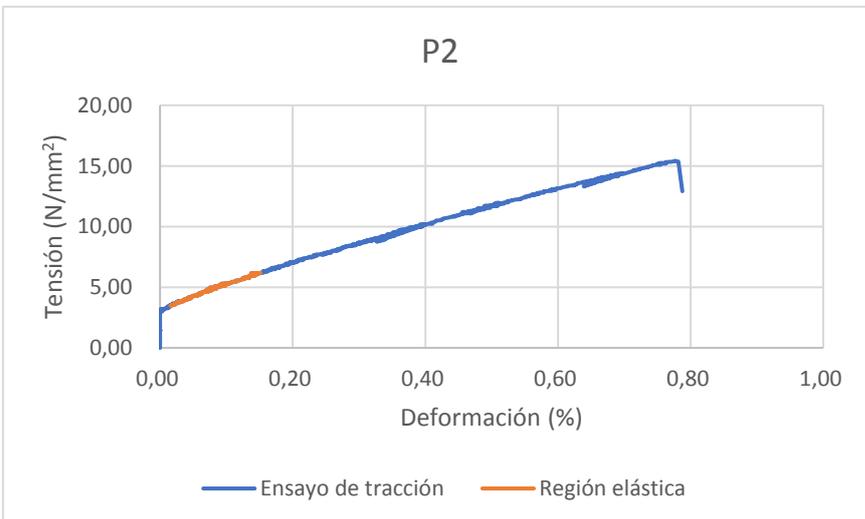


Identificación: P2

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 2,25 | 22,74 | 50 | 51,17 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 15,43 | 0,78 | 19,47 |

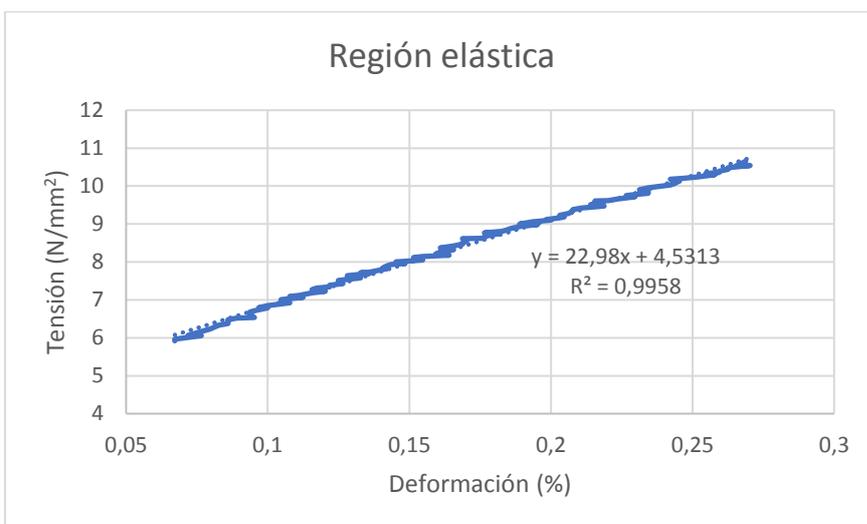
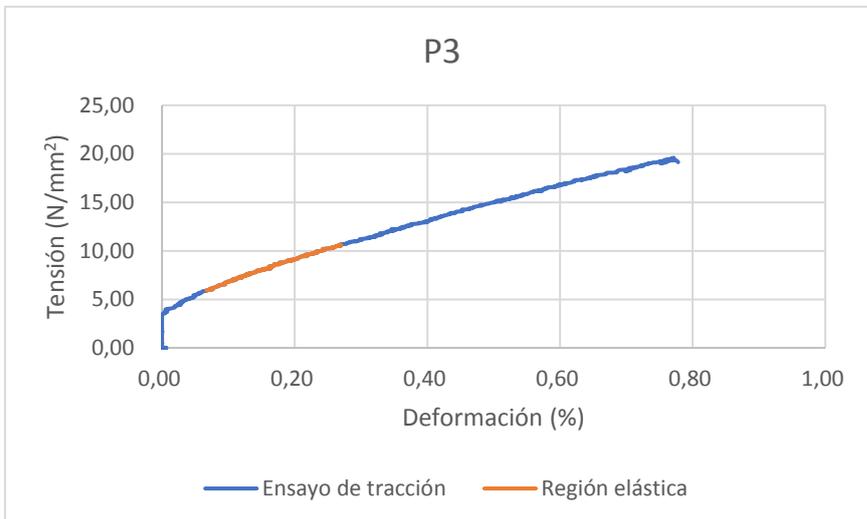


Identificación: P3

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 2,11 | 22,56 | 50 | 47,60 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 19,58 | 0,77 | 22,98 |

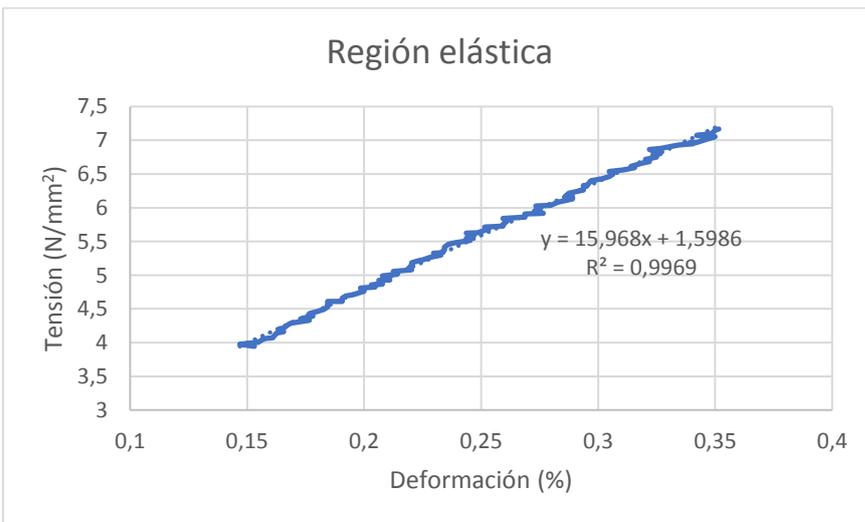
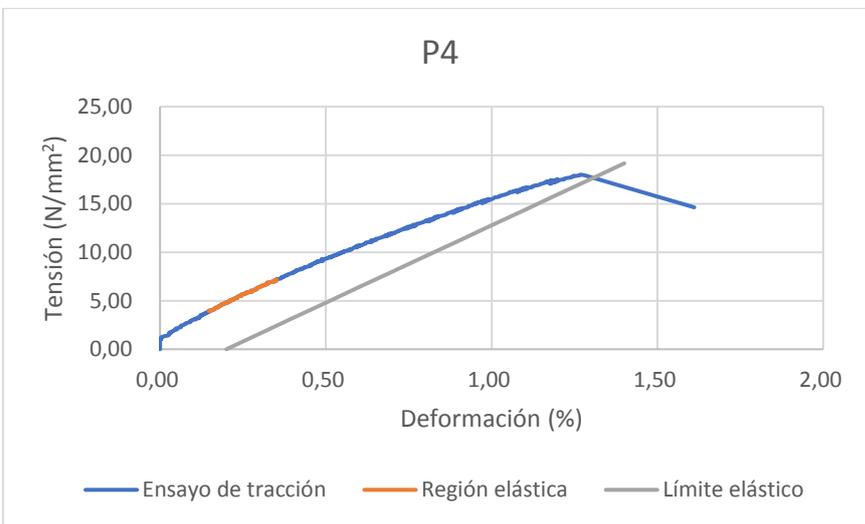


Identificación: P4

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 2,13 | 22,21 | 50 | 47,31 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 17,99 | 1,27 | 15,97 |



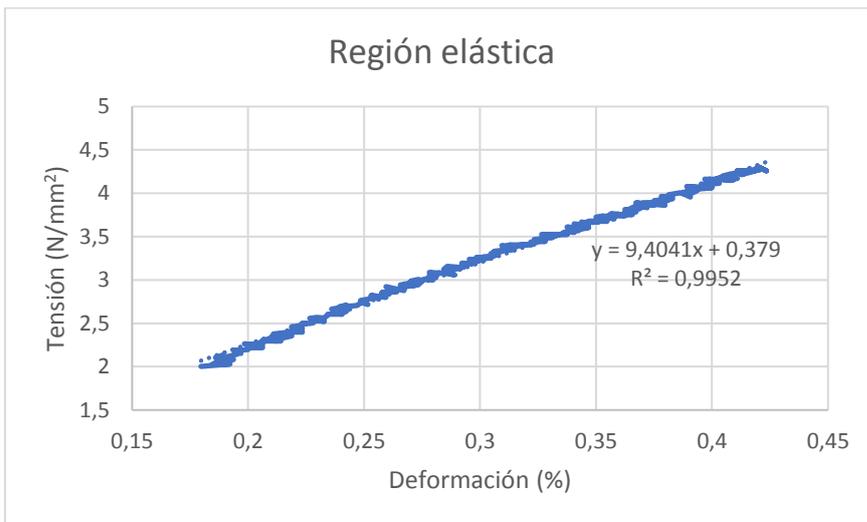
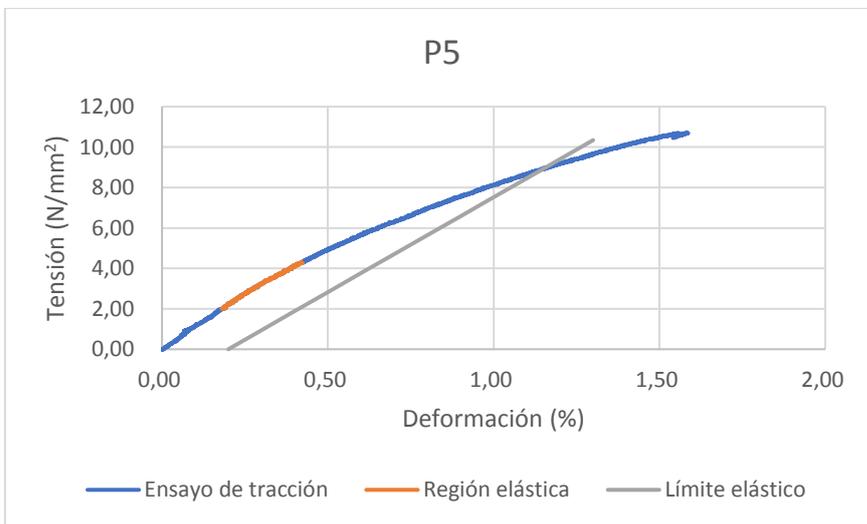
Anexo III

Identificación: P5

| Composición |
|------------------------------|
| Material vegetal (Comercial) |
| Hojas de palma |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 1,9 | 22,91 | 50 | 43,53 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 10,71 | 1,58 | 9,40 |

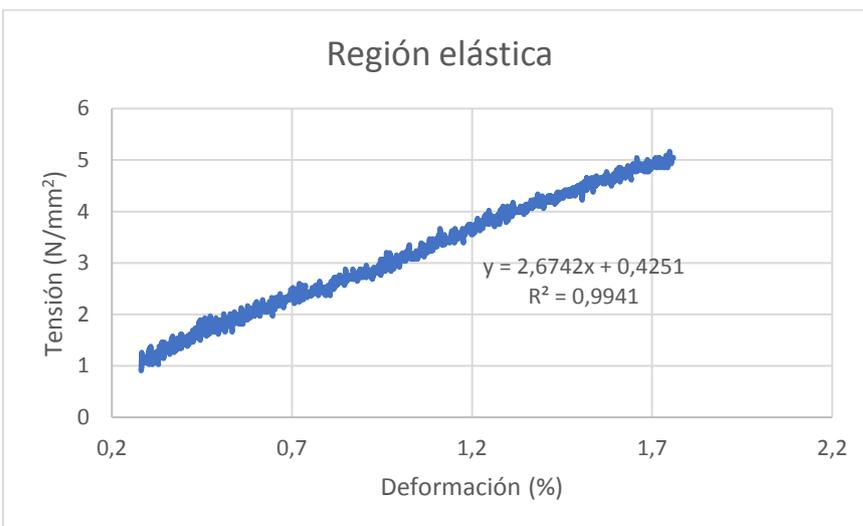
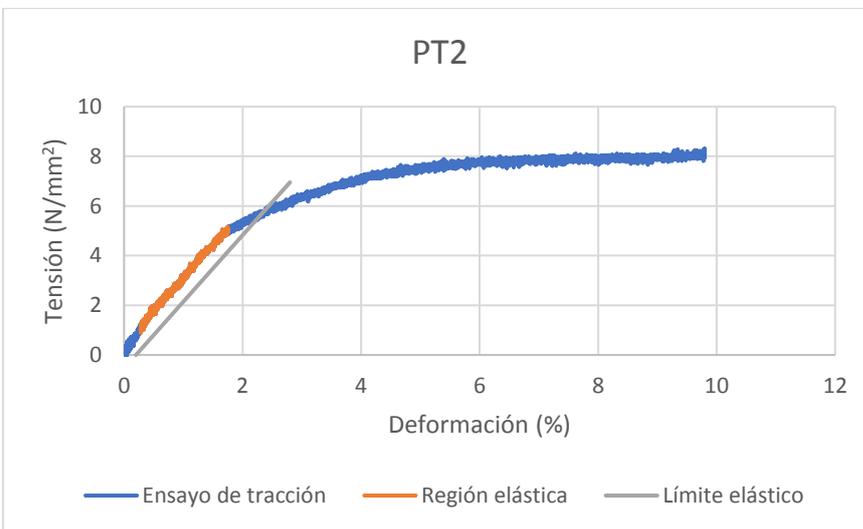


Identificación: PT2

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 0,28 | 28,3 | 50 | 7,92 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,32 | 9,80 | 2,67 |



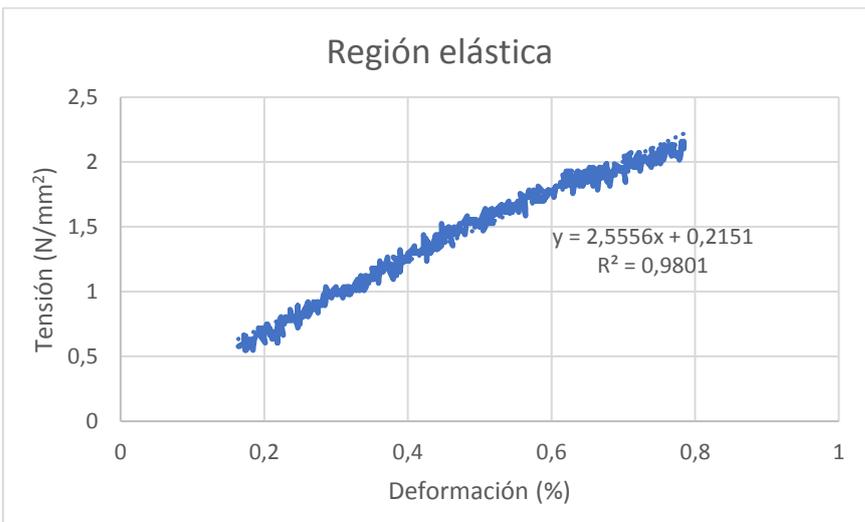
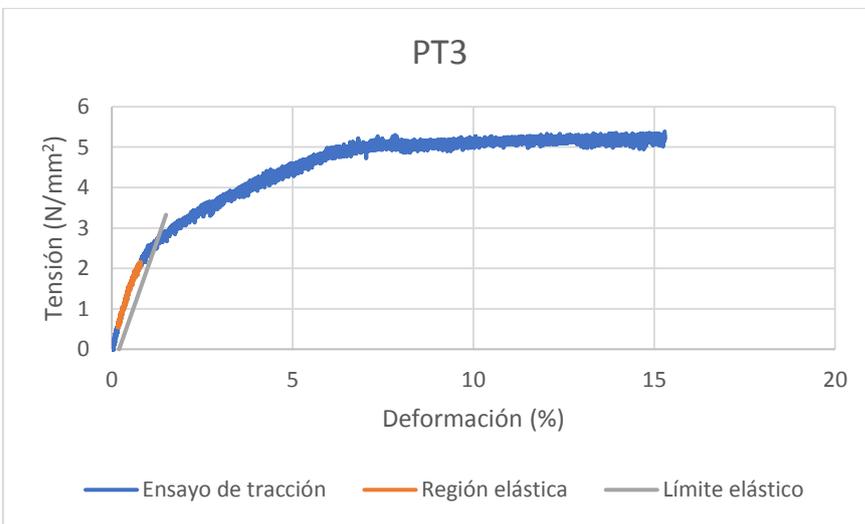
Anexo III

Identificación: PT3

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 0,37 | 29,33 | 50 | 10,85 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 5,38 | 15,29 | 2,56 |

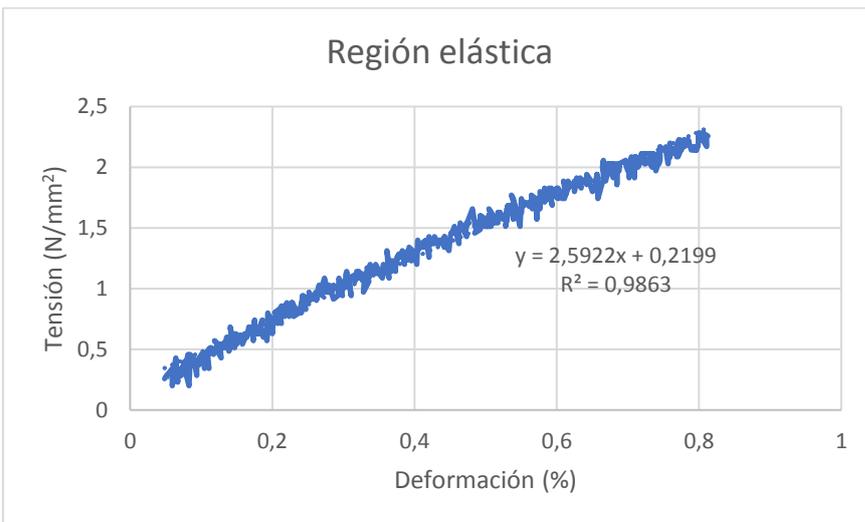
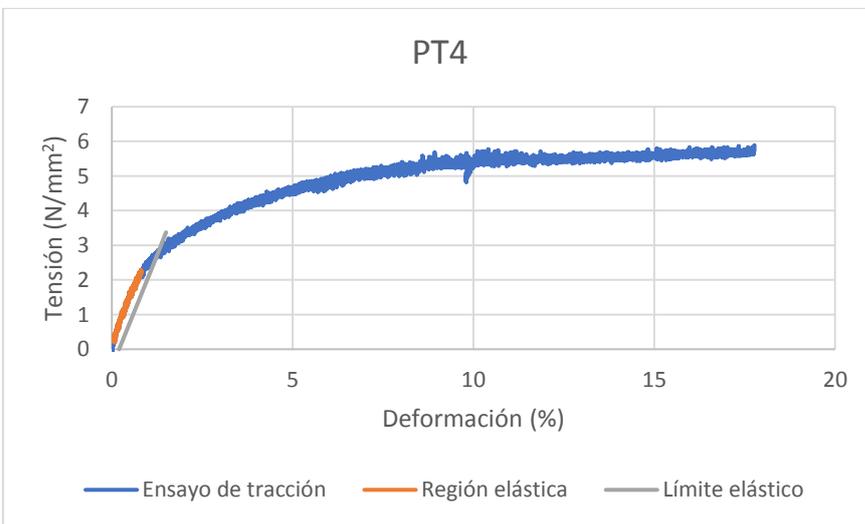


Identificación: PT4

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 0,4 | 27,35 | 50 | 10,94 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 5,88 | 17,76 | 2,59 |



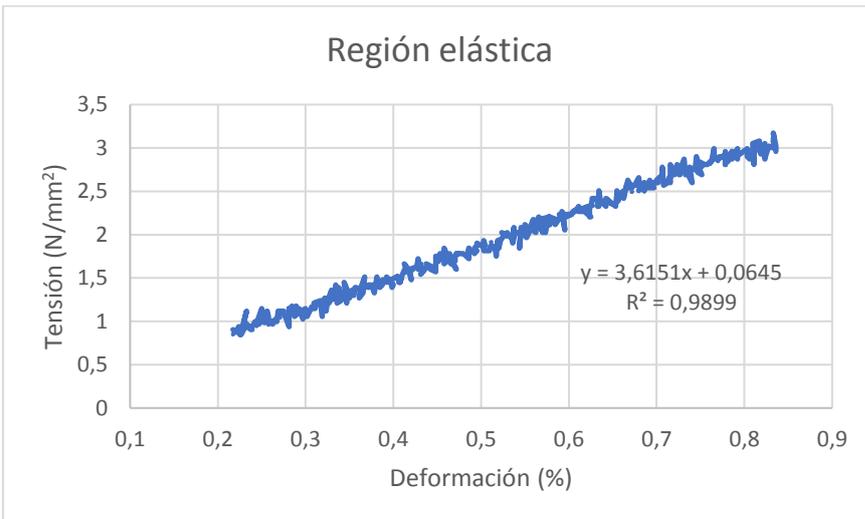
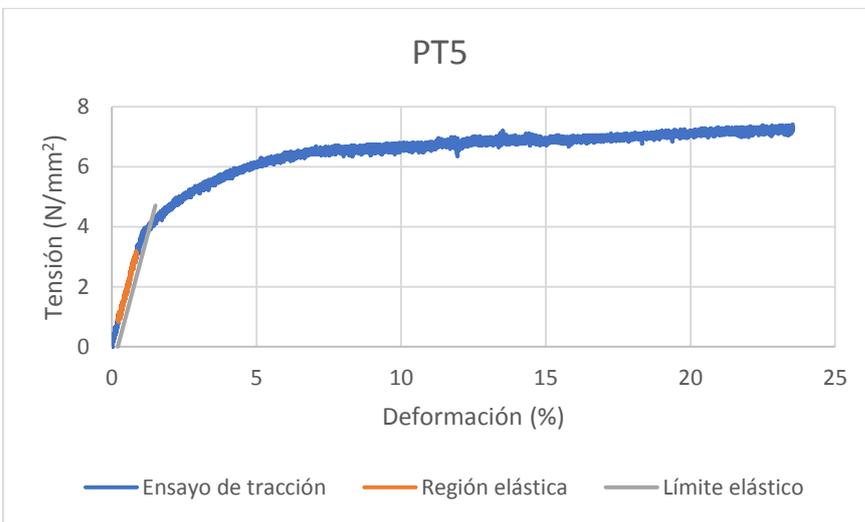
Anexo III

Identificación: PT5

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| 0,39 | 26,52 | 50 | 10,34 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,40 | 23,54 | 3,62 |



