



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ECOPLATOS. FABRICACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE LA PLATANERA.

TRABAJO DE FIN DE GRADO POR:

ALBERTO FLORES PÉREZ

Tutoras: María Milagros Laz Pavón y María Hernández Molina

La Laguna, JUNIO de 2021

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento a:

Principalmente a las directoras del Presente Trabajo de Fin de Grado, las Doctoras María Hernández Molina y María Milagros Laz Pavón, por haber hecho siempre de guías en el proyecto, debido a su colaboración, dedicación e implicación, además de todos los conocimientos transmitidos.

Al profesor Jalel Mahouachi Mahouachi del Área de Producción Vegetal de Ingeniería Agraria, por haber facilitado el material vegetal utilizado a lo largo del trabajo.

Al Técnico Especialista Agustín José Padrón Name, del Área de Personal de Administración y Servicios, por haber estado presente cuando se le necesitaba para resolver cualquier problema técnico.

A la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, y en especial al Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica por haber aceptado desarrollar este proyecto en sus infraestructuras y dejado utilizar todos sus recursos.

Finalmente a mi familia y amigos por haber estado presentes en todo momento, apoyando, ayudando y aconsejando.

RESUMEN

Actualmente, debido a la gran cantidad de residuos originados por el plástico alrededor del mundo, nuestro planeta corre serios problemas de salud. A su vez y por esta razón, a medida que pasan los días, se va investigando y encontrando más alternativas al plástico o inclusive, procedimientos para la eliminación y reducción de sus residuos.

Concretamente, en el presente Trabajo de Fin de Grado se emplean las hojas de la platanera, recurso muy presente en las Islas Canarias, para elaborar platos ecológicos y biodegradables, haciendo uso de adhesivo natural a base de almidón de arroz.

El procedimiento consiste en la fabricación de distintos materiales compuestos, que posteriormente se recortaran en forma de probetas. Dichas probetas estarán compuestas por varias disposiciones de capas, unas usando hojas de la platanera con papel reciclado, otras usando hojas de platanera con papel vegetal y las últimas, con hojas de platanera mezcladas con los dos papeles anteriores. Las probetas fabricadas, se someterán a ensayos mecánicos, tales como flexión o tracción, y, tras comparar los resultados, se selecciona la disposición óptima para la fabricación de los denominados “Ecoplatos”.

Finalmente, los resultados que obtengamos nos servirán para ver si realmente estos platos biodegradables pueden sustituir a los platos de un solo uso fabricados mediante plásticos convencionales.

ABSTRACT

Nowadays, due to the big amount of waste caused by plastic around the world, our planet is suffering serious problems, both health and survival. At the same time and because of that, as the days go by, it is being investigated and looking for more alternatives or even, procedures to eliminate and reduce those waste.

Specifically, in this Final Degree Project, banana leaves are used, a very present resource in the Canary Islands, to elaborate ecological and biodegradable dishes, using a natural adhesive based on rice starch.

The procedure consists in the manufacturing of different composite materials, which subsequently, will be cut into test tubes. These test tubes will be composed of several layer arrangements, some using banana leaves with recycled paper, others using banana leaves with vegetable paper and the last ones, with banana leaves mixed with the two previous papers. The manufactured samples are subjected to mechanical tests, such as bending or traction, and after comparing the results, the optimum arrangement is selected for the manufacture of the so-called "Ecoplatos".

Finally, the results we obtain will help us to see if these biodegradable dishes can really replace single-use dishes manufactured from conventional plastics.

ÍNDICE GENERAL

0.	HOJA DE IDENTIFICACIÓN	15
1.	OBJETIVOS.....	16
1.1.	Objetivo académico.....	16
1.2.	Objetivo general	16
1.3.	Objetivo específico	16
2.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	17
3.	NORMAS, PROGRAMAS Y MAQUINARIA.....	19
3.1.	Normas.....	19
3.2.	Programas y maquinaria	19
4.	INTRODUCCIÓN	20
5.	ANTECEDENTES.....	23
5.1.	La platanera y los Plátanos de Canarias.....	23
5.1.1.	Anatomía de la platanera.....	24
5.1.2.	Plátano de canarias	26
5.1.3.	Asprocan	27
5.2.	Aprovechamiento de residuos vegetales de la platanera.....	30
5.2.1.	LIFE BAQUA.....	30
5.2.2.	Residuos de la platanera y plátanos como fuente de biocombustible.....	32
5.3.	Vajillas desechables hechas con materiales de origen vegetal.....	33
5.3.1.	Vajillas desechables hechas con salvado de trigo	33
5.3.2.	Vajillas desechables hechas con desechos de comida	34
5.3.3.	Vajillas desechables hechas con coronas de piña, cáscaras de maíz y semillas.....	35
5.4.	Alternativas de origen vegetal al plástico en distintos usos.....	36
5.4.1.	Pajitas vegetales biodegradables.....	36
5.4.2.	Chubasqueros de patata biodegradables	38
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
6.1.	Esquema inicial	39
6.2.	Etapas del proceso. Línea de ensayo	40
6.2.1.	Recolección de la materia prima.....	40
6.2.2.	Preparación de la materia prima (recorte, limpieza y desinfección de las muestras, secado y prensado)	41
6.2.3.	Preparación del adhesivo	46
6.2.4.	Fabricación de los materiales compuestos	48