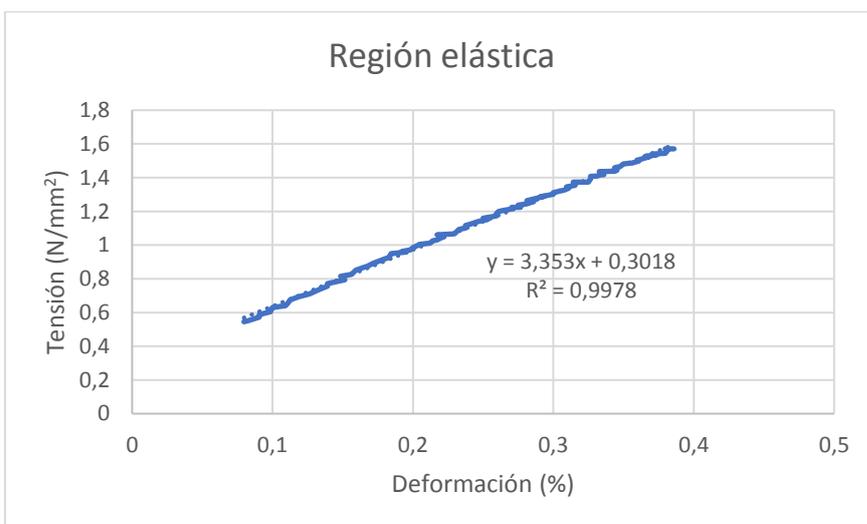
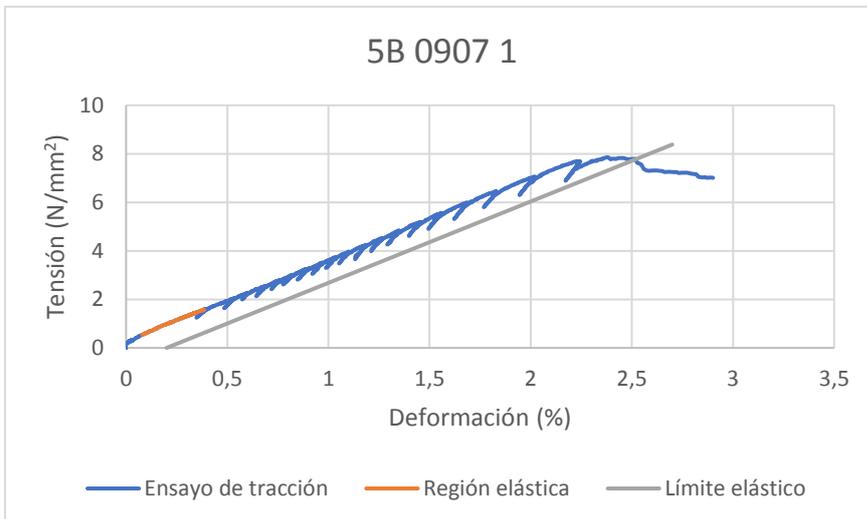
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 0907 1

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 5,62 | 23,15 | 50 | 130,10 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,86 | 2,38 | 3,35 |



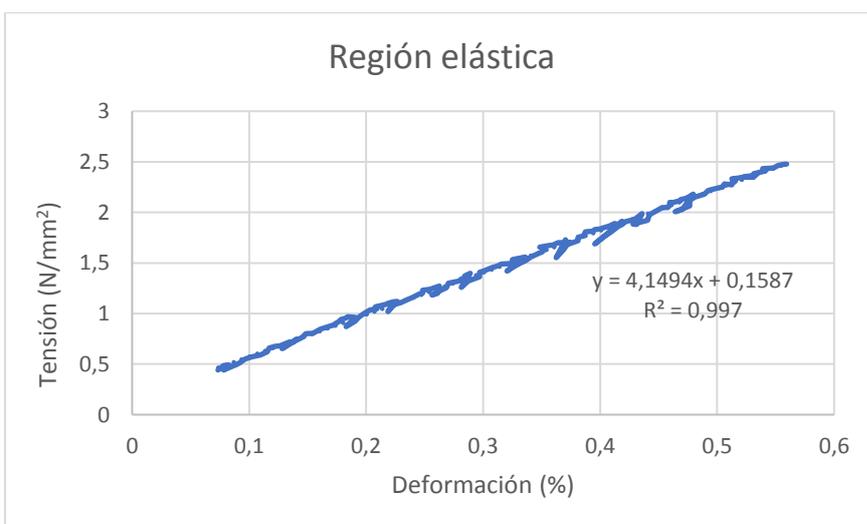
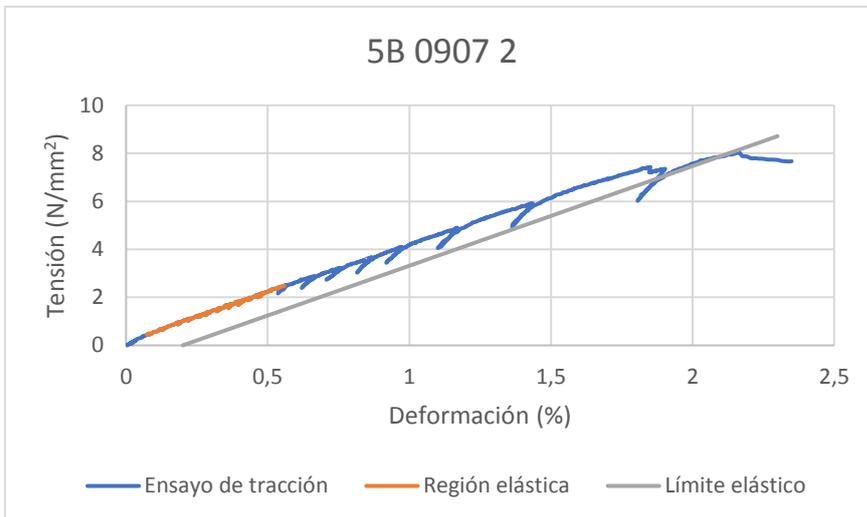
Anexo III

Identificación: 5B 0907 2

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 3,58 | 21,35 | 50 | 76,43 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,02 | 2,16 | 4,15 |



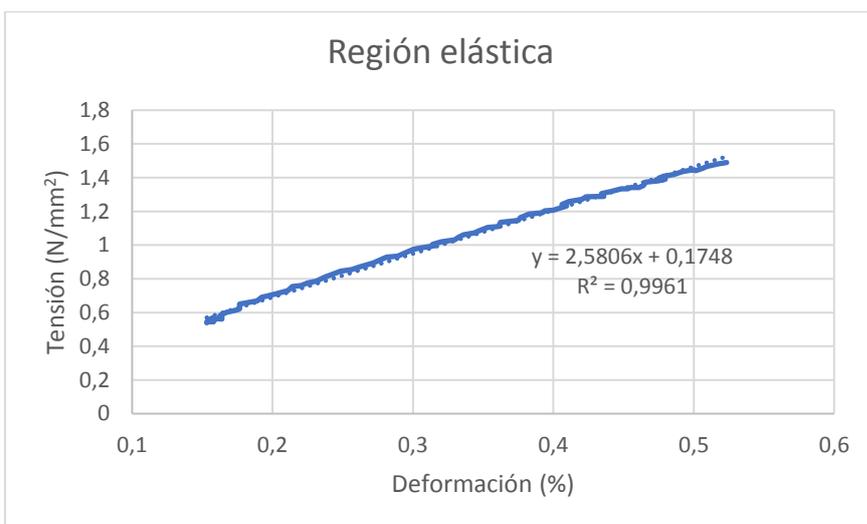
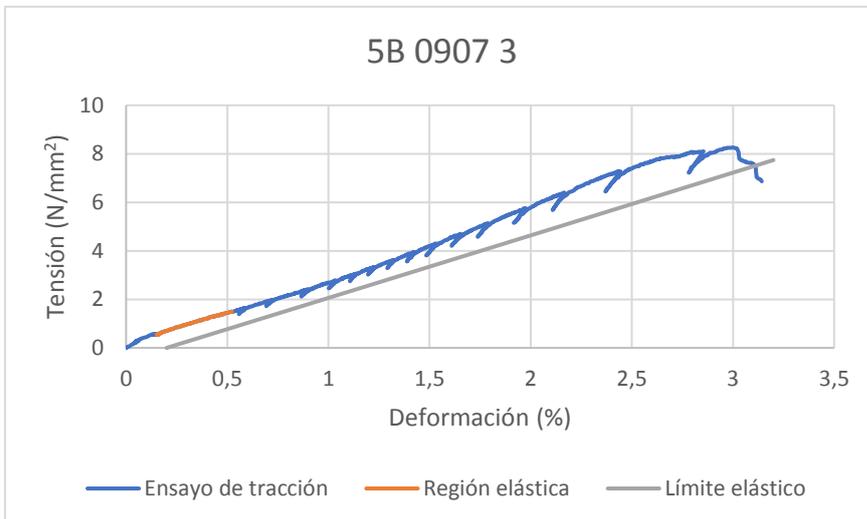
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 0907 3

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 4,87 | 22,61 | 50 | 110,11 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 8,27 | 3,00 | 2,58 |



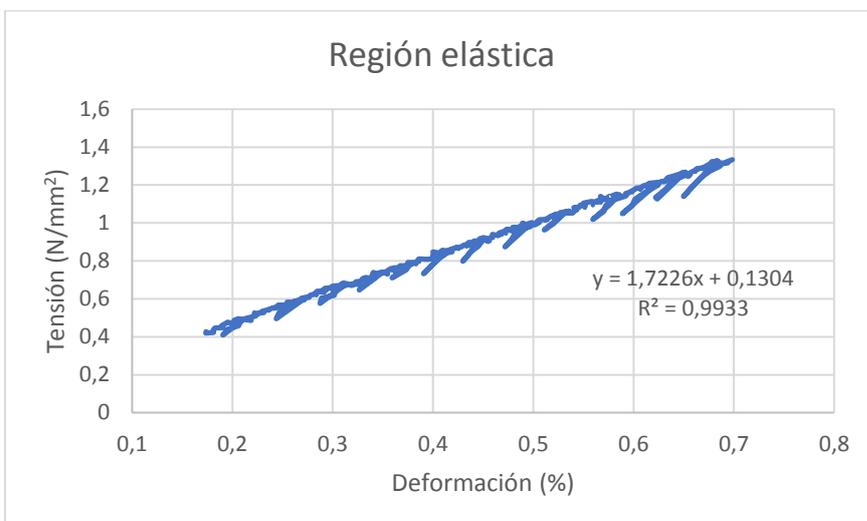
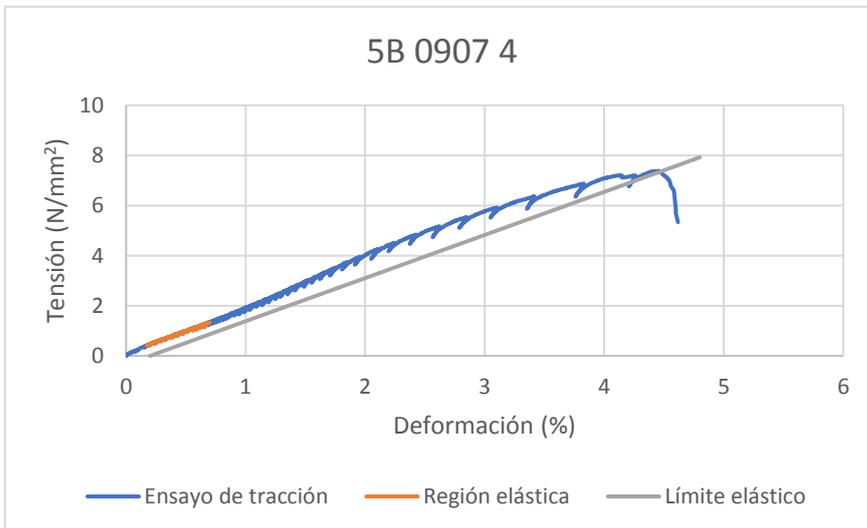
Anexo III

Identificación: 5B 0907 4

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 5,96 | 23,82 | 50 | 141,97 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,39 | 4,46 | 1,72 |



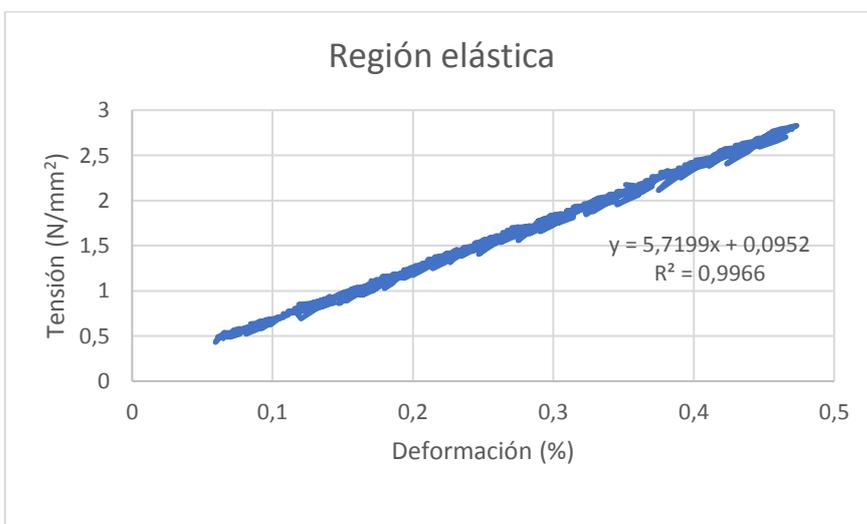
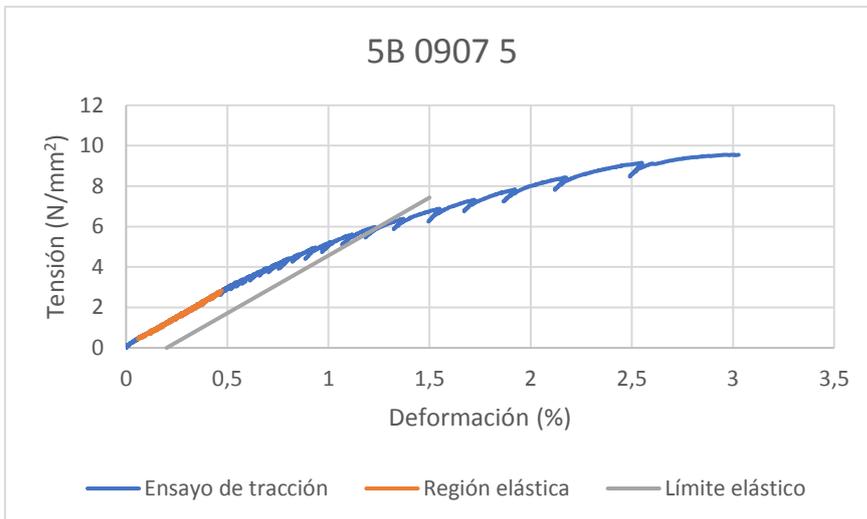
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 0907 5

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 6,24 | 23,36 | 50 | 145,77 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 9,56 | 3,01 | 5,72 |

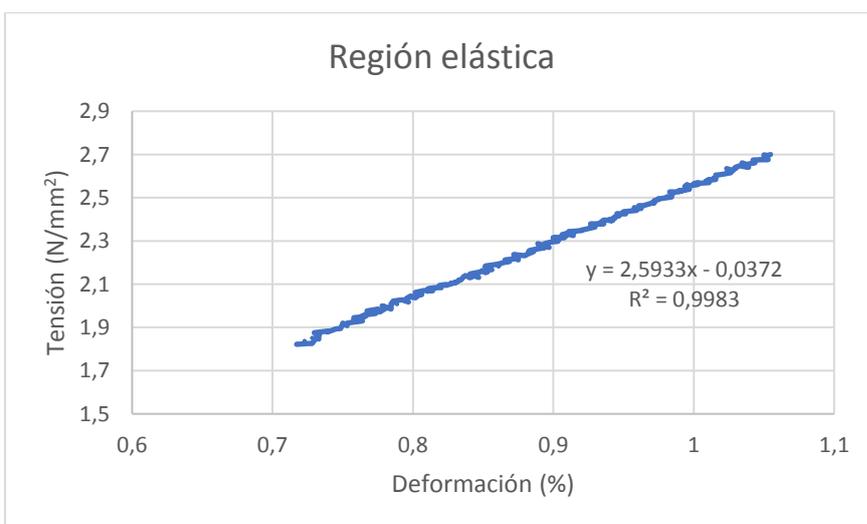
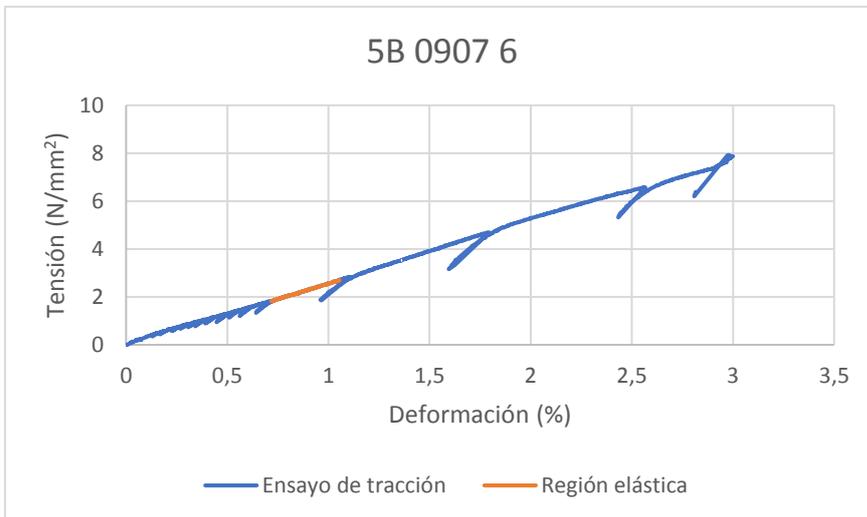


Identificación: 5B 0907 6

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | | |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|
| Espesor | Anchura | Longitud calibrada | Área |
| mm | mm | mm | mm ² |
| 6,07 | 23,74 | 50 | 144,10 |

| Parámetros | | |
|------------------------|------------|-------------------|
| Resistencia a tracción | Elongación | Módulo de Young |
| N/mm ² | % | N/mm ² |
| 7,92 | 2,89 | 2,59 |



Anexo IV

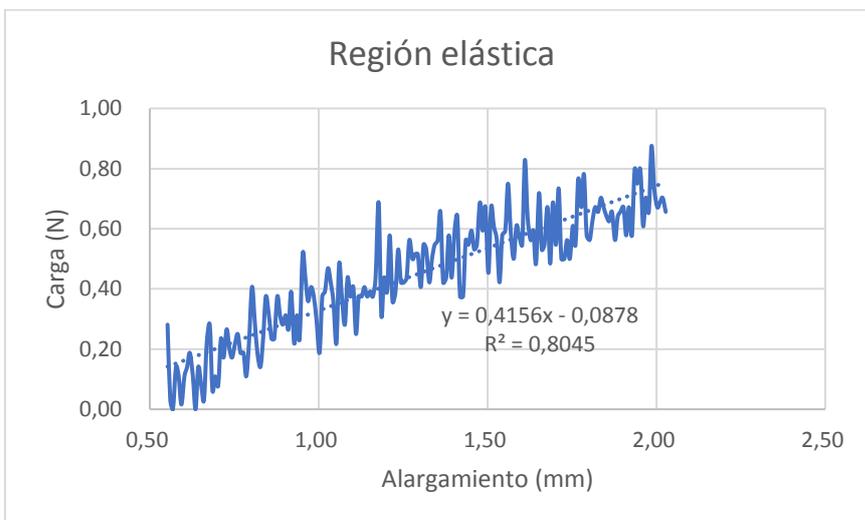
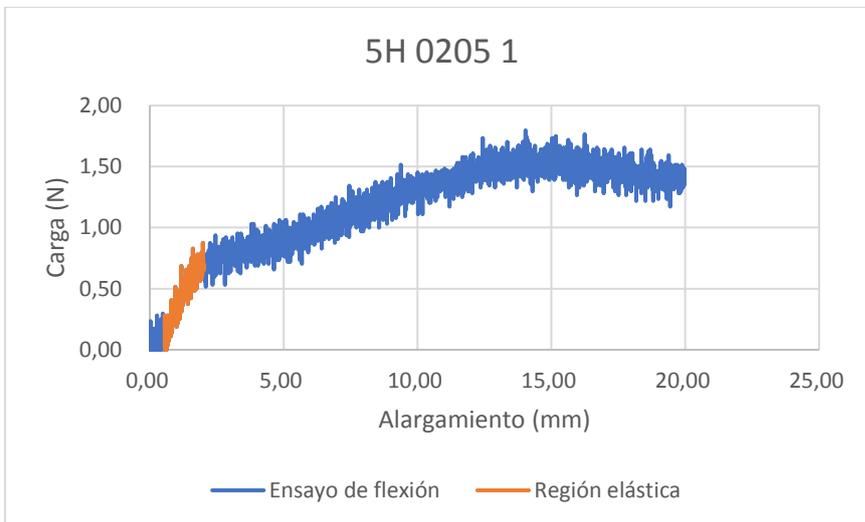
12.4. Anexo IV. Determinación de las propiedades a flexión

Identificación: 5H 0205 1

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,9 | 19,73 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,80 | 10,119 | 2,11 | 1560,32 |



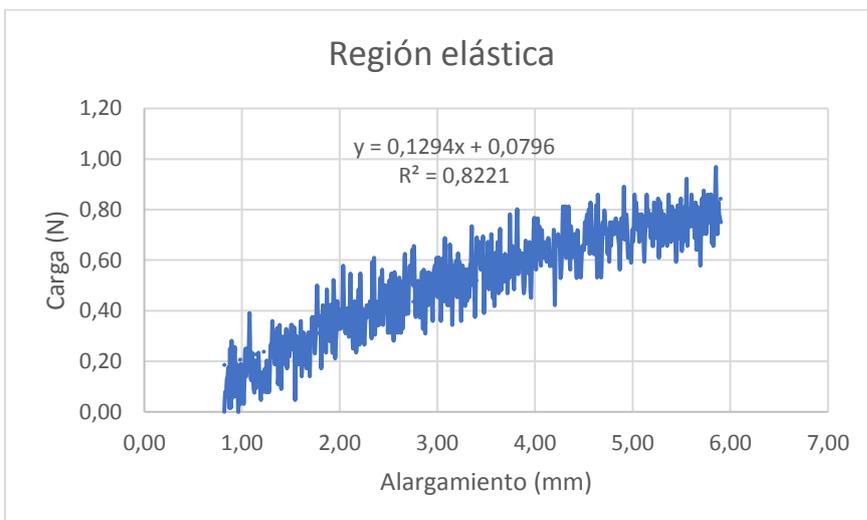
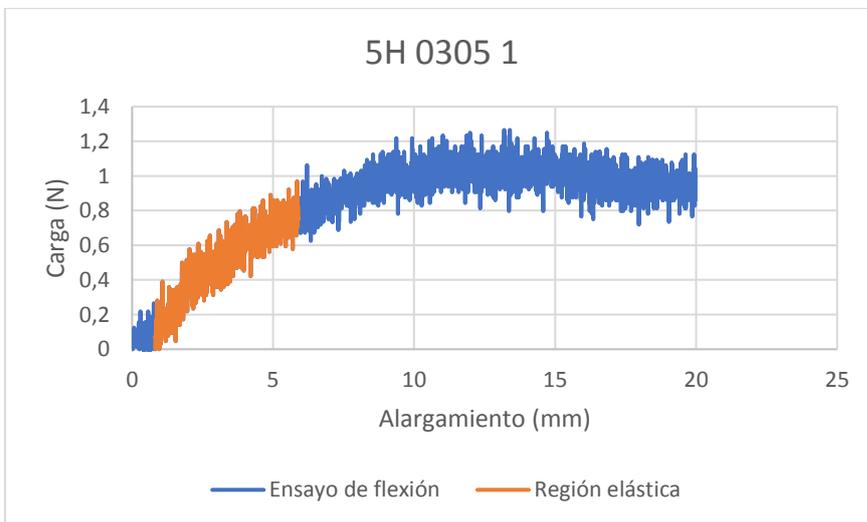
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5H 0305 1

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,03 | 19,57 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,27 | 5,486 | 2,26 | 326,76 |



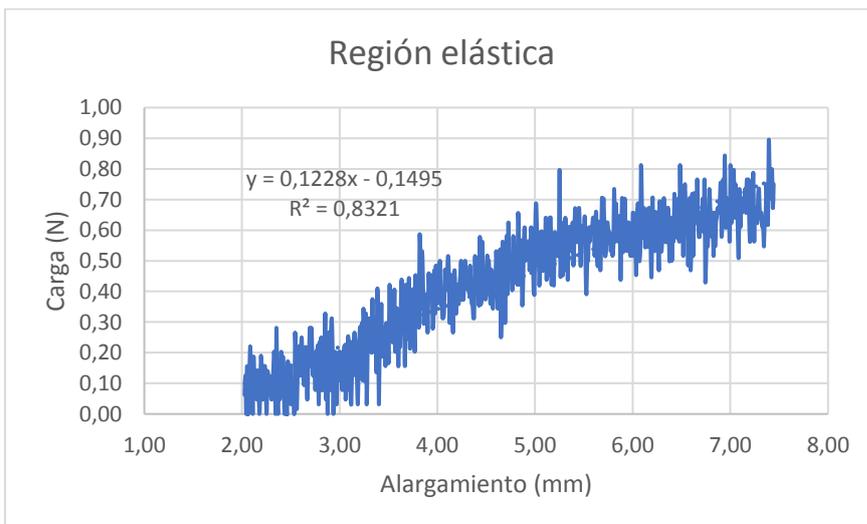
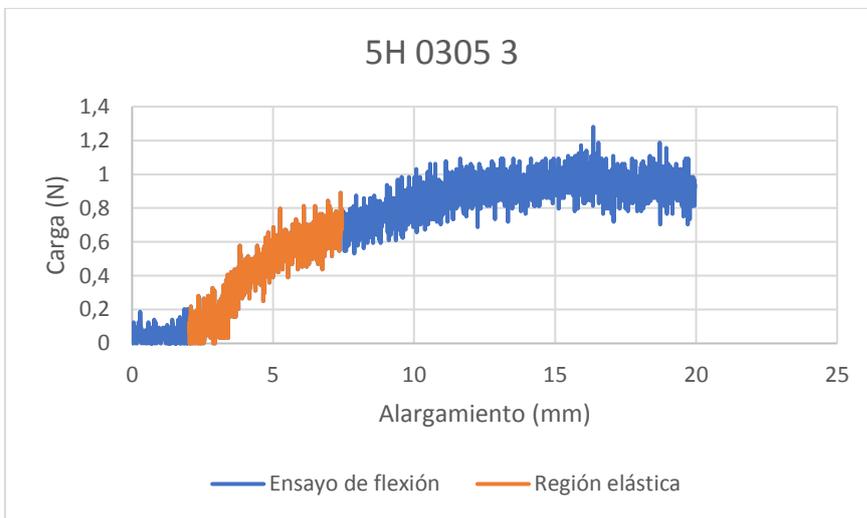
Anexo IV

Identificación: 5H 0305 3

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,3 | 19,183 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,28 | 3,557 | 3,54 | 157,37 |



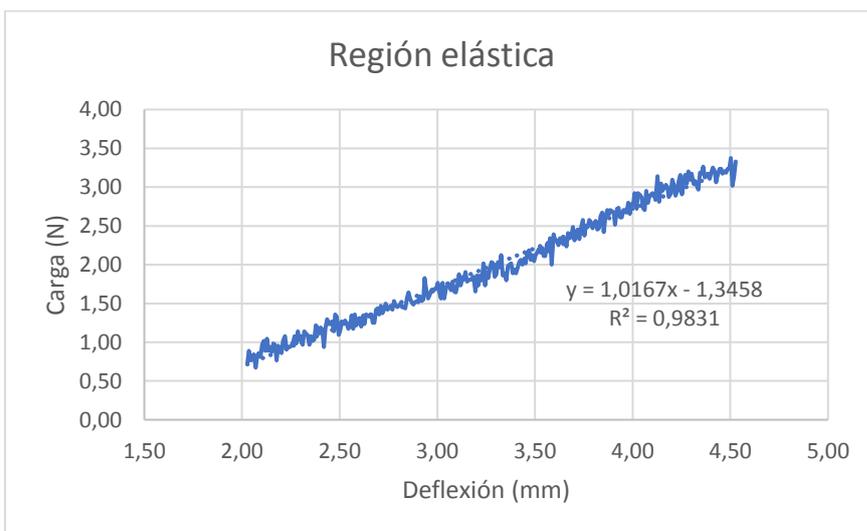
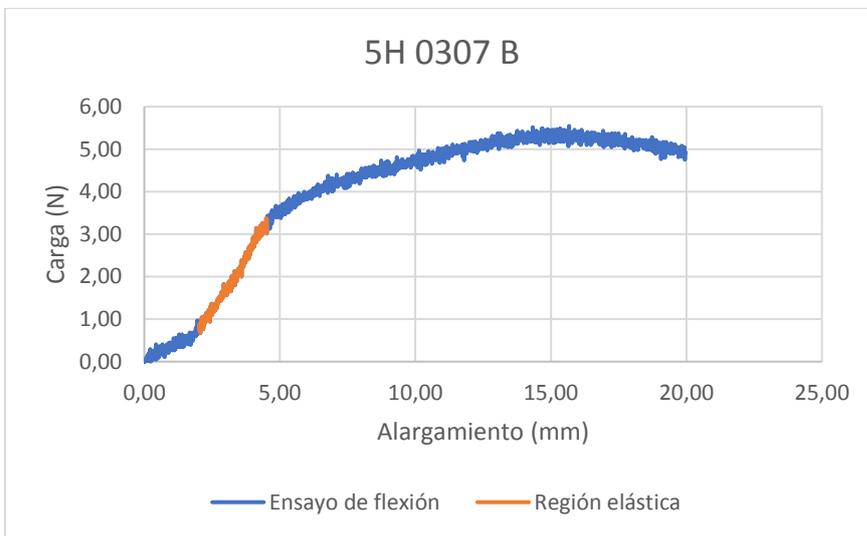
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5H 0307 B

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,70 | 21,03 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 5,55 | 8,214 | 4,44 | 531,37 |



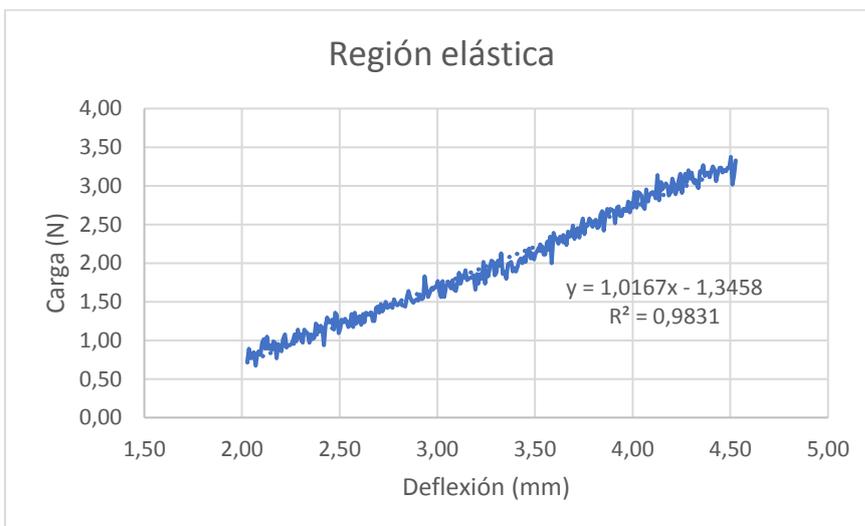
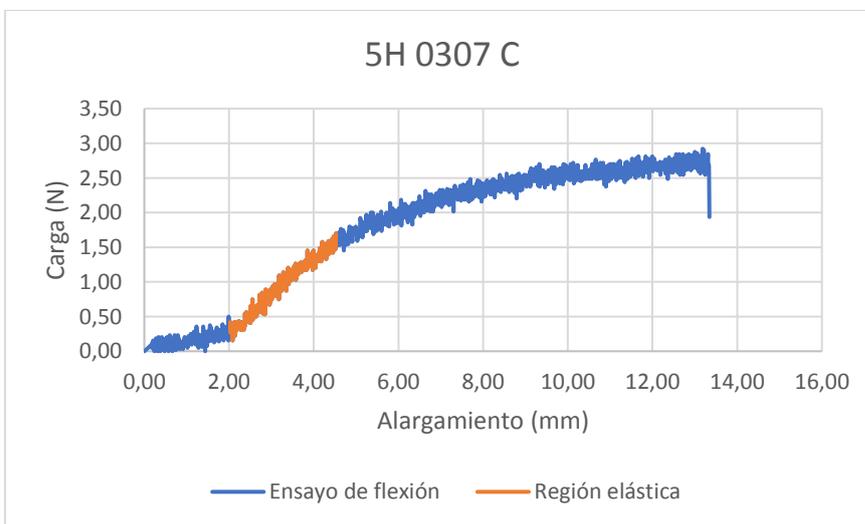
Anexo IV

Identificación: 5H 0307 C

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,03 | 22,23 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 2,92 | 11,150 | 2,26 | 2260,14 |



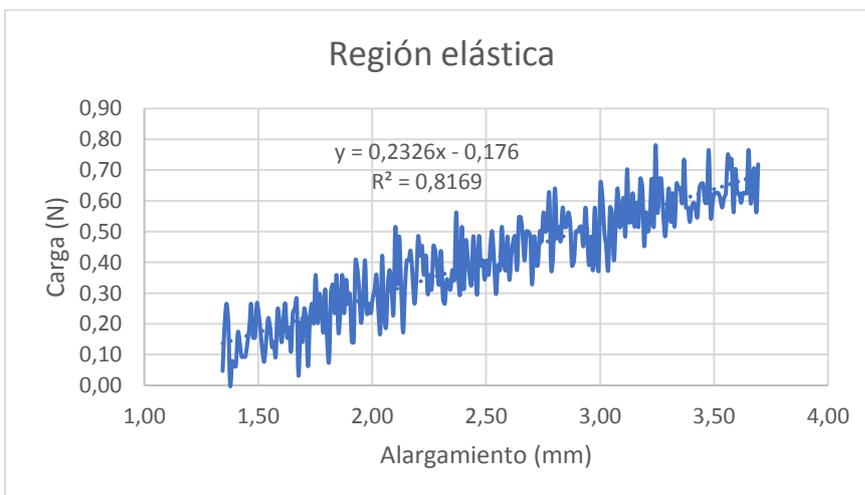
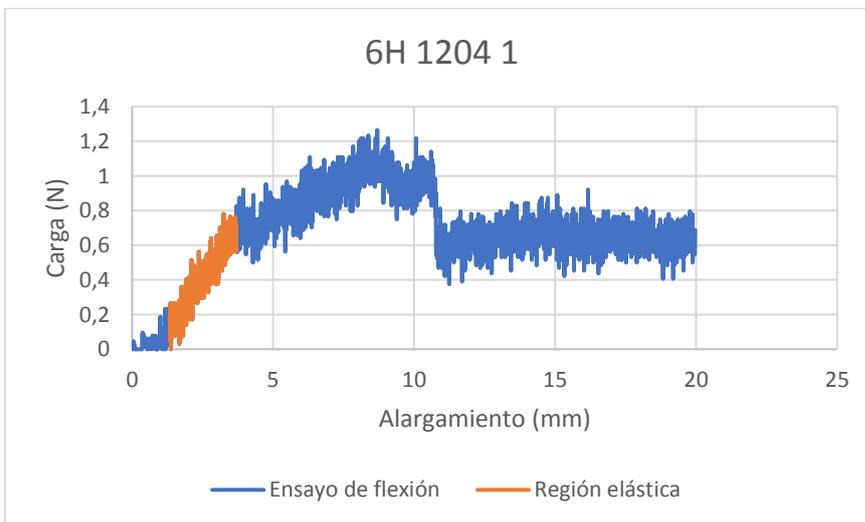
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 6H 1204 1

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,02 | 20,06 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,27 | 4,458 | 1,48 | 590,03 |



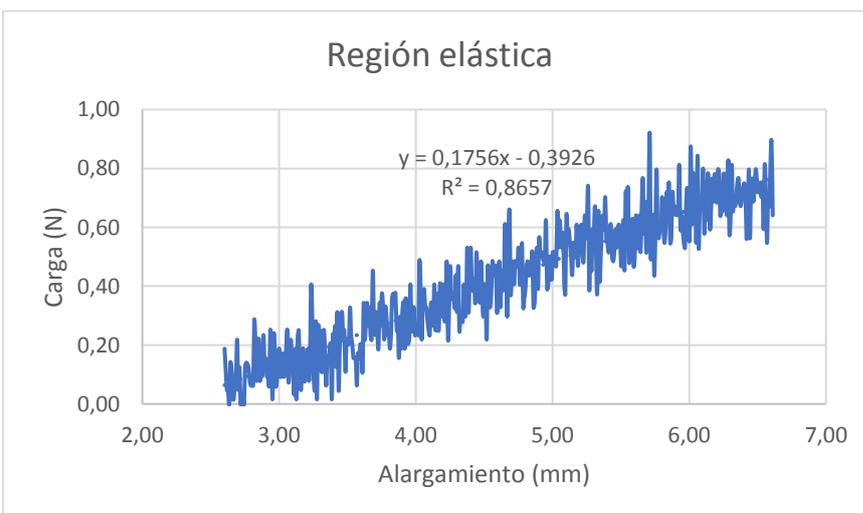
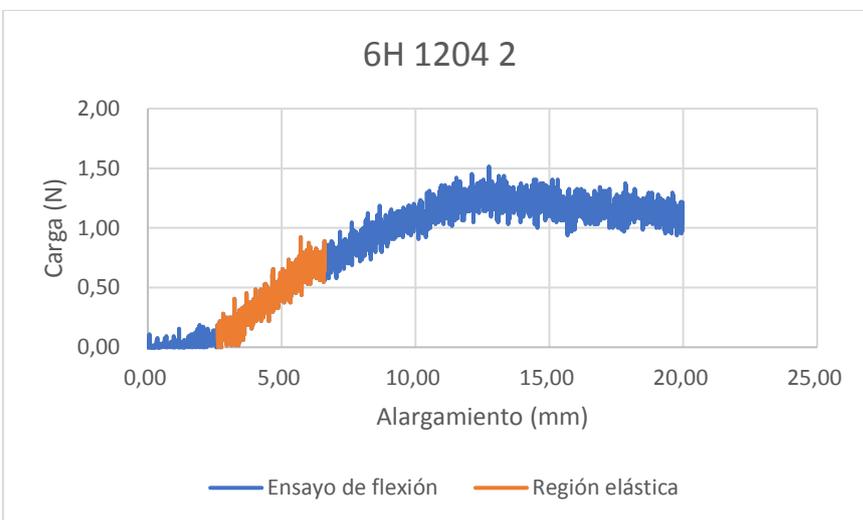
Anexo IV

Identificación: 6H 1204 2

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,91 | 23,62 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,52 | 6,974 | 1,93 | 532,74 |



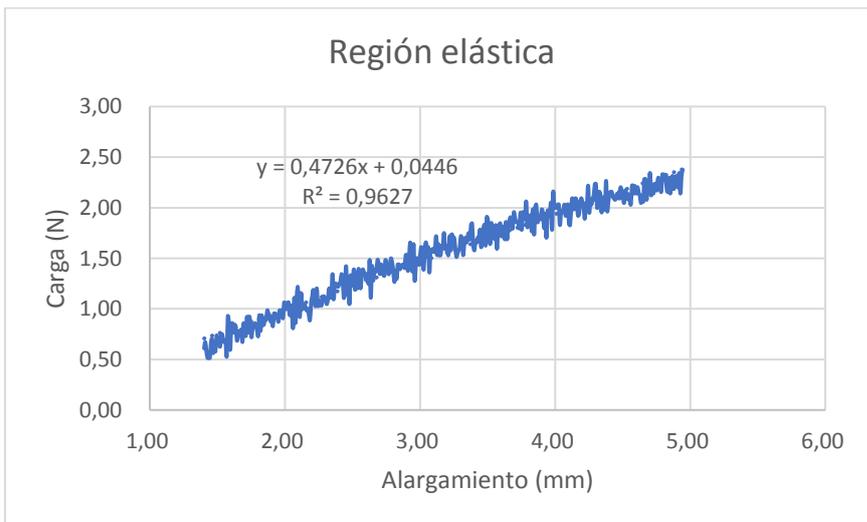
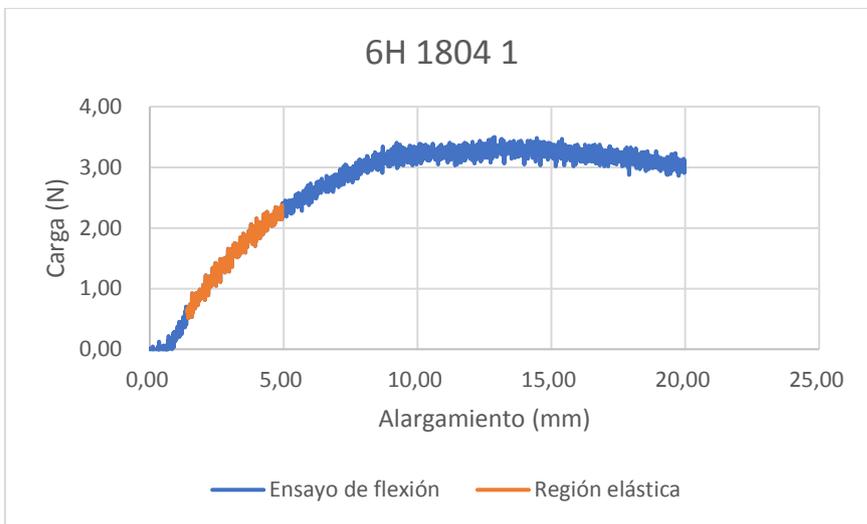
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 6H 1804 1

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,89 | 24,65 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 3,50 | 16,133 | 1,91 | 1468,59 |



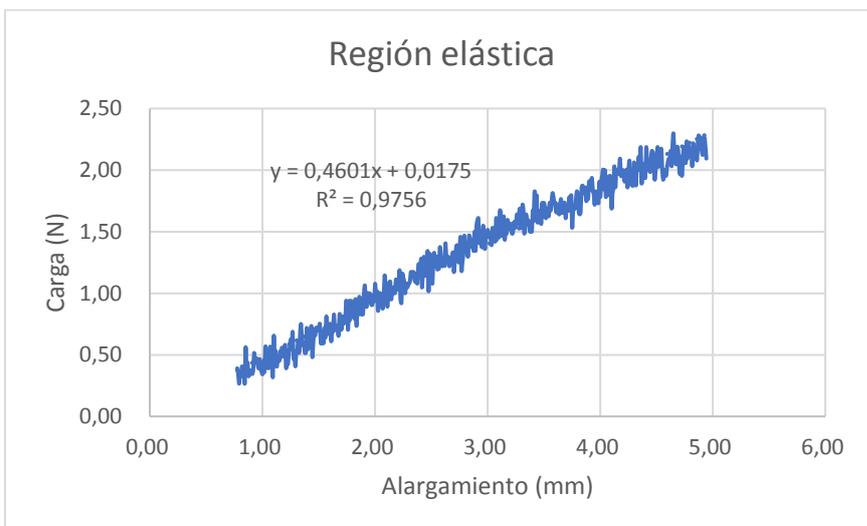
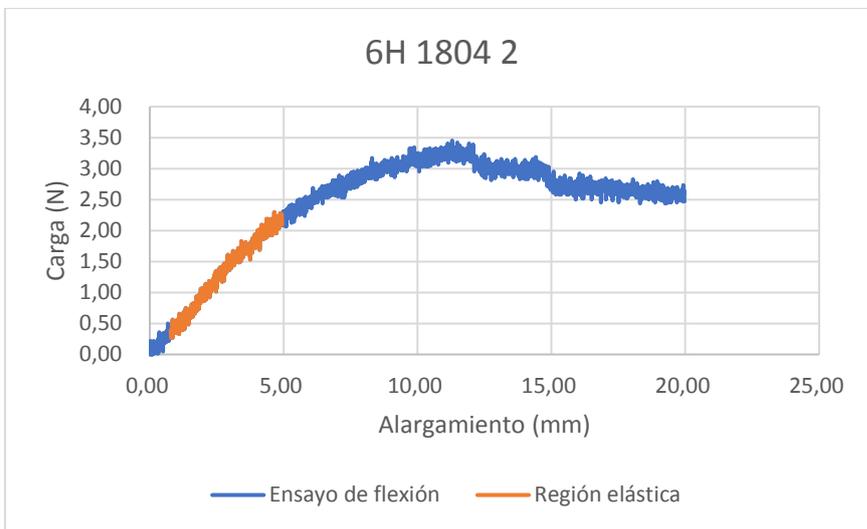
Anexo IV

Identificación: 6H 1804 2

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 6 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,96 | 20,78 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 3,45 | 16,228 | 1,81 | 1351,41 |



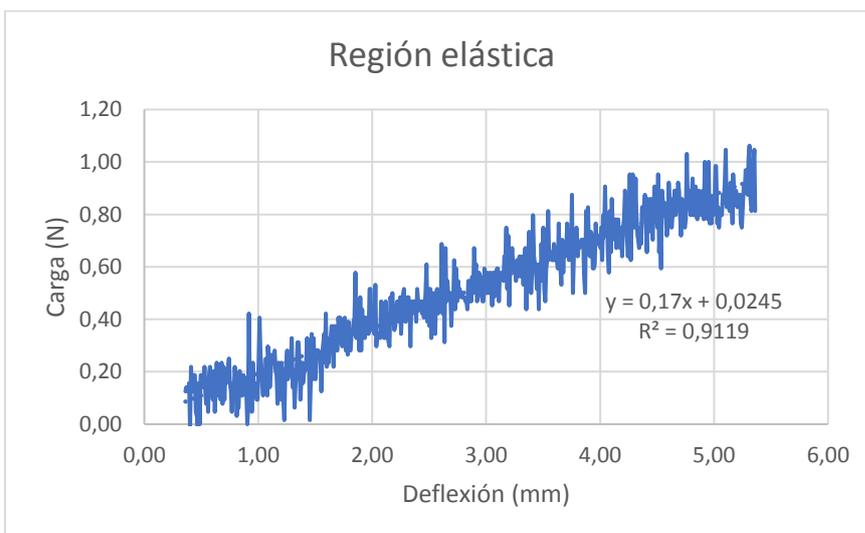
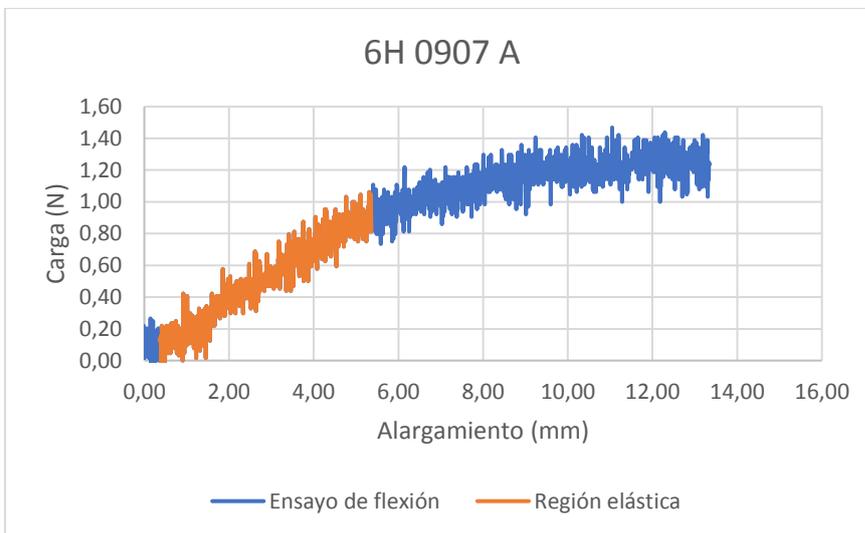
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 6H 0907 A