6.2.5.	Recorte del material en forma de probetas	49
6.3.	Datos e identificación correspondientes a las probetas fabricadas	50
6.3.1.	Datos e identificación correspondientes a las probetas ensayadas a tracción	51
6.3.2.	Datos e identificación correspondientes a las probetas ensayadas a flexión	53
6.4.	Dimensiones correspondientes a las probetas.....	54
6.4.1.	Dimensiones correspondientes a las probetas ensayadas a tracción	55
6.4.2.	Dimensiones correspondientes a las probetas ensayadas a flexión	56
6.5.	Caracterización mecánica de los materiales compuestos.....	57
6.5.1.	Características del ensayo de tracción.....	58
6.5.2.	Características del ensayo de flexión por tres puntos	61
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ENSAYOS.....	65
7.1.	Ensayos a tracción	65
7.1.1.	6H-3V, 6H-1V-1R y 6H-3R	66
7.1.2.	6H-3V y 6H-3R.....	70
7.1.3.	4H-5V.....	74
7.2.	Ensayos a flexión	76
7.3.	Microscopía digital	77
8.	CONFORMADO DE LOS PLATOS	83
8.1.	Identificación de los platos	83
8.2.	Fabricación específica de cada uno de los platos	85
8.2.1.	Conformado P1-C1.....	85
8.2.2.	Conformado P2-3D1 y P3-3D2.....	86
8.2.3.	Conformado P4-3D1	87
8.2.4.	Conformado P5-3D1	88
8.2.5.	Conformado P6-C2 y P7-C1.....	89
9.	RESULTADOS Y CONSERVACIÓN DE LOS PLATOS	92
9.1.	P1-C1	92
9.2.	P2-3D1 Y P3-3D2	94
9.3.	P4-3D1.....	96
9.4.	P5-3D1.....	98
9.5.	P6-C2 y P7-C1	100
10.	CONCLUSIONES.....	103
11.	CONCLUSIONS.....	104
12.	BIBLIOGRAFÍA	105
13.	ANEXOS	108
13.1.	Anexo I. Ficha técnica y de seguridad del almidón de arroz.....	108

13.2.	Anexo II. Fotografías específicas de las probetas tras los ensayos.....	111
13.3.	Anexo III. Resultados específicos de las probetas tras los ensayos a tracción...	117
13.4.	Anexo IV. Resultados específicos de las probetas tras los ensayos a flexión. ...	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes más importantes de la platanera. (Fuente: propia).....	24
Figura 2. Partes de la hoja de platanera. (Fuente: propia)	25
Figura 3. Plátanos de Canarias [21].....	26
Figura 4. Distribución de la superficie del Plátano de Canarias por islas [22].	26
Figura 5. Asprocan [25].	27
Figura 6. Cobertor de plátanos [12].....	31
Figura 7. Fibra natural de la platanera [12].	31
Figura 8. Residuos y fruto de la platanera para generar biocombustible [29].	32
Figura 9. Vajillas biodegradables de salvado de trigo [32].	33
Figura 10. El antes y después de una vajilla biodegradable de salvado de trigo [33].	34
Figura 11. Vajillas desechables hechas con desechos de comida en forma de semilla [35].	35
Figura 12. Vajilla desechable hecha con cáscara de zanahoria [34].	35
Figura 13. Vajilla desechable hecha con cáscara de maní [34].....	35
Figura 14. Vajillas desechables y germinables de la empresa Lifepack [37].....	36
Figura 15. Tran Minh recogiendo Lepironia Articulata [39].....	37
Figura 16. Pajitas vegetales [38].	37
Figura 17. Pajitas vegetales envueltas en hojas de platanera [39].....	37
Figura 18. Chubasqueros de patata biodegradables [42].....	38
Figura 19. Esquema inicial sobre los métodos de ensayo y fabricación. (Fuente: propia).....	39
Figura 20. Invernadero de la Facultad de Ingeniería Agraria (Fuente: propia).....	41
Figura 21. Hojas de la platanera recogidas en el invernadero (Fuente: propia)	41
Figura 22. Cúteres empleados para recortar las muestras (Fuente: propia).....	42
Figura 23. Recorte de la nervadura central de la hoja (Fuente: propia).....	42
Figura 24. Muestras de hojas de platanera recortadas (Fuente: propia)	42
Figura 25. Lámina de hoja lavándose en agua. (Fuente: propia).....	43
Figura 26. Vaso de precipitado empleado para medir volumen de agua (Fuente: propia).....	43
Figura 27. Probeta empleada para medir volumen de lejía (Fuente: propia)	43
Figura 28. Etiqueta de “apta para la desinfección de agua bebida” (Fuente: propia).....	44
Figura 29. Lejía empleada para desinfectar (Fuente: propia).....	44
Figura 30. Guantes de látex para la protección y varilla de vidrio para remover la mezcla. (Fuente: propia)	44