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,03 | 22,23 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 1,47 | 5,833 | 1,90 | 393,31 |



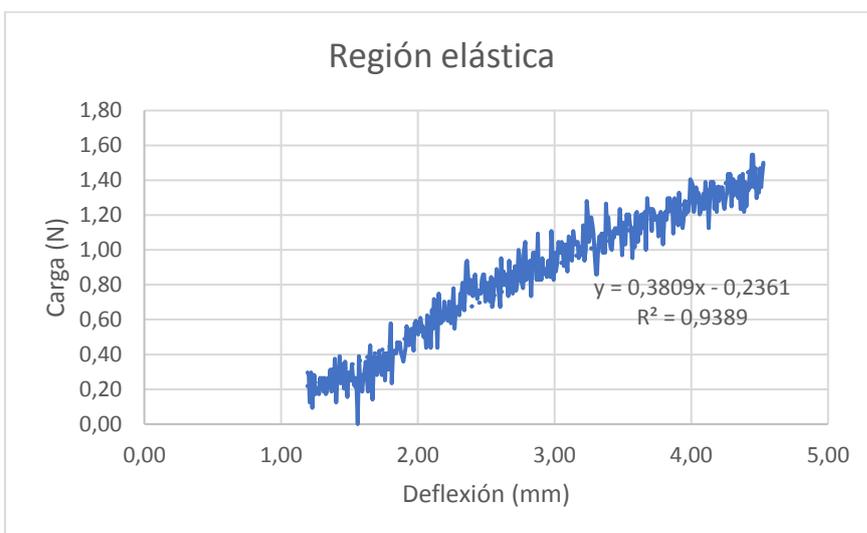
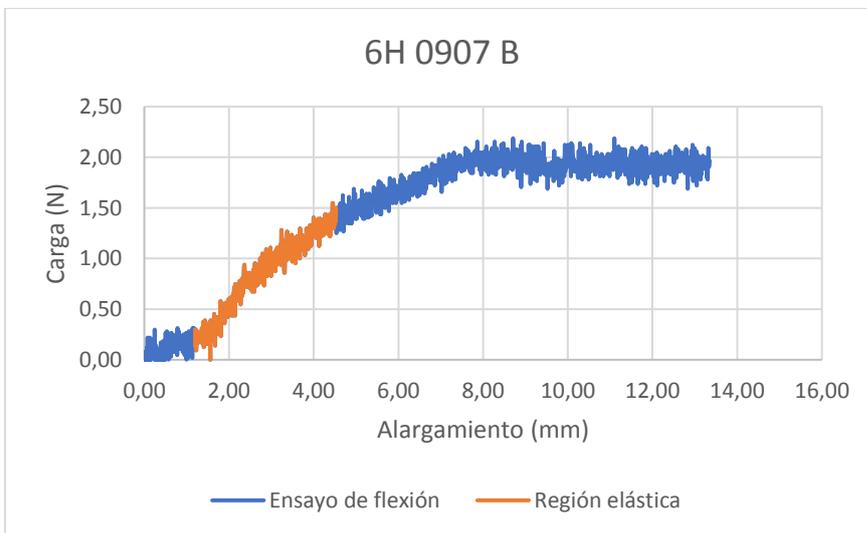
Anexo IV

Identificación: 6H 0907 B

| Composición | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Hojas de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,22 | 22,25 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 2,19 | 5,945 | 1,77 | 509,09 |

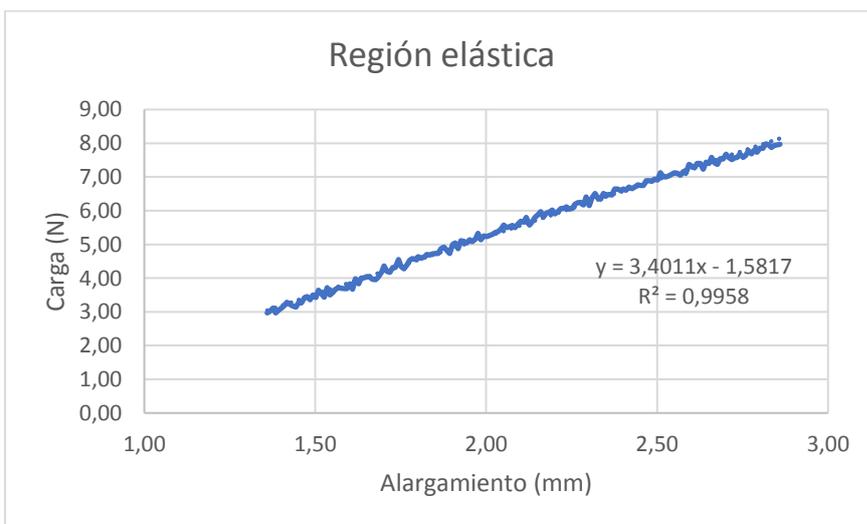
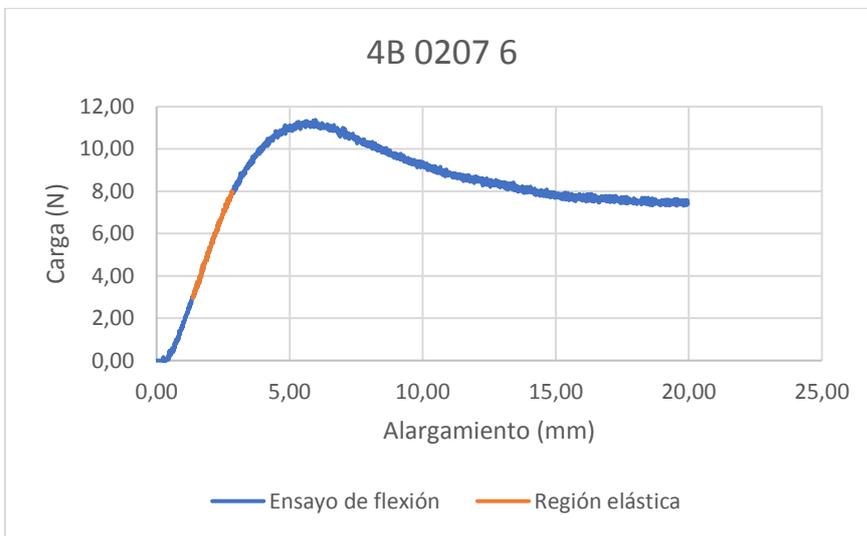


Identificación: 4B 0207 6

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,92 | 23,60 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 11,38 | 2,823 | 3,90 | 129,19 |



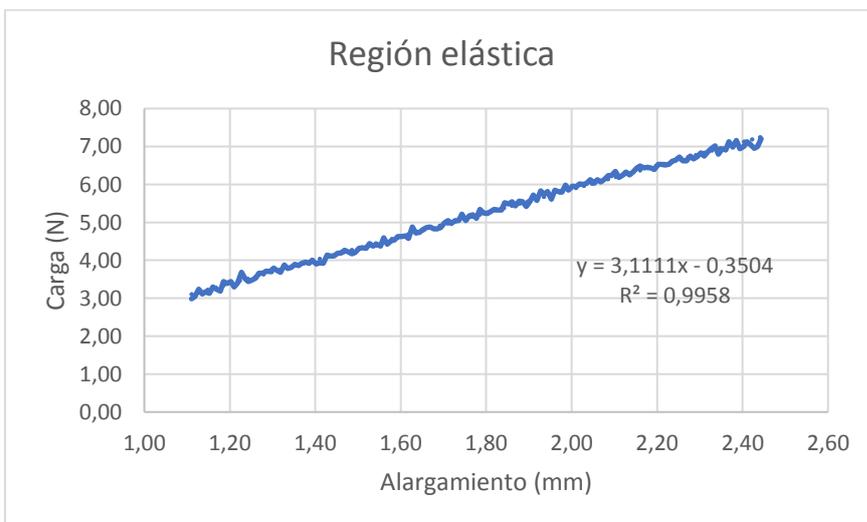
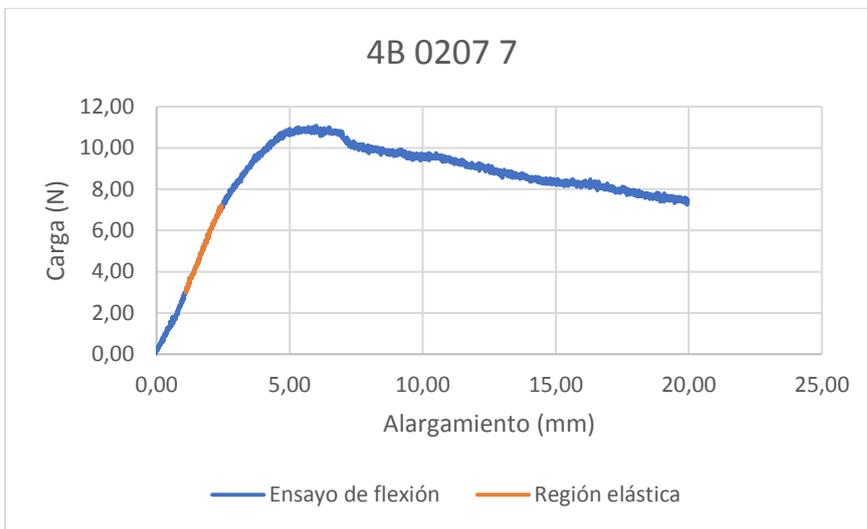
Anexo IV

Identificación: 4B 0207 7

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,09 | 22,00 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 11,08 | 4,746 | 3,09 | 258,83 |



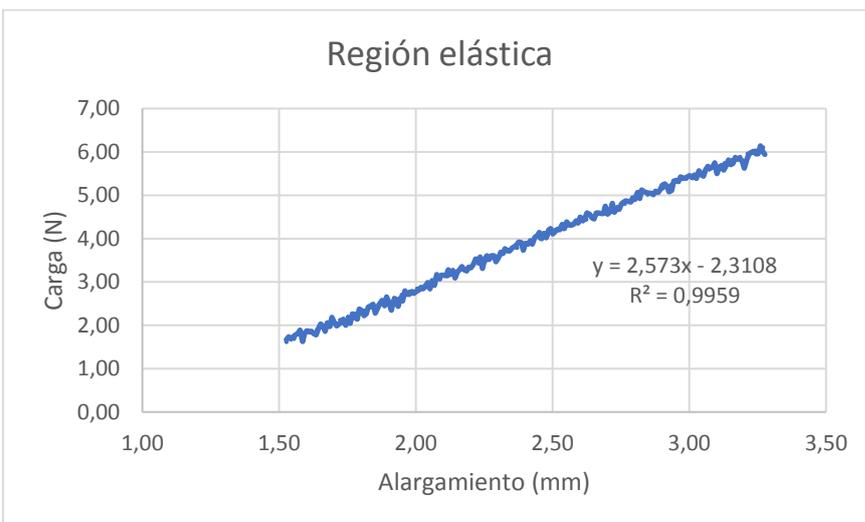
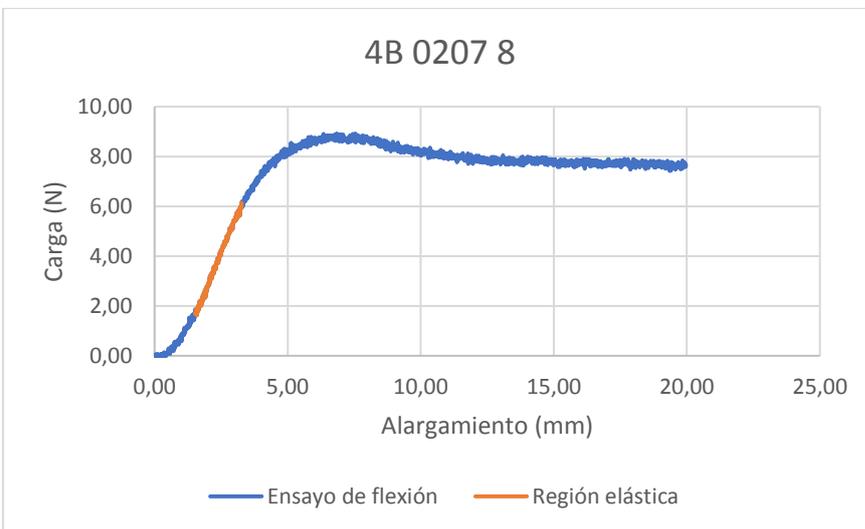
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0207 8

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,79 | 22,92 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 8,92 | 2,439 | 4,32 | 111,35 |



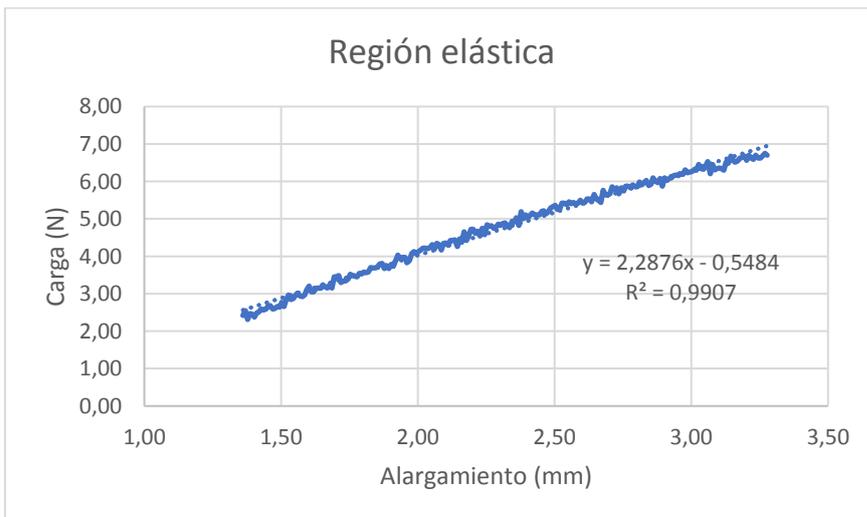
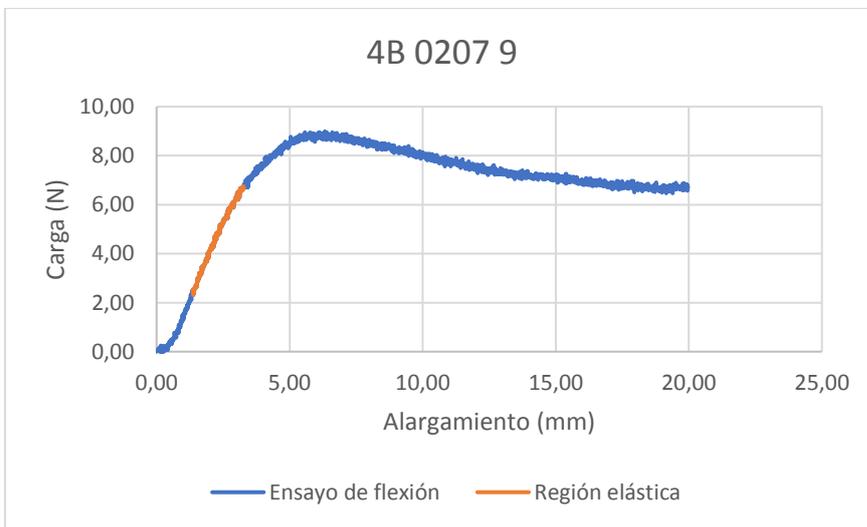
Anexo IV

Identificación: 4B 0207 9

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,53 | 23,47 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 8,98 | 2,765 | 3,73 | 119,66 |



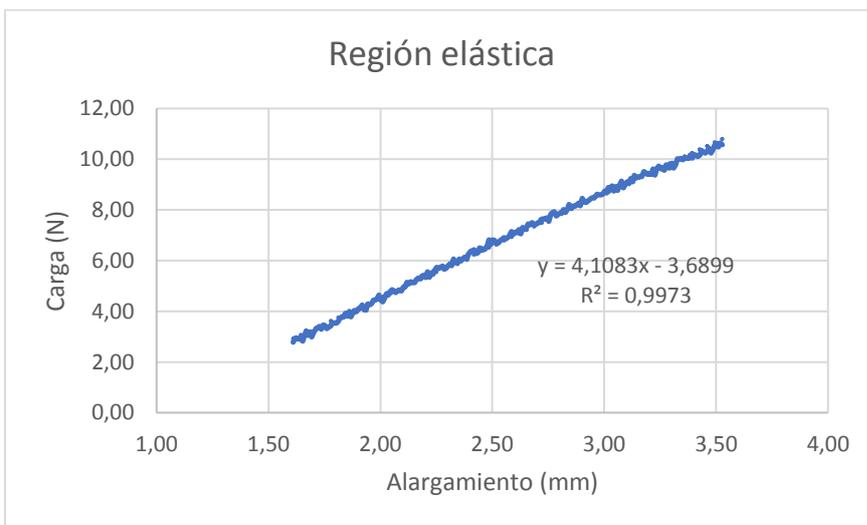
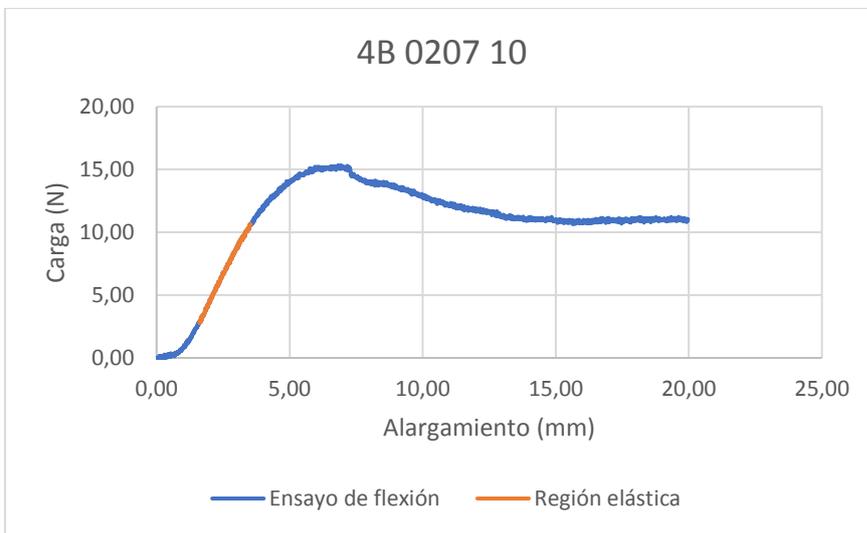
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0207 10

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,08 | 22,83 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 15,33 | 6,370 | 3,50 | 332,58 |



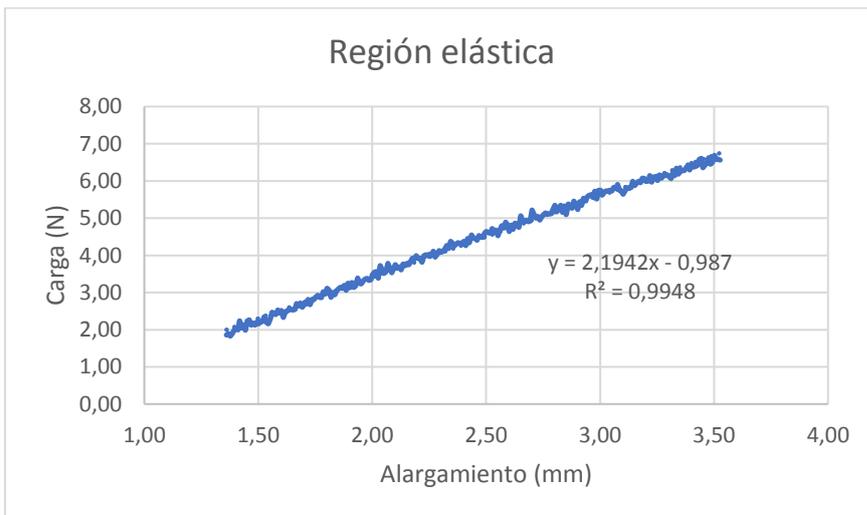
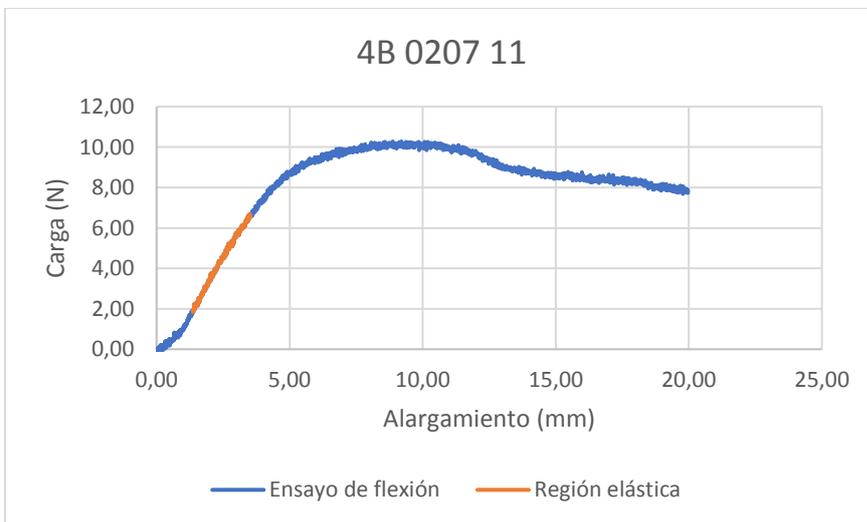
Anexo IV

Identificación: 4B 0207 11

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 4,53 | 22,77 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 10,28 | 1,980 | 6,70 | 55,98 |



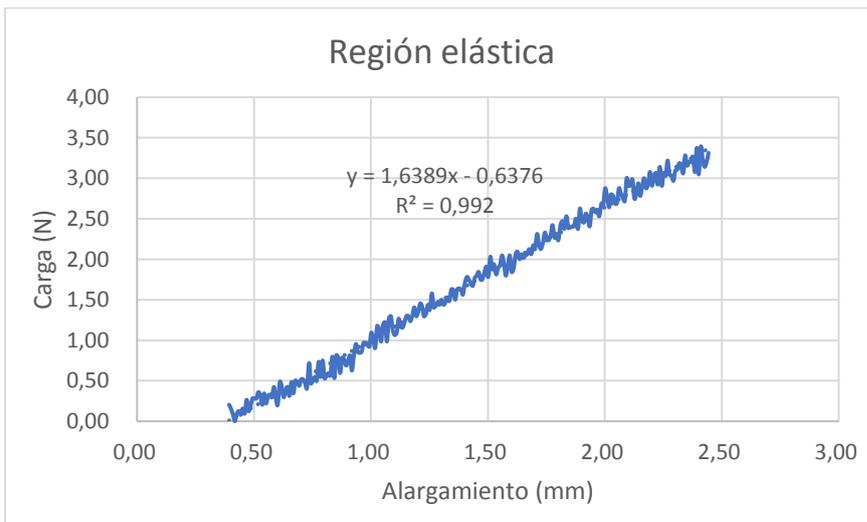
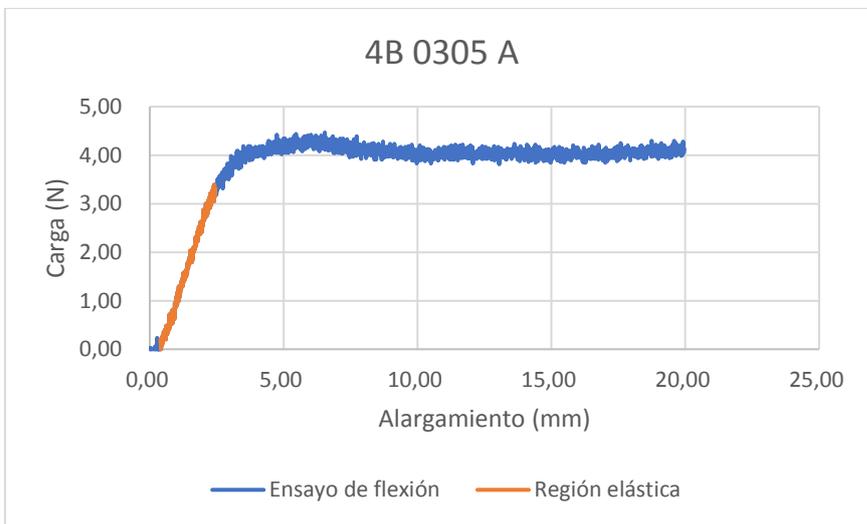
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0305 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,98 | 19,52 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 4,47 | 1,301 | 4,34 | 71,92 |



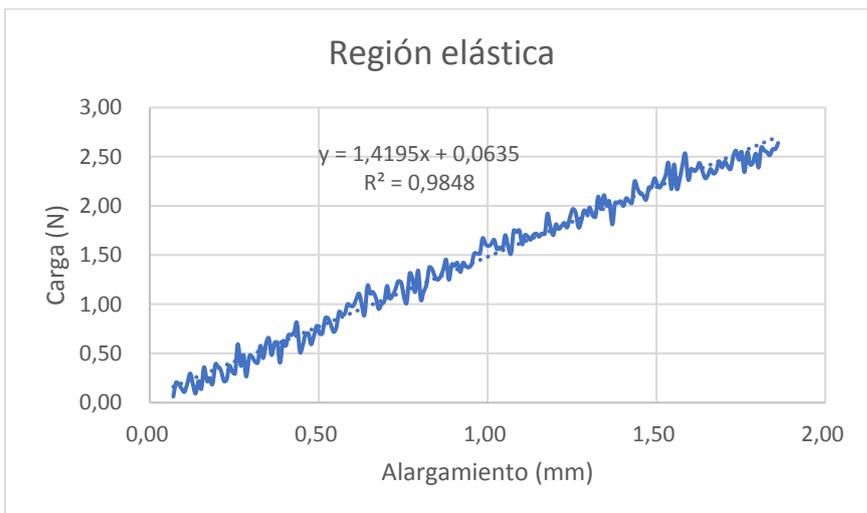
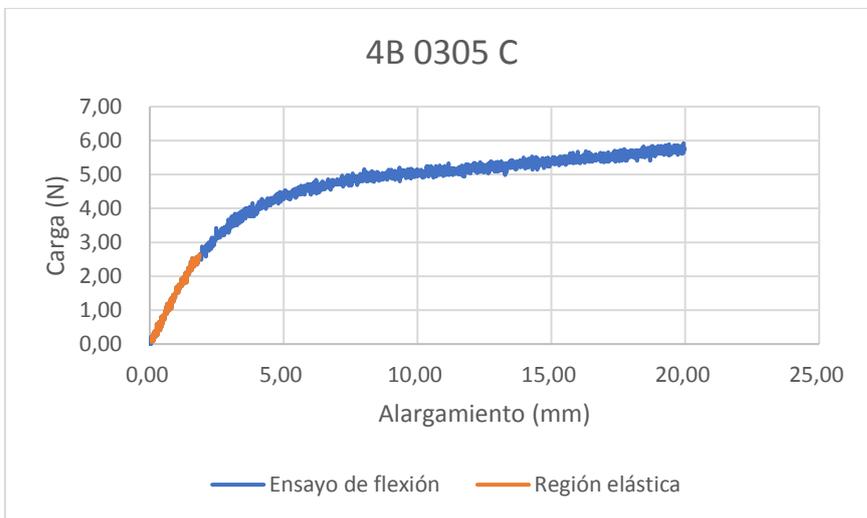
Anexo IV

Identificación: 4B 0305 C

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 4,41 | 17,74 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 5,16 | 1,345 | 14,65 | 50,38 |



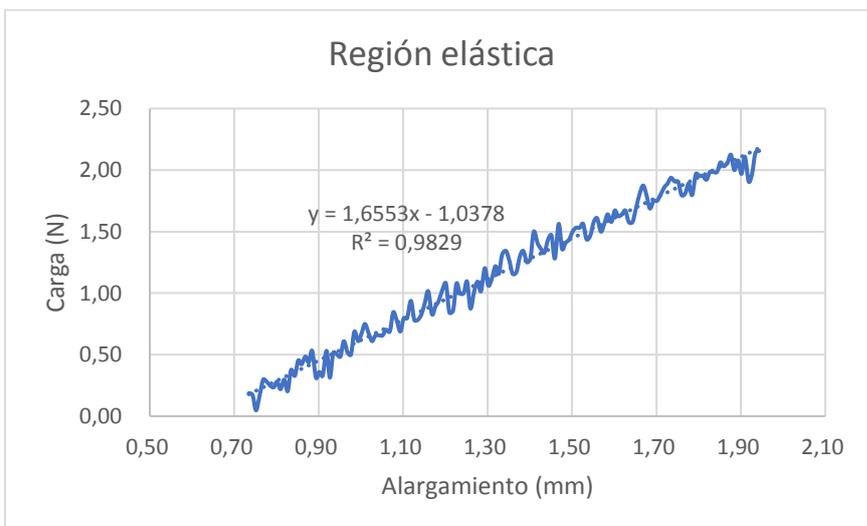
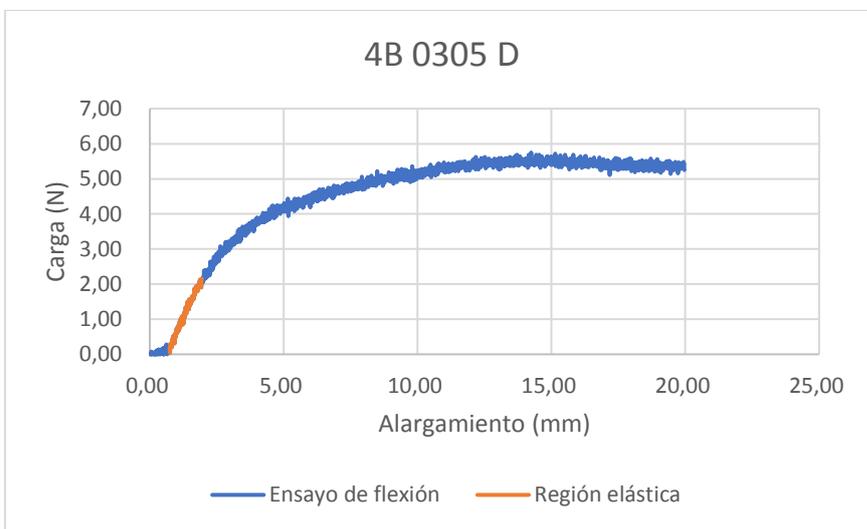
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0305 D

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 4,74 | 19,31 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 5,22 | 1,083 | 11,25 | 43,47 |



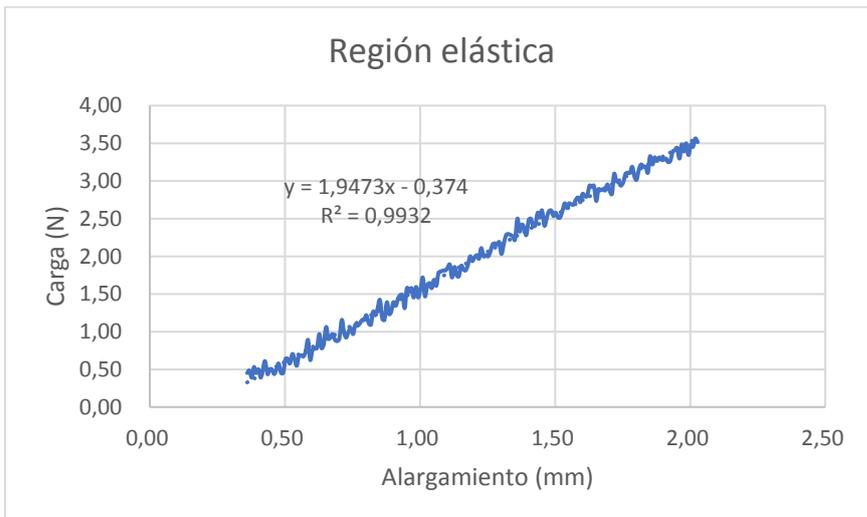
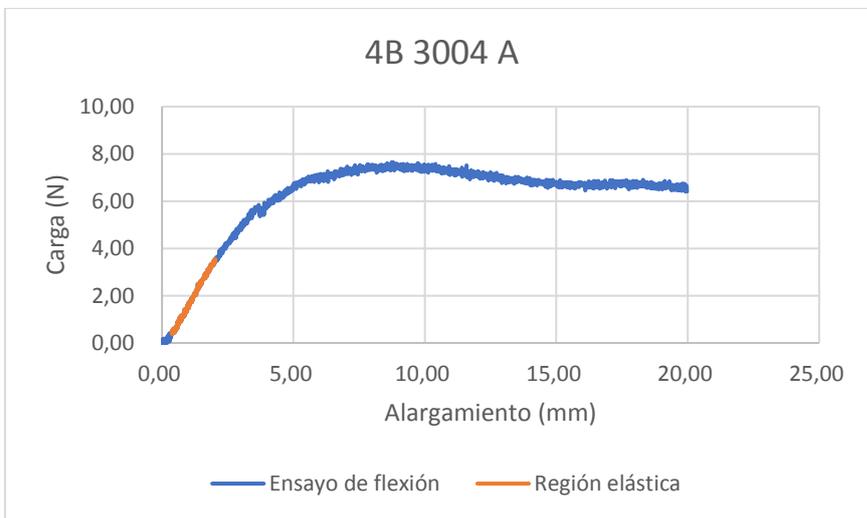
Anexo IV

Identificación: 4B 3004 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 2,83 | 18,63 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 7,66 | 4,618 | 4,12 | 249,03 |



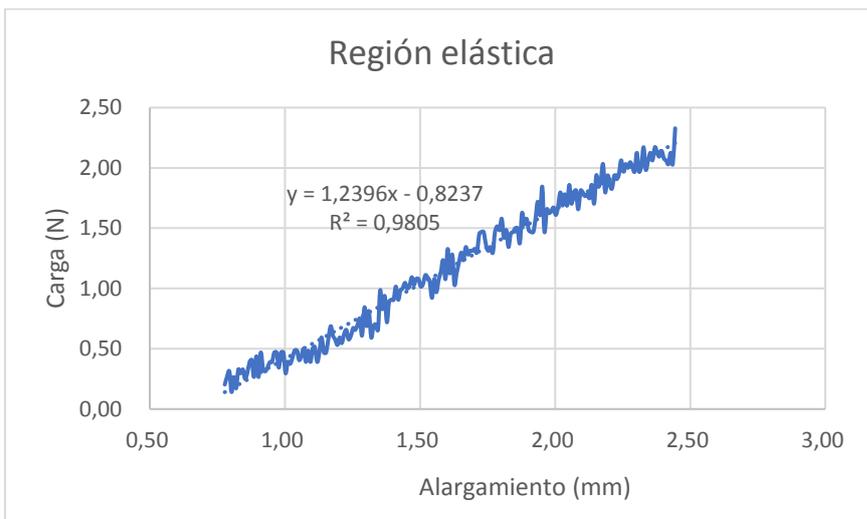
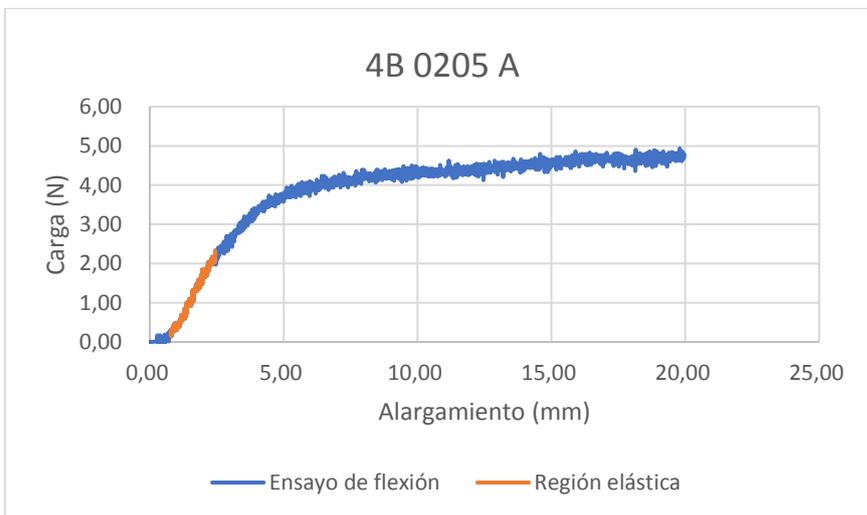
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 0205 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,54 | 19,78 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 4,41 | 1,600 | 11,68 | 76,29 |



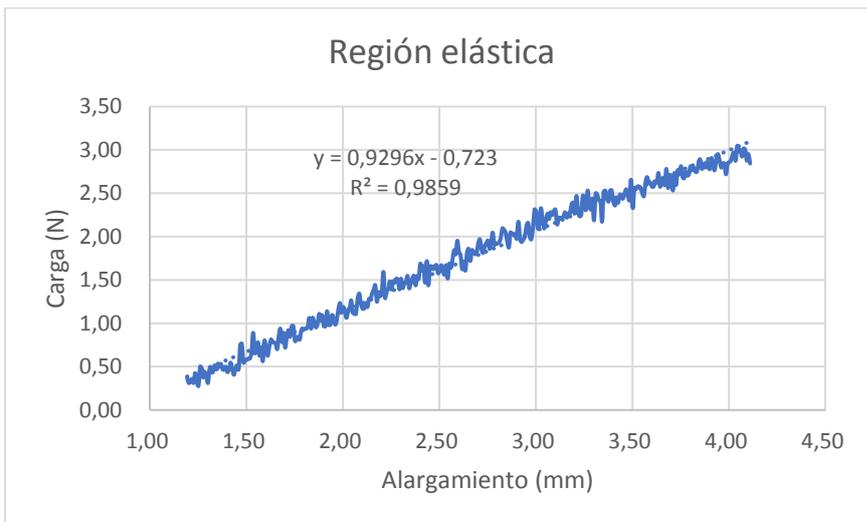
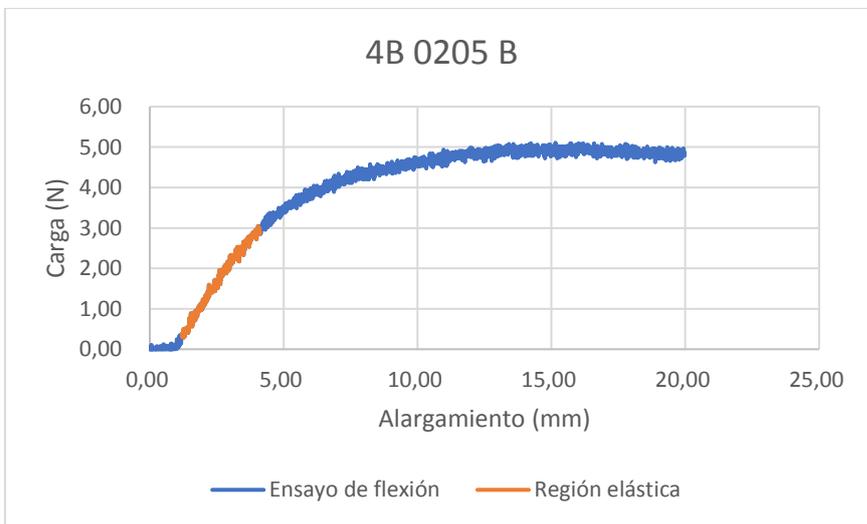
Anexo IV

Identificación: 4B 0205 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,11 | 19,53 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 4,64 | 2,211 | 7,85 | 85,45 |



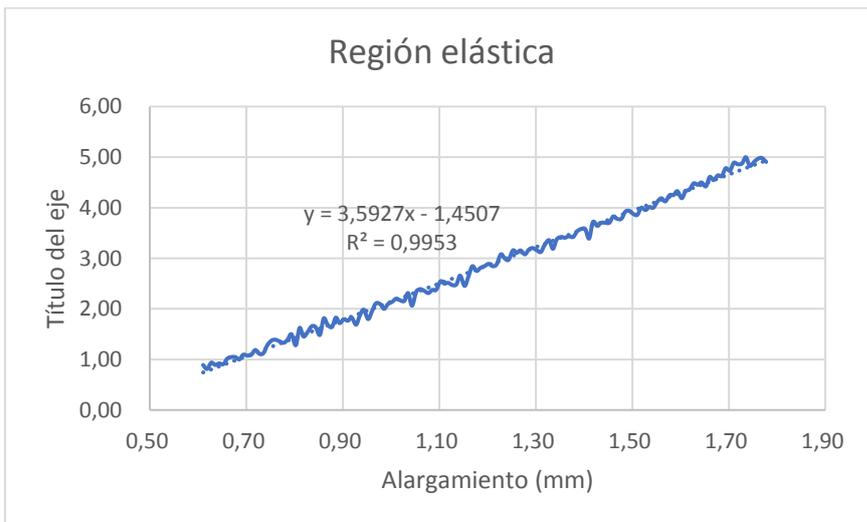
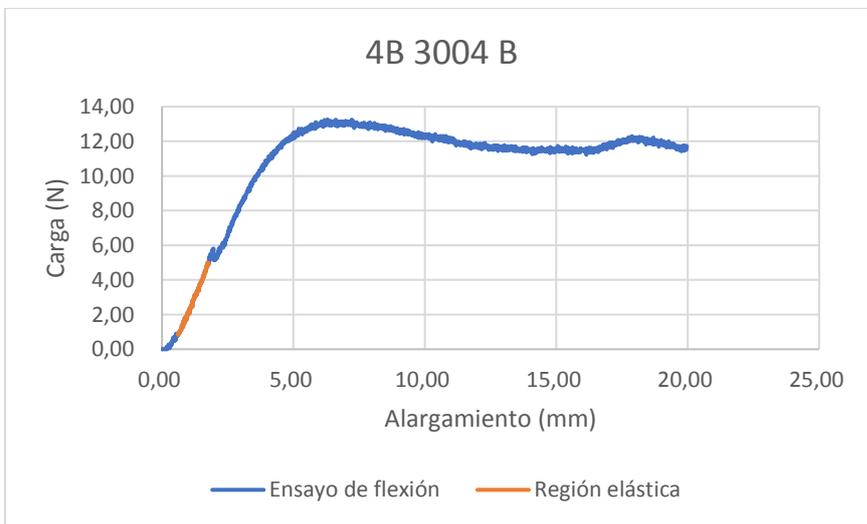
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 4B 3004 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 4 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,83 | 18,69 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 13,27 | 4,355 | 4,02 | 184,76 |



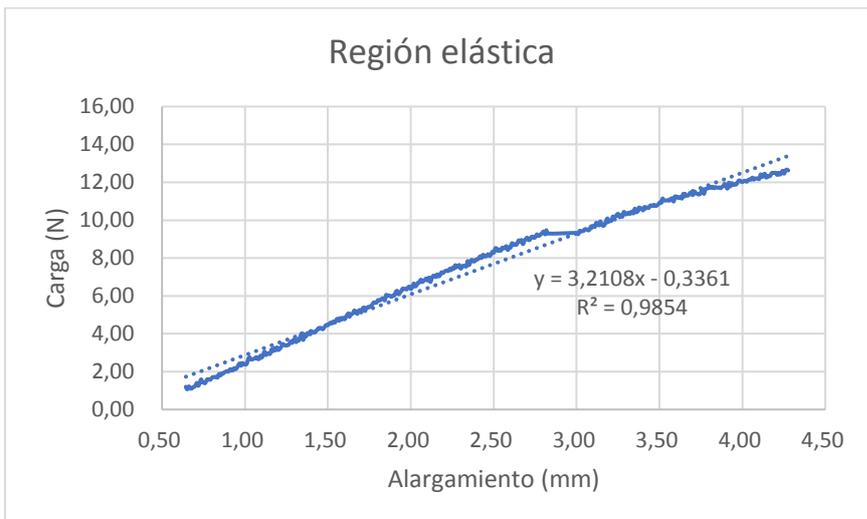
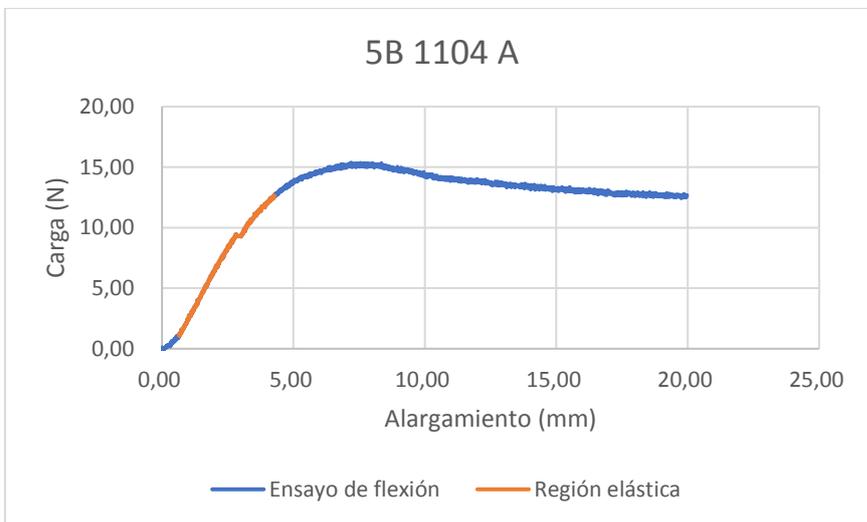
Anexo IV

Identificación: 5B 1104 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 5,55 | 21,05 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 15,36 | 2,132 | 6,65 | 48,18 |



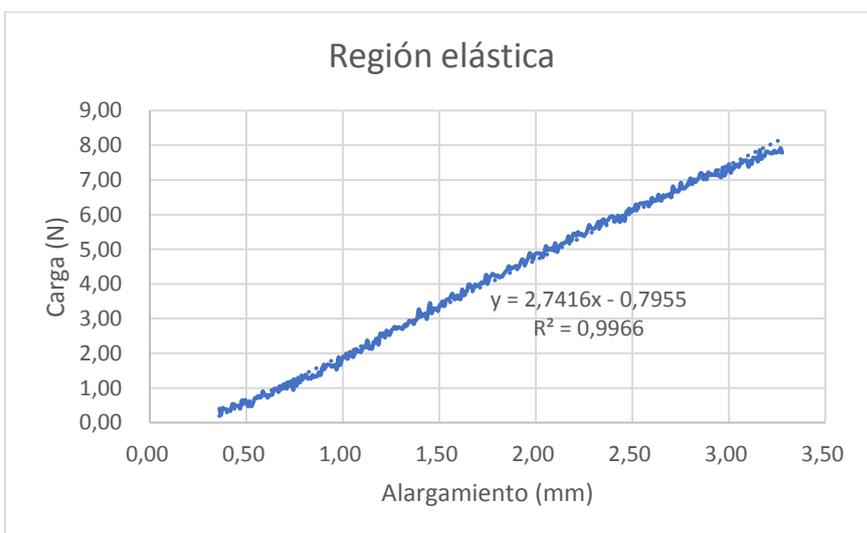
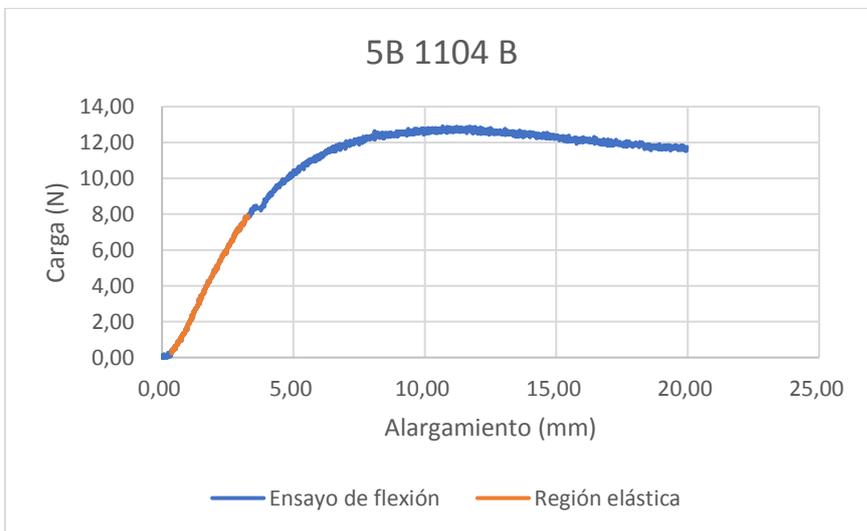
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 1104 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 5,42 | 19,22 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 12,91 | 2,057 | 9,65 | 48,39 |



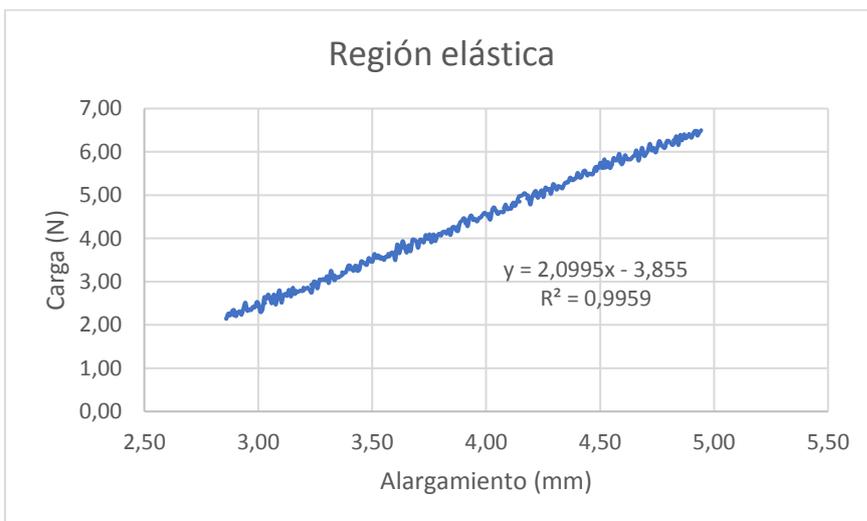
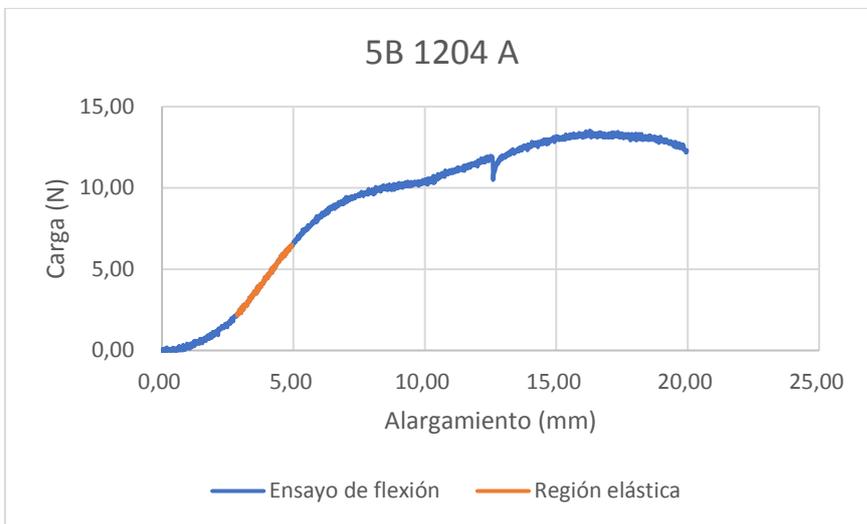
Anexo IV

Identificación: 5B 1204 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 7,01 | 25,01 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 10,50 | 0,769 | 19,02 | 13,16 |



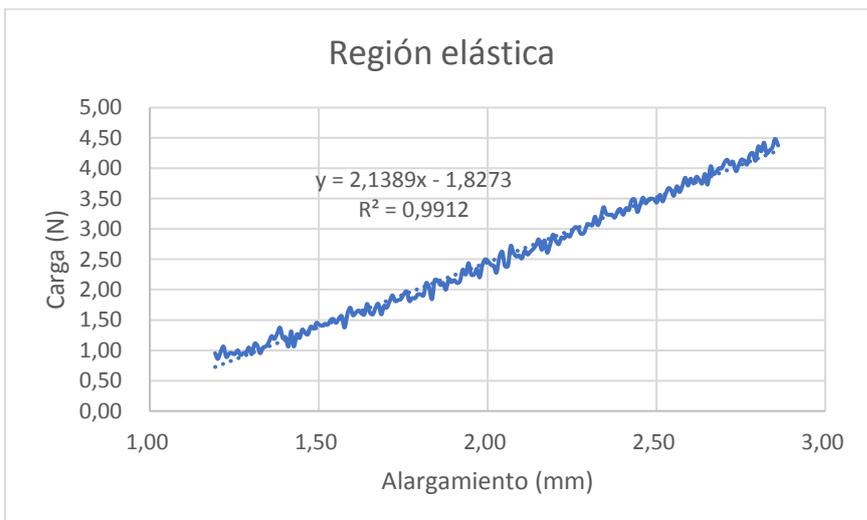
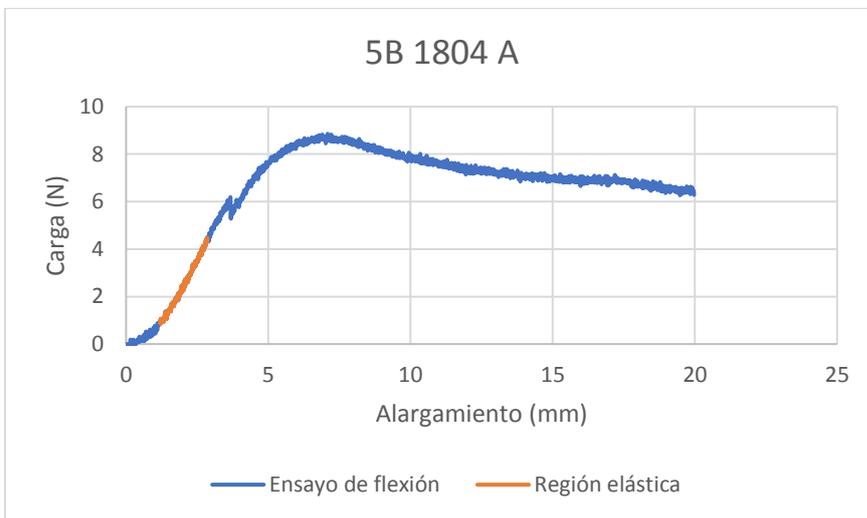
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 1804 A

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 4,03 | 24,15 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 8,86 | 2,033 | 4,76 | 73,07 |



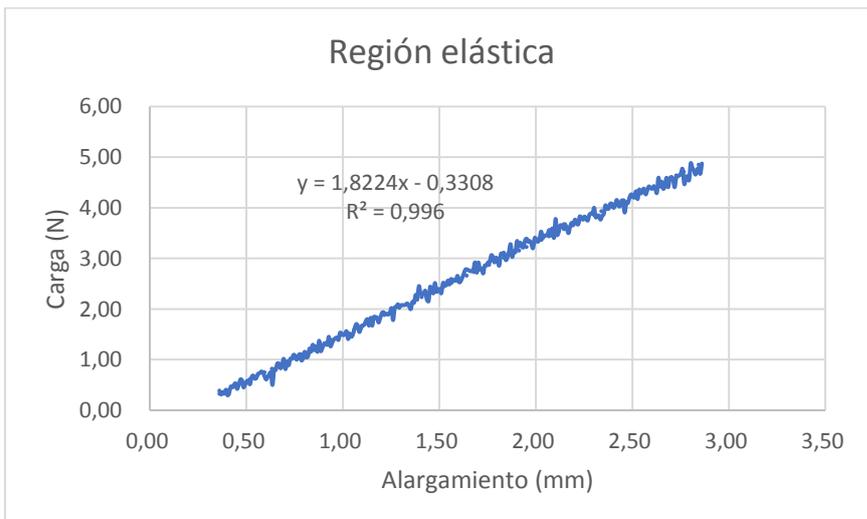
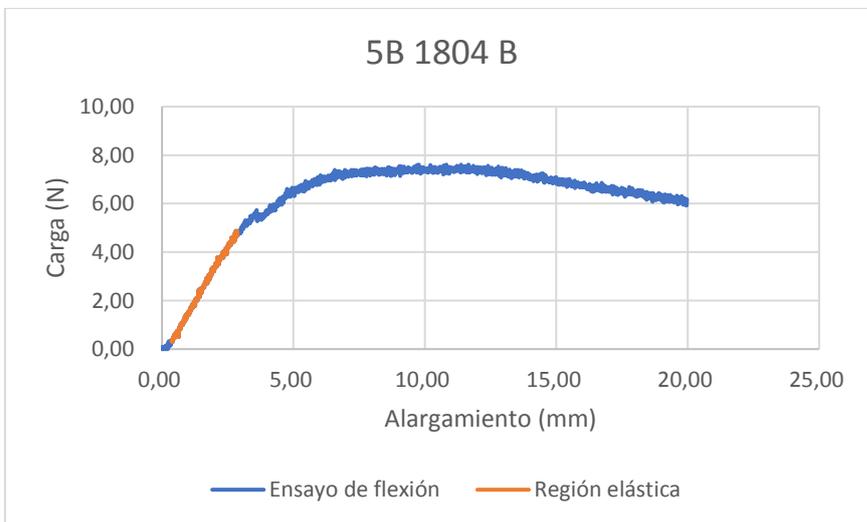
Anexo IV

Identificación: 5B 1804 B

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:1 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 3,83 | 18,69 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 7,61 | 1,553 | 6,94 | 52,38 |



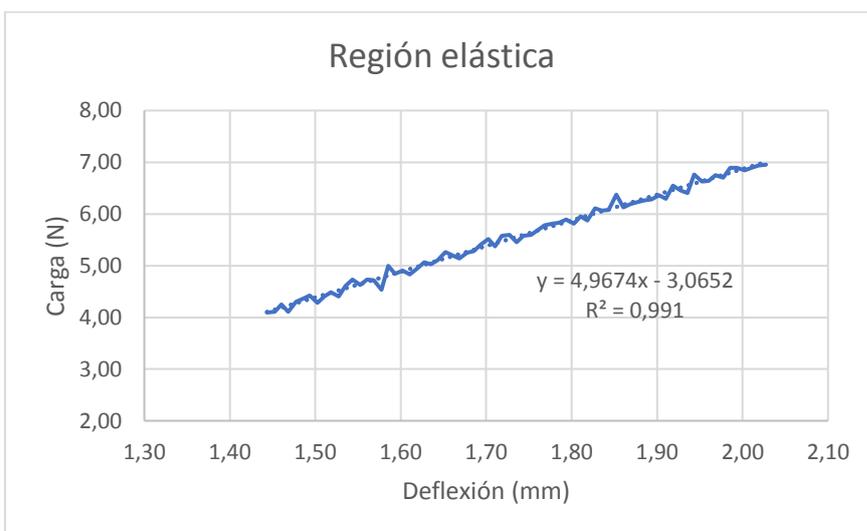
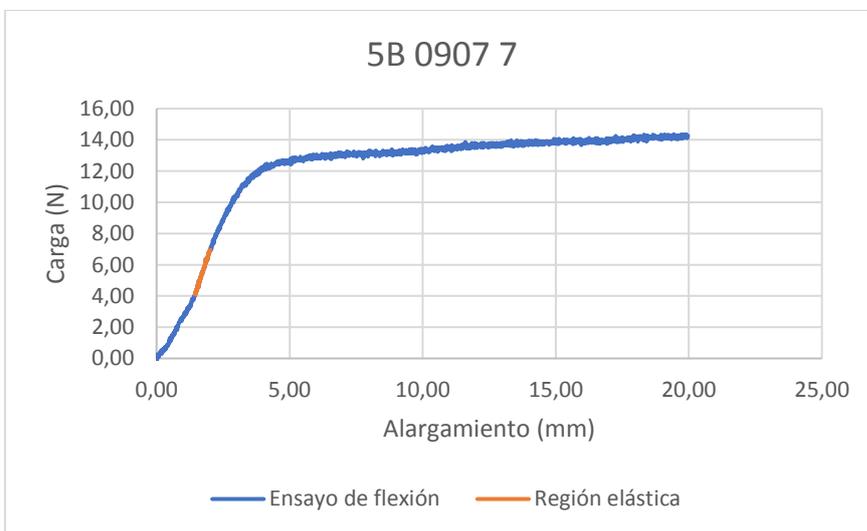
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 0907 7

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 6,43 | 23,64 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 13,16 | 1,211 | 20,83 | 42,68 |



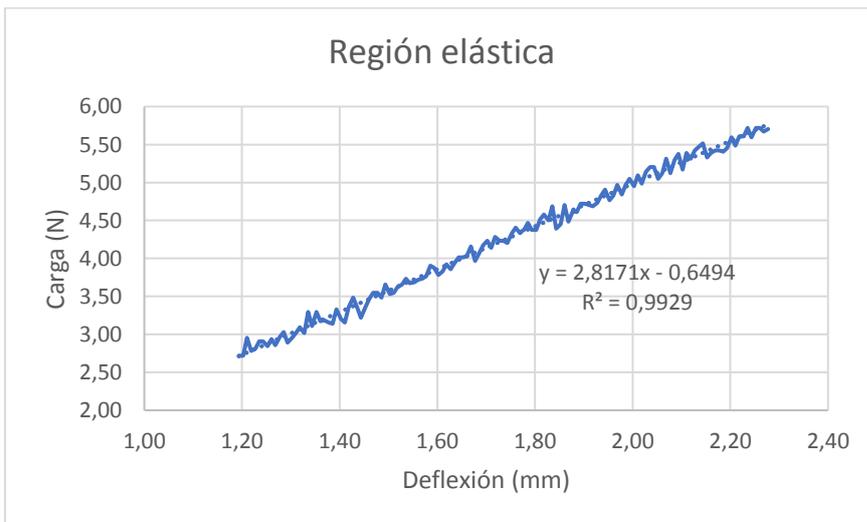
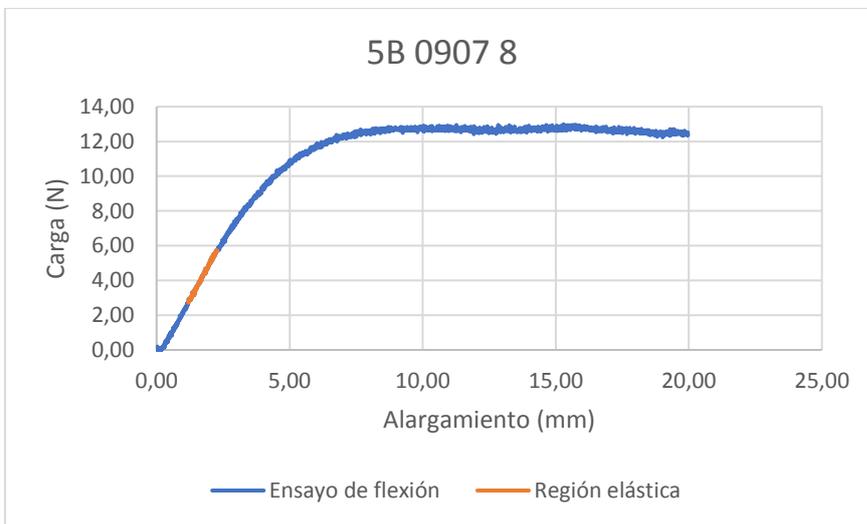
Anexo IV

Identificación: 5B 0907 8

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 6,44 | 22,33 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 12,91 | 1,254 | 16,41 | 25,51 |

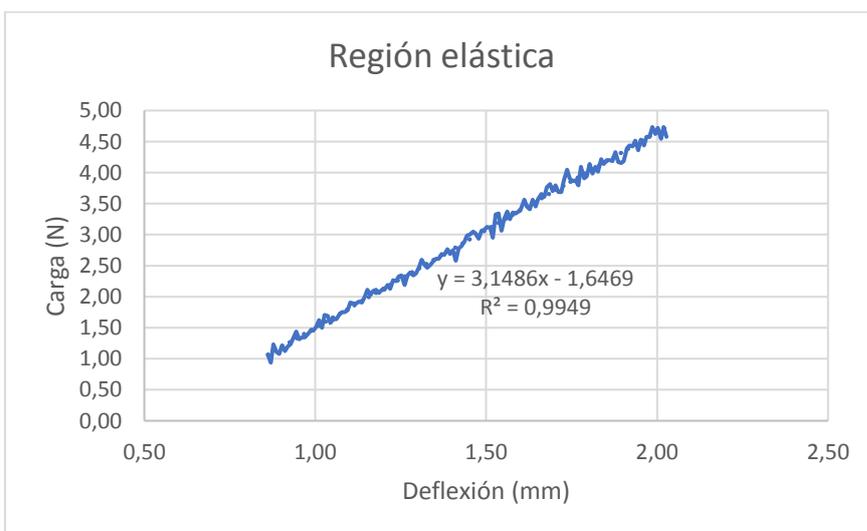
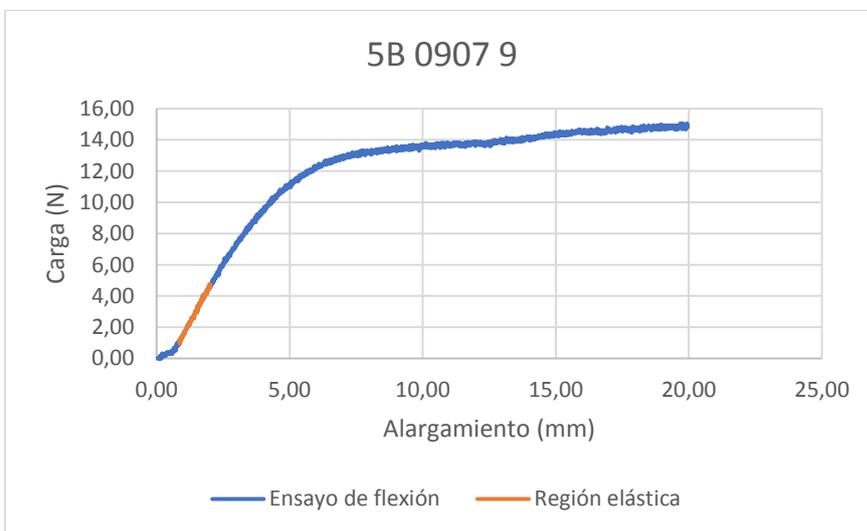


Identificación: 5B 0907 9

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 7,37 | 21,86 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 13,70 | 1,039 | 24,18 | 19,43 |



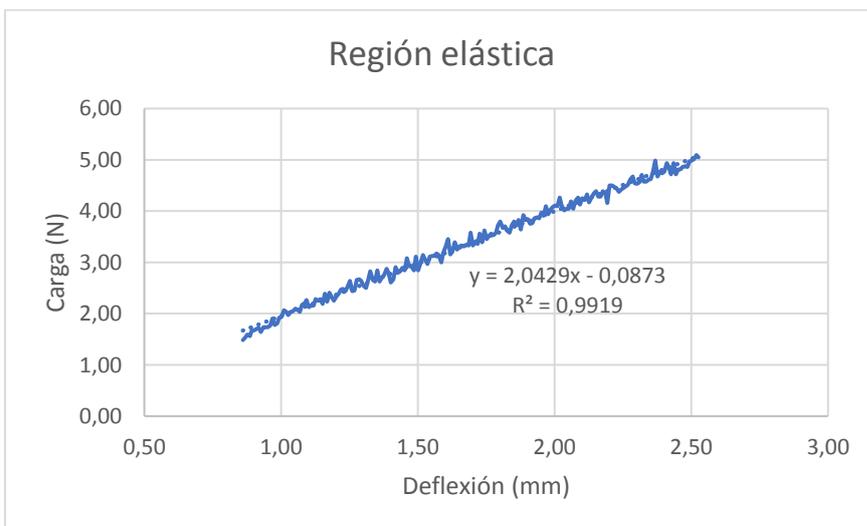
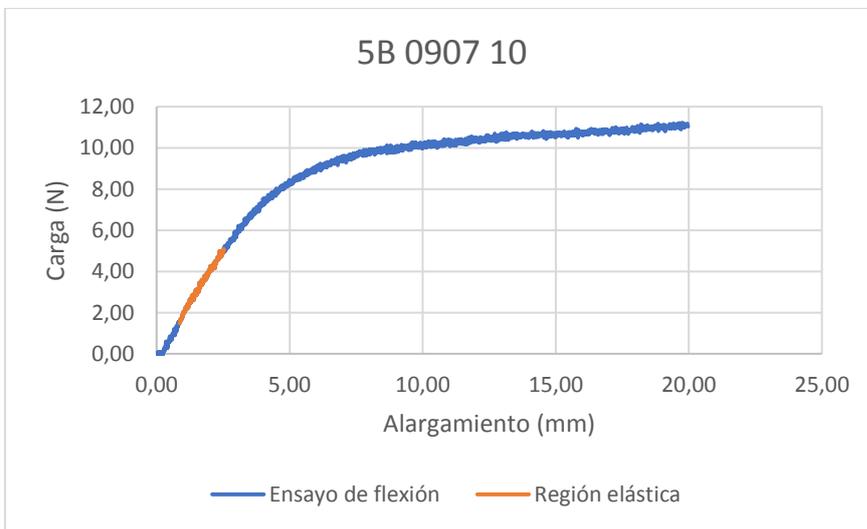
Anexo IV

Identificación: 5B 0907 10

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 5,69 | 23,95 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 10,33 | 1,199 | 18,73 | 25,00 |



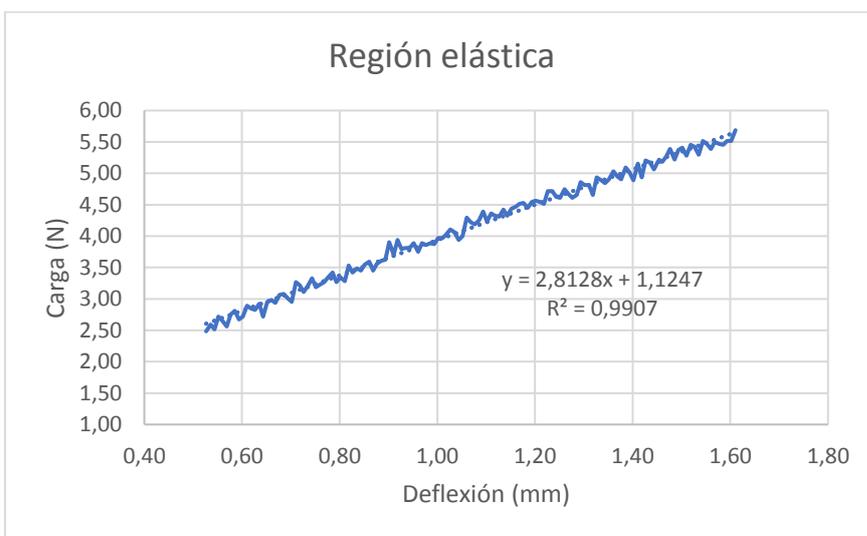
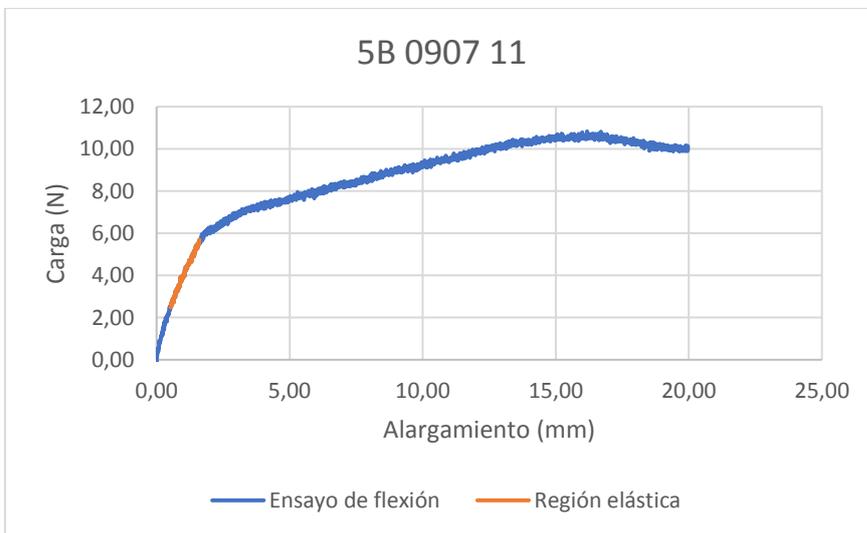
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: 5B 0907 11

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 7,41 | 21,99 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 8,02 | 0,597 | 19,98 | 16,98 |



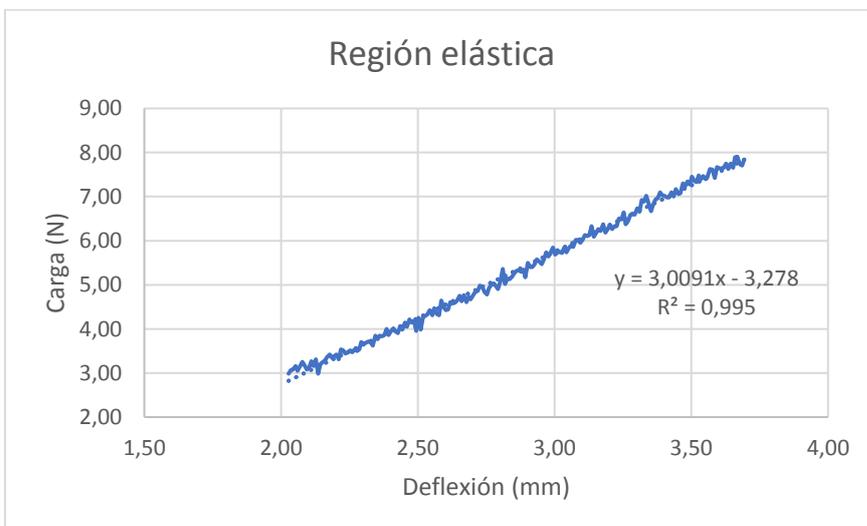
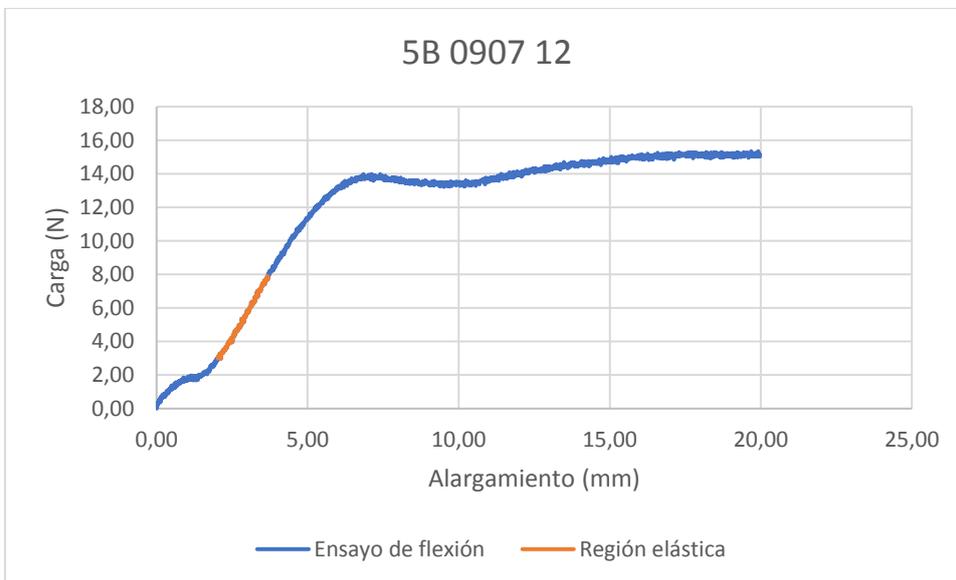
Anexo IV

Identificación: 5B 0907 12

| Composición | | |
|---------------------|-----------------|----------------|
| Material vegetal | Número de capas | Agua : Almidón |
| Badana de platanera | 5 | 5:2 |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 8,71 | 22,73 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 13,97 | 0,729 | 28,58 | 10,82 |



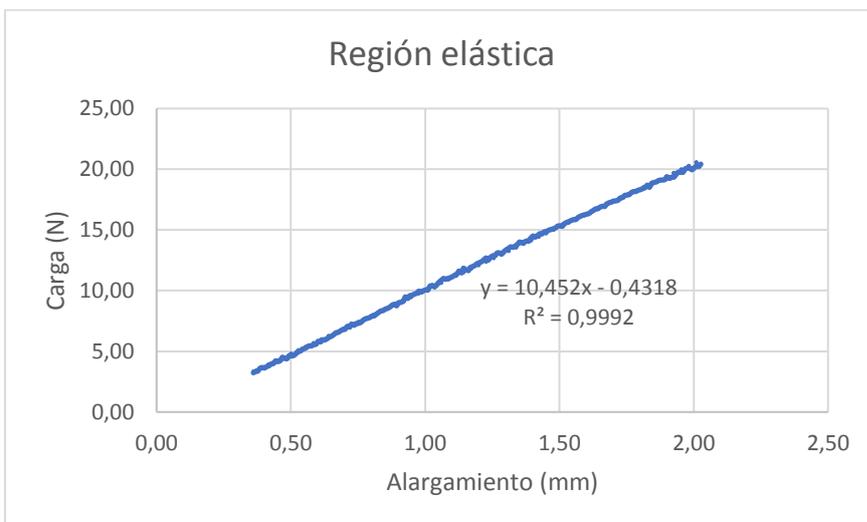
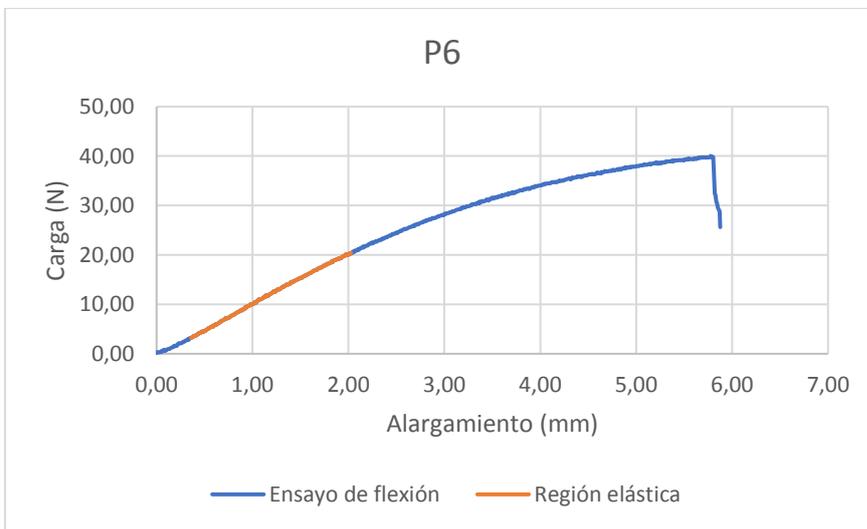
ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales

Identificación: P6

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 2,16 | 23,70 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 40,03 | 32,558 | 2,08 | 2363,11 |



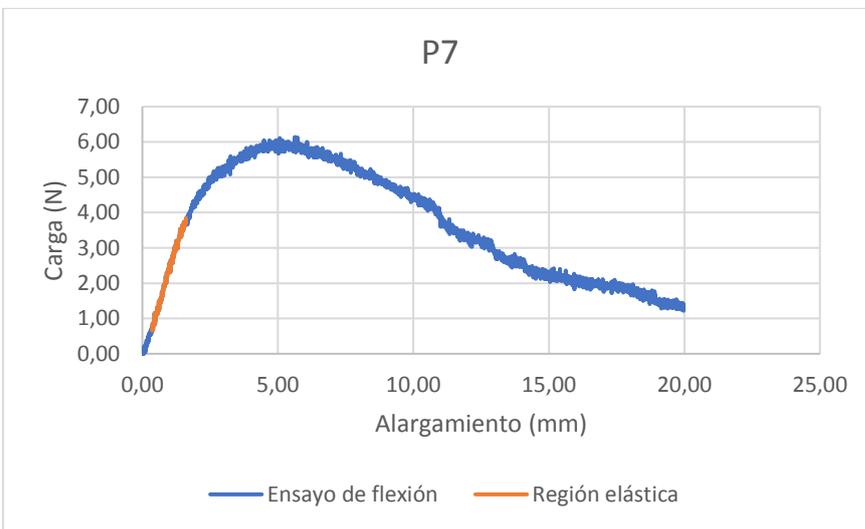
Anexo IV

Identificación: P7

| Composición |
|------------------------------|
| Material vegetal (Comercial) |
| Hojas de palma |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,90 | 21,39 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 6,14 | 7,157 | 1,78 | 926,53 |

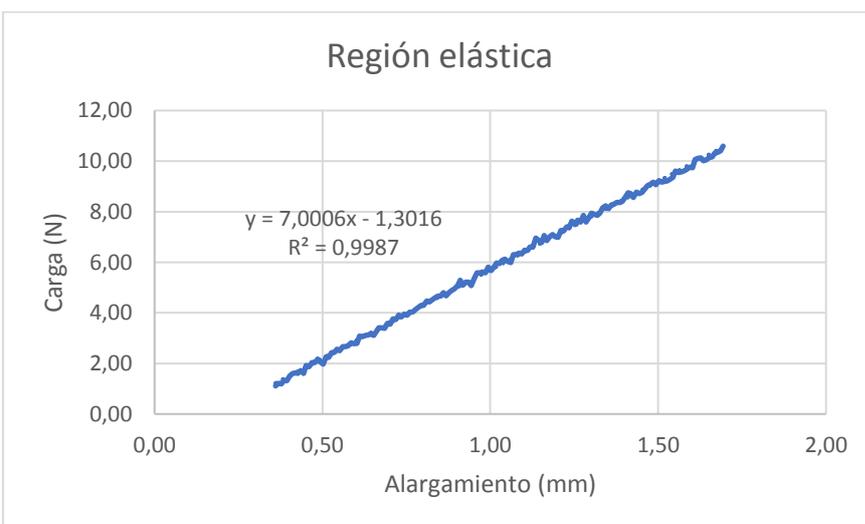
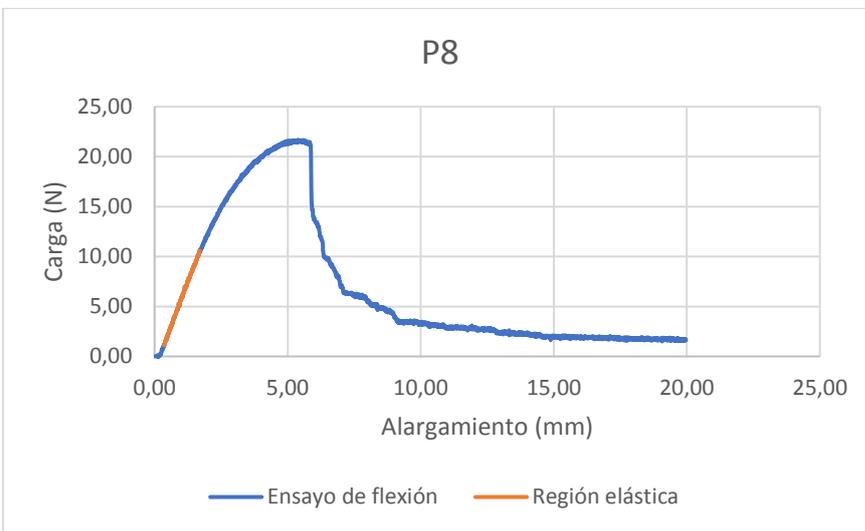


Identificación: P8

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 2,22 | 23,65 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 21,69 | 16,746 | 2,00 | 1460,96 |



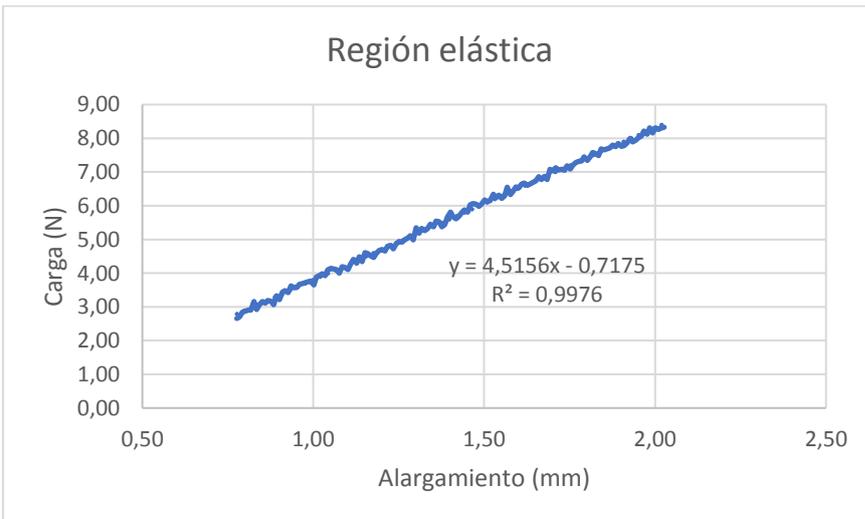
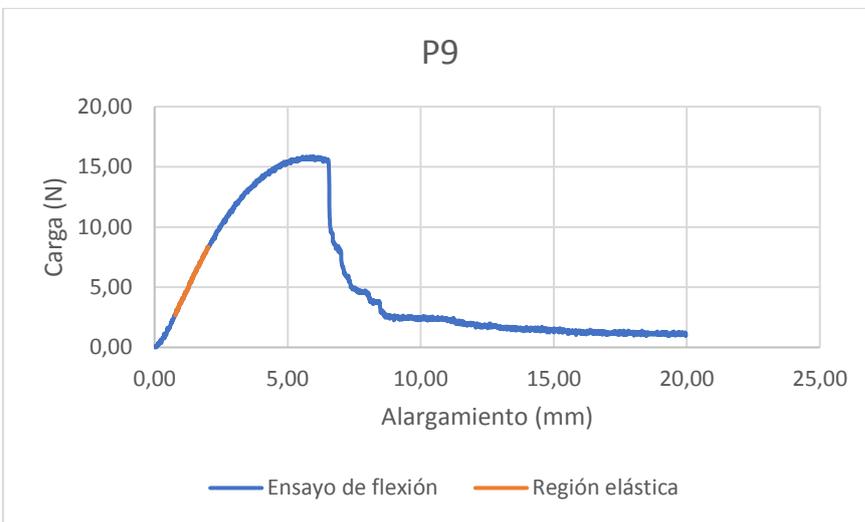
Anexo IV

Identificación: P9

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 1,74 | 23,21 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 15,88 | 20,332 | 1,73 | 1994,28 |

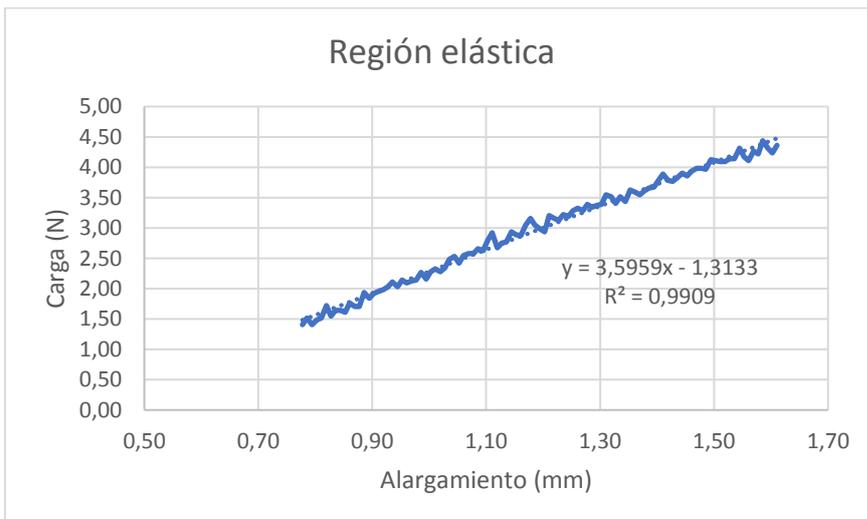
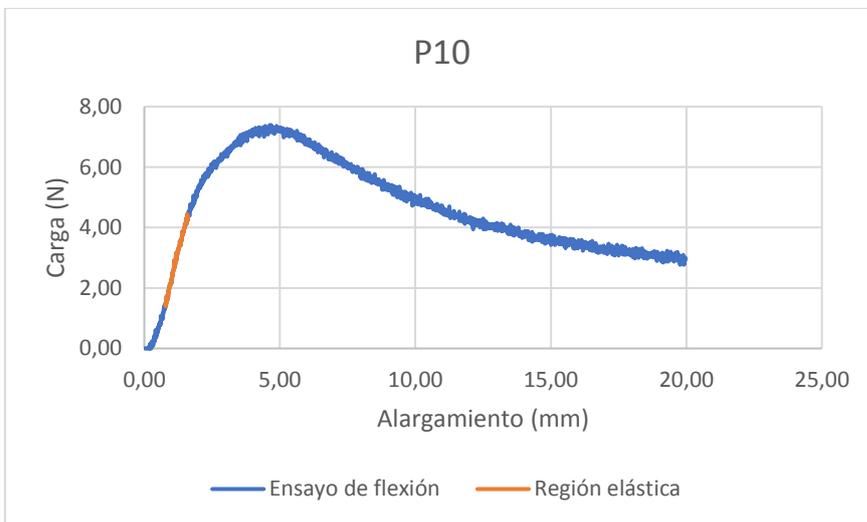


Identificación: P10

| Composición | |
|------------------------------|--|
| Material vegetal (Comercial) | |
| Hojas de palma | |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 2,50 | 22,18 | 60 |

| Carga máxima | Resistencia a la flexión | Deformación de flexión | Módulo en flexión |
|--------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| N | MPa | % | MPa |
| 7,39 | 4,798 | 1,93 | 560,30 |

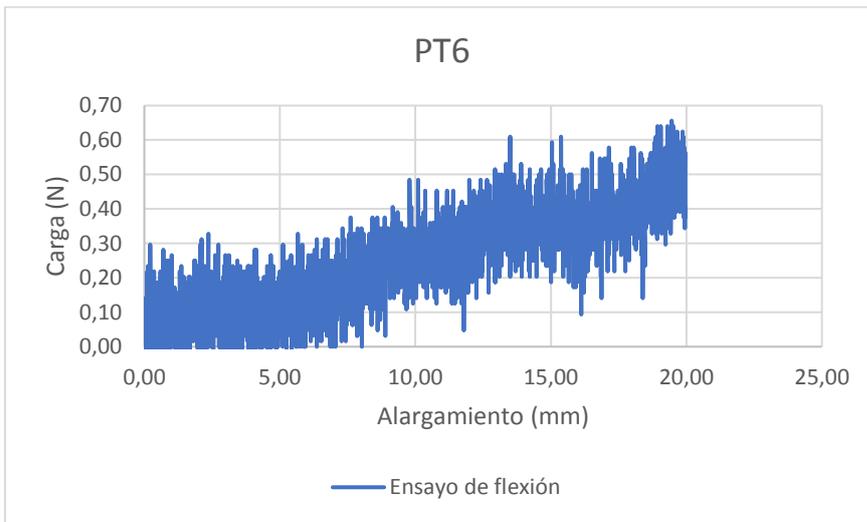


Anexo IV

Identificación: PT6

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

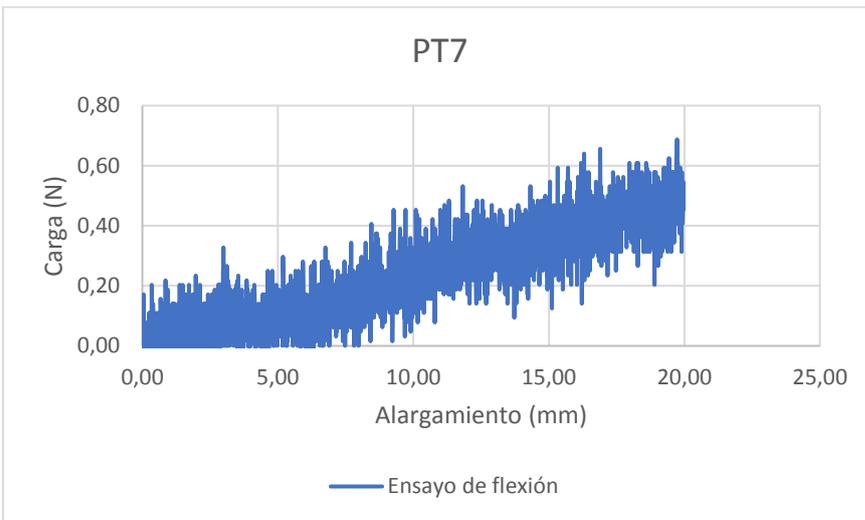
| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,38 | 29,34 | 60 |



Identificación: PT7

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,35 | 25,64 | 60 |

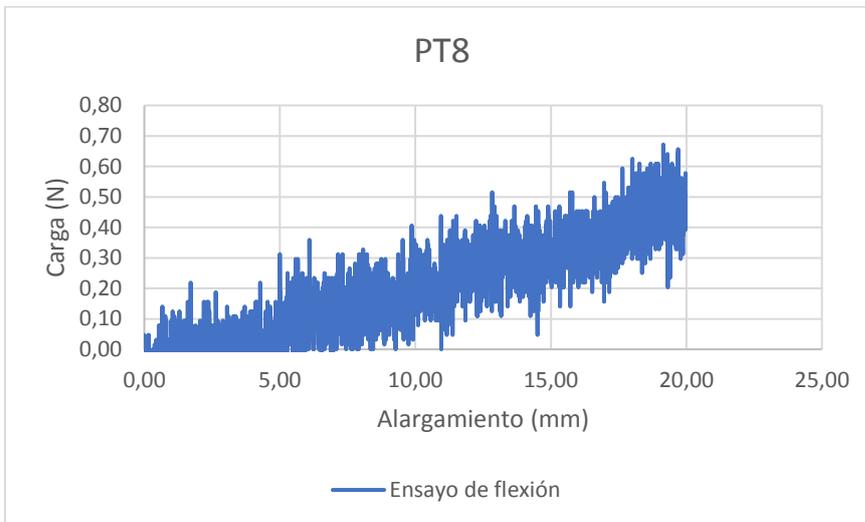


Anexo IV

Identificación: PT8

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

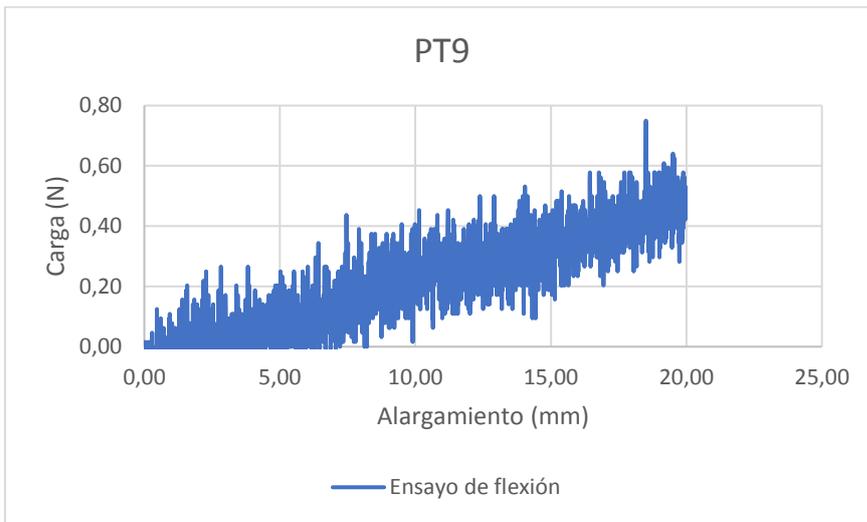
| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,41 | 24,66 | 60 |



Identificación: PT9

| Composición |
|----------------------|
| Polímero (Comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,31 | 26,37 | 60 |

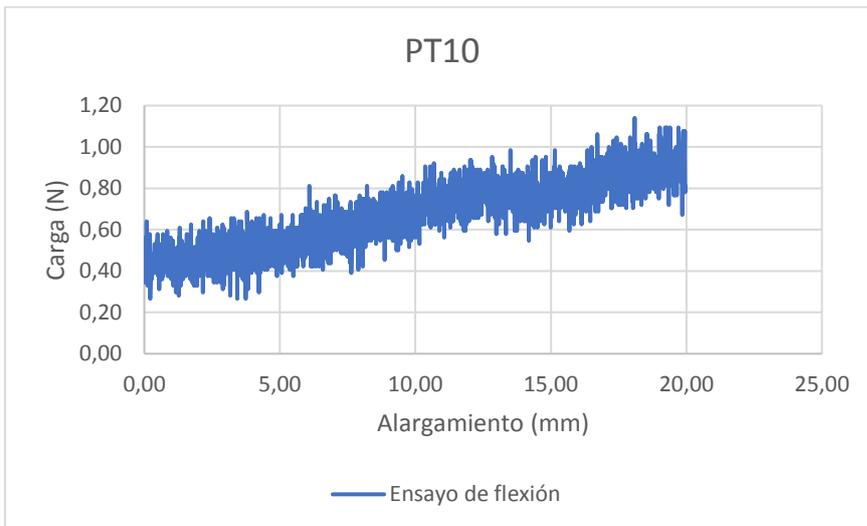


Anexo IV

Identificación: PT10

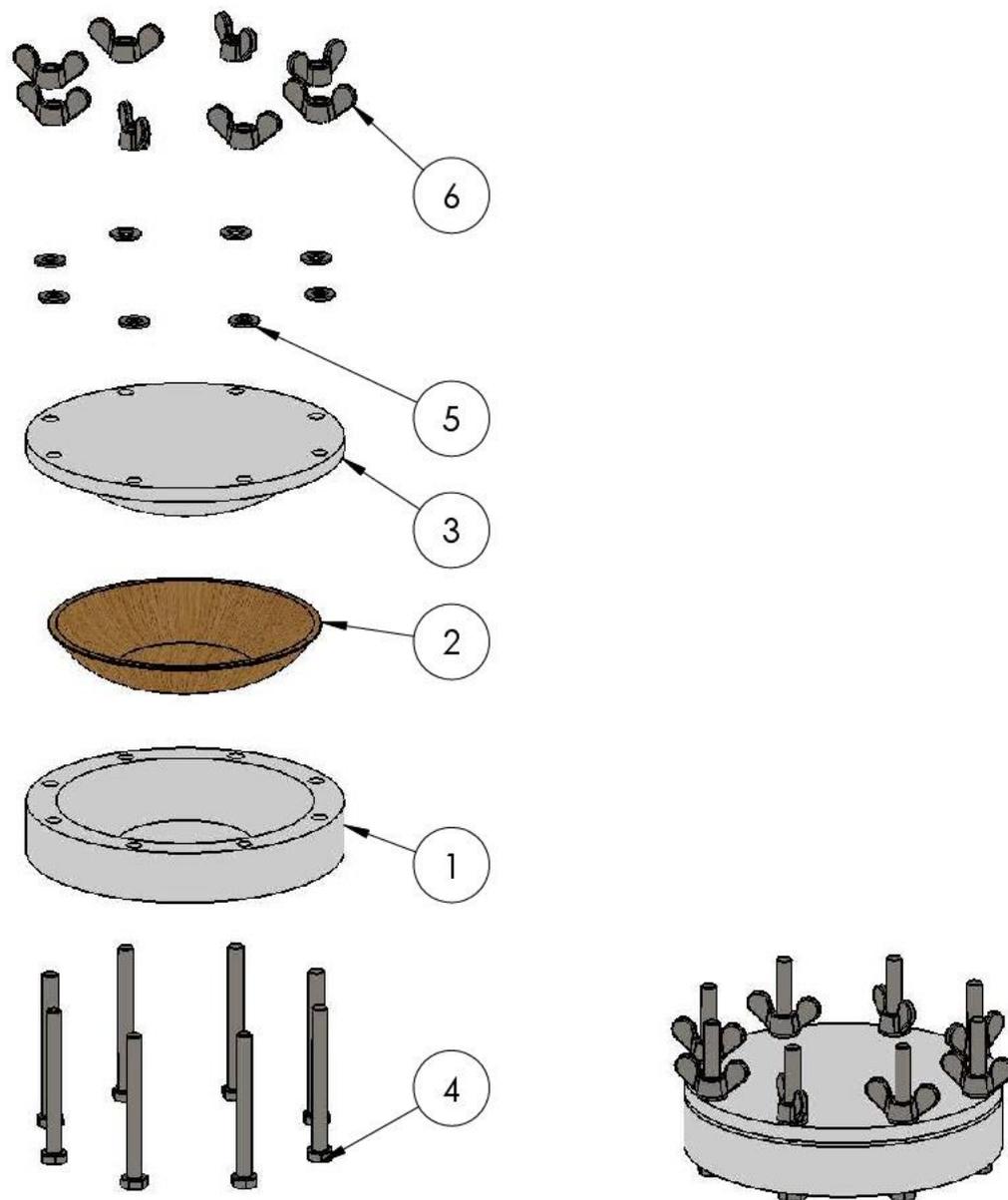
| Composición |
|----------------------|
| Polímero (comercial) |
| Polipropileno |

| Dimensiones | | |
|-------------|---------|------------------|
| Espesor | Anchura | Soporte inferior |
| mm | mm | mm |
| 0,29 | 25,78 | 60 |



Anexo V

12.5. Anexo V. Planos

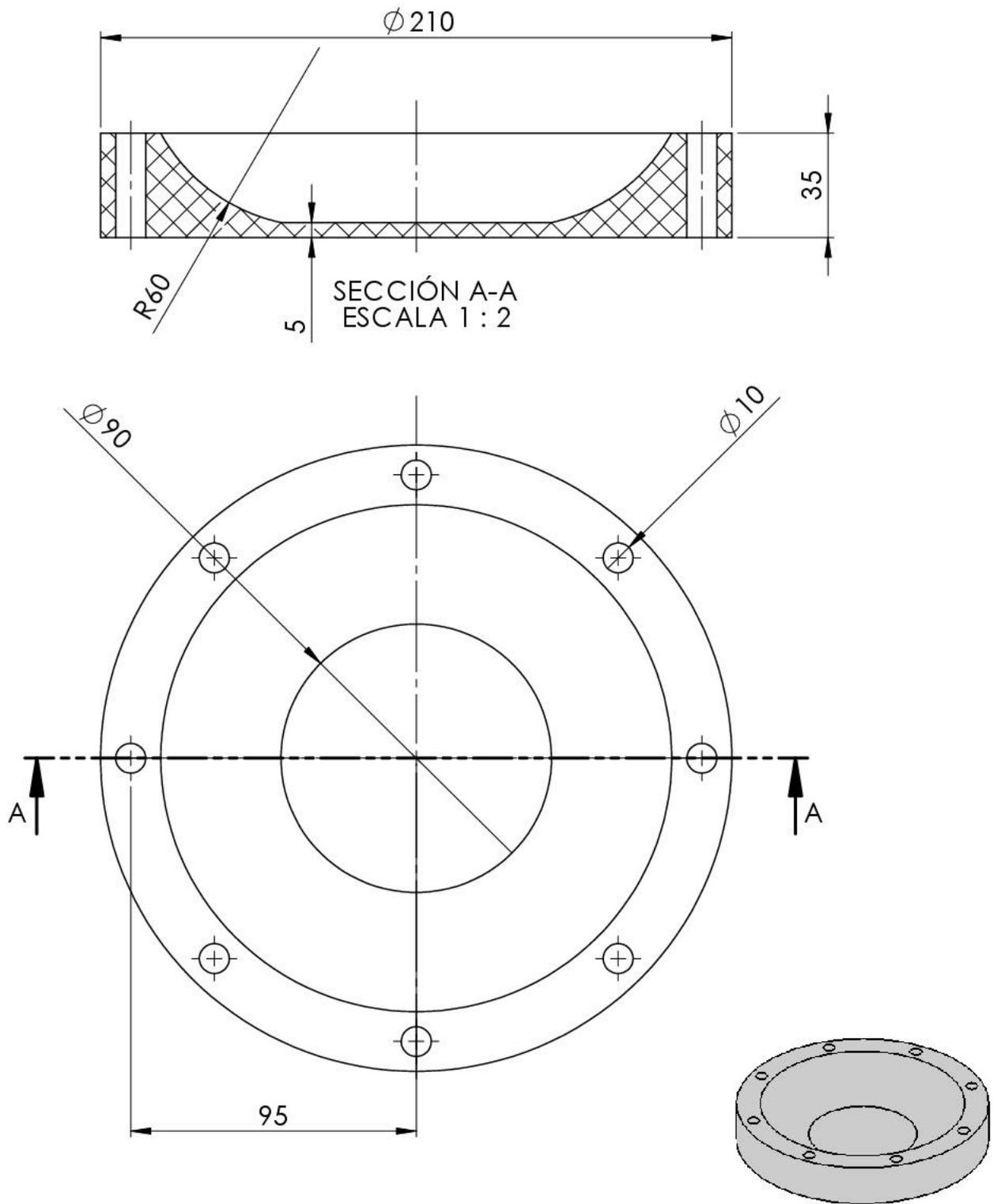


| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL RECOMENDADO | CANTIDAD |
|-----------------|---------------------------------|----------------------|----------|
| 1 | Base del molde | PLA | 1 |
| 2 | Plato | MATERIAL VEGETAL | 1 |
| 3 | Tapa del molde | PLA | 1 |
| 4 | ISO 8765 - M10x1.0 x 100 x 26-N | | 8 |
| 5 | Washer ISO 7089 - 10 | | 8 |
| 6 | DIN 315-M10-GT-C-N | | 8 |

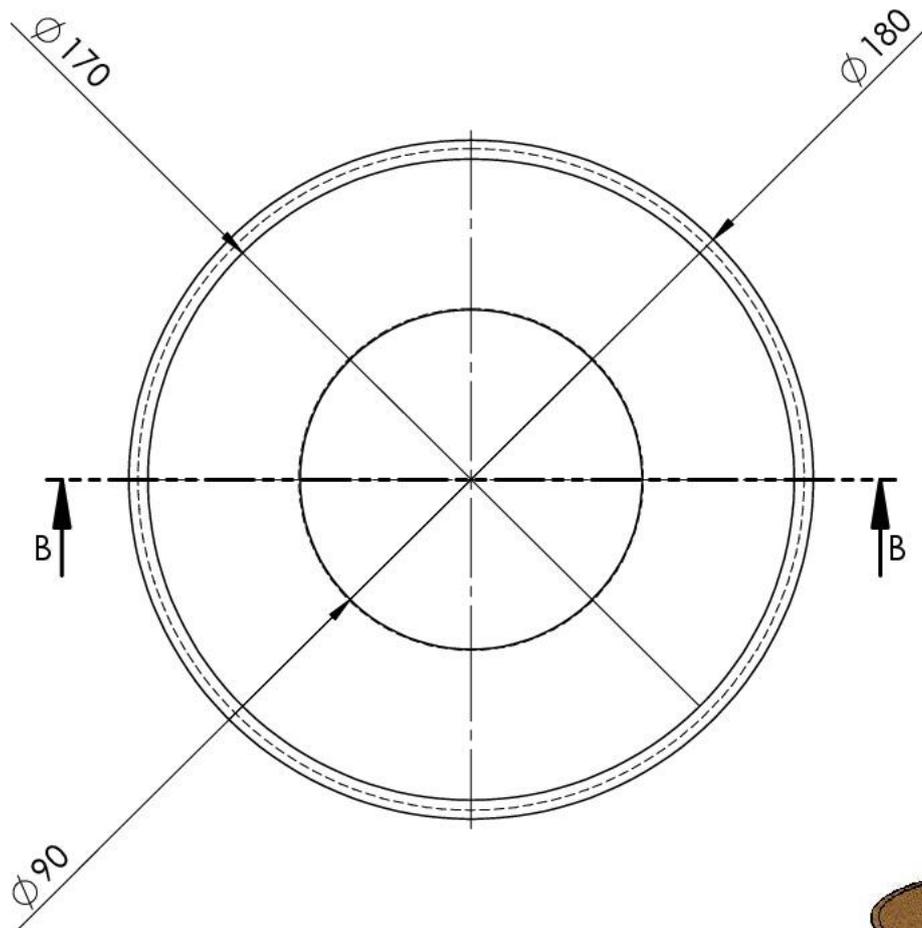
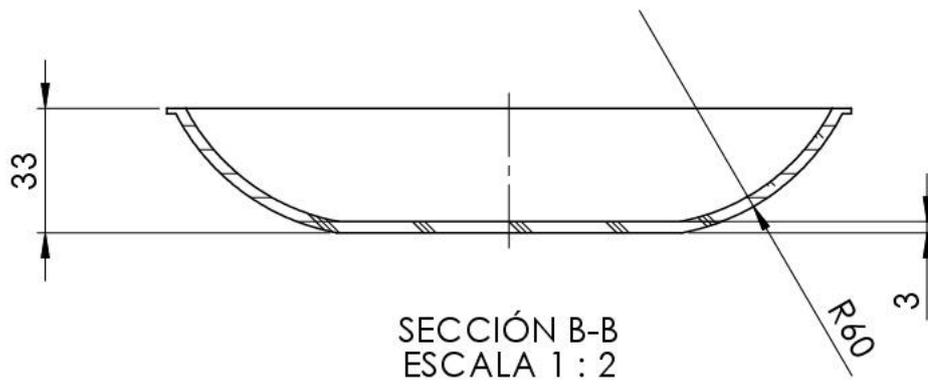
ECOPLATOS. Fabricación de platos desechables con residuos vegetales

| | | |
|-----------------|----------------|--|
| Curso 2017/2018 | Autor | ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna |
| Nombre | Carmen | |
| Apellidos | Corbella Pardo | |
| Id. s. normas | UNE-EN-DIN | |

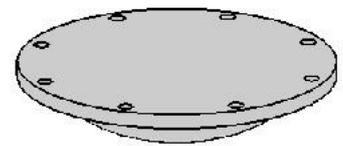
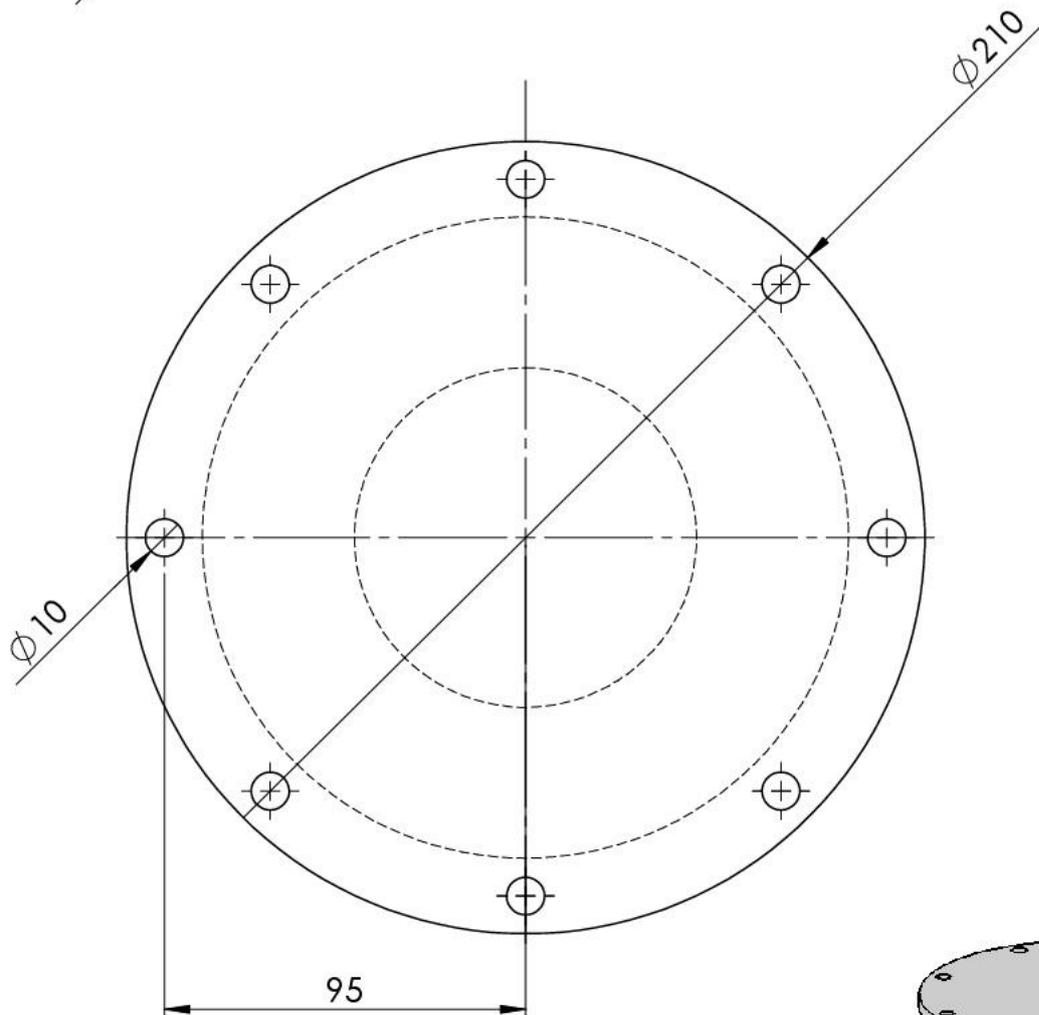
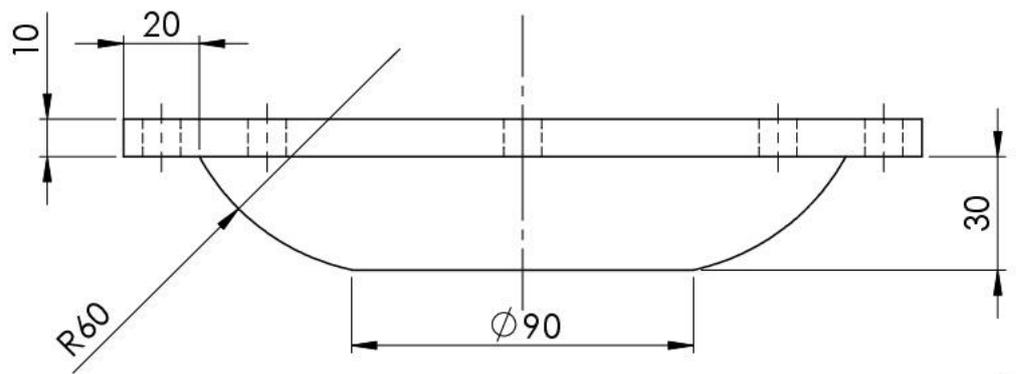
| | | | |
|----------------|---------------------------------------|--|-----------|
| ESCALA: 1:5 | CONJUNT.: MOLDE (BASE Y TAPA) Y PLATO | | Nº P. : 1 |
|----------------|---------------------------------------|--|-----------|



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL RECOMENDADO | CANTIDAD |
|---|----------------|-------------------------|-----------|
| 1 | Base del molde | PLA | 1 |
| ECOPLATOS. Fabricación de platos desechables con residuos vegetales | | | |
| Curso 2017/2018 | | Autor | |
| Nombre | | Carmen | |
| Apellidos | | Corbella Pardo | |
| Id. s. normas | UNE-EN-DIN | | |
| ESCALA: 1:2 | | PLANO DE BASE DEL MOLDE | |
| | | | Nº P. : 2 |



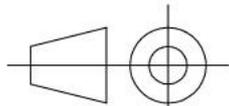
| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL RECOMENDADO | CANTIDAD |
|--|--------------------------|----------------------|--|
| 1 | Plato | MATERIAL VEGETAL | 1 |
| ECOPLATOS. Fabricación de platos desechables con residuos vegetales | | | |
| Curso 2017/2018 | Autor | | ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna |
| | Nombre | Carmen | |
| | Apellidos | Corbella Pardo | |
| Id. s. normas | UNE-EN-DIN | | |
| ESCALA: 1:2 | PLANO DE MODELO DE PLATO | | |
| | | | Nº P. : 3 |



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL RECOMENDADO | CANTIDAD |
|-----------------|----------------|----------------------|----------|
| 1 | Tapa del molde | PLA | 1 |

ECOPLATOS. Fabricación de platos desechables con residuos vegetales

| | | | |
|-----------------|------------|----------------|--|
| Curso 2017/2018 | Autor | | ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna |
| | Nombre | Carmen | |
| | Apellidos | Corbella Pardo | |
| Id. s. normas | UNE-EN-DIN | | |

| | | | |
|----------------|-------------------------|---|-----------|
| ESCALA: 1:2 | PLANO DE TAPA DEL MOLDE |  | Nº P. : 4 |
|----------------|-------------------------|---|-----------|