Figura 31. Láminas de hojas de platanera sumergidas en la disolución de agua y lejía. (Fuente: propia)	44
Figura 32. Muestras colocadas sobre papel de filtro para el proceso de secado. (Fuente: propia)	45
Figura 33. Muestra secándose con papel de mano. (Fuente: propia)	45
Figura 34. Láminas vegetales colocadas entre hojas de periódico (Fuente: propia).....	45
Figura 35. Muestras de hojas y badana secándose a temperatura ambiente con peso encima (Fuente: propia)	46
Figura 36. Almidón de arroz. (Fuente: propia).....	46
Figura 37. Balanza. (Fuente: propia)	47
Figura 38. Agitador magnético con calefacción, VMS-A. (Fuente: propia).....	47
Figura 39. Proceso de calentamiento y agitación de la mezcla para elaborar el adhesivo (Fuente: propia)	47
Figura 40. Mezcla viscosa empleando almidón de arroz (Fuente: propia).....	47
Figura 41. Preparación de muestras de hoja de platanera y papel ecológico a base de almidón de arroz. (Fuente: propia)	48
Figura 42. Ejemplo de disposición de las capas de una muestra aleatoria. (Fuente: propia)	48
Figura 43. Muestras totalmente pegadas. (Fuente: propia).....	48
Figura 44. Placas PC con muestra de hoja de platanera y papel ecológico cubierta con papel de mano. (Fuente: propia)	49
Figura 45. Muestra de hoja de platanera y papel ecológico con peso encima en la estufa JP-Selecta 2000250. (Fuente: propia).....	49
Figura 46. Probetas de hoja de platanera a base de almidón de arroz. (Fuente: propia)	49
Figura 47. Papel reciclado y papel vegetal. (Fuente: propia).....	50
Figura 48. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado y probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)	51
Figura 49. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal y reciclado. (Fuente: propia)	51
Figura 50. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado. (Fuente: propia)	52
Figura 51. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)	52
Figura 52. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)	53
Figura 53. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)	53
Figura 54. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado. (Fuente: propia)	53
Figura 55. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)	54
Figura 56. Calibrador digital "pie de rey" utilizado para medir el espesor de las probetas. (Fuente: propia)	54

Figura 57. Medición de espesor en las probetas. (Fuente: propia)	55
Figura 58. Medición de anchura en las probetas. (Fuente: propia).....	55
Figura 59. Máquina Shimadzu Autograph AG-IS. (Fuente: propia).....	57
Figura 60. Partes de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS configurada para un ensayo a tracción. (Fuente: propia)	58
Figura 61. Partes de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS configurada para un ensayo a flexión. (Fuente: propia)	58
Figura 62. Posición de la probeta y aplicación de la carga de un ensayo a tracción [47].....	58
Figura 63. Cálculo del esfuerzo y la deformación [48].....	59
Figura 64. Curva característica esfuerzo-deformación hasta fractura [45].....	59
Figura 65. Cálculo del módulo de elasticidad en la curva esfuerzo-deformación [45].....	60
Figura 66. Obtención del Límite Elástico. [45]	60
Figura 67. Posición de la probeta y aplicación de la fuerza en un ensayo a flexión [47].....	62
Figura 68. Curva carga-deflexión de un ensayo a flexión aleatorio. (Fuente: propia).....	62
Figura 69. Condiciones previas de un ensayo a flexión [48].....	63
Figura 70. Deflexión causada por el ensayo a flexión [48]	64
Figura 71. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal.	66
Figura 72. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera, 1 de papel vegetal y 1 de papel reciclado.....	67
Figura 73. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel reciclado.	68
Figura 74. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal.	70
Figura 75. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel reciclado.	71
Figura 76. Vista frontal y posterior de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel reciclado tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia).....	73
Figura 77. Vista frontal y posterior de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia)	73
Figura 78. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 4 capas de hoja de platanera y 5 de papel reciclado.	75
Figura 79. Vista frontal de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia).....	76

Figura 80. Vista lateral de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a flexión. (Fuente: propia)	77
Figura 81. Microscopio digital Dino-Lite AM-211. (Fuente: propia)	77
Figura 82. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)	78
Figura 83. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-1V-1R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)	78
Figura 84. Fotografía microscópica adicional de la zona transversal de 6H-1V-1R. (Fuente: propia)	78
Figura 85. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia).....	79
Figura 86. Fotografía microscópica adicional de la zona transversal de 6H-3R. (Fuente: propia)	79
Figura 87. Primera serie de fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)	80
Figura 88. Segunda serie de fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)	80
Figura 89. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia).....	81
Figura 90. Fotografía microscópica adicional de 6H-3R con rotura completa de las capas. (Fuente: propia)	81
Figura 91. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 4H-5V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)	81
Figura 92. Fotografía microscópica adicional de 4H-5V con rotura parcial de las capas. (Fuente: propia)	82
Figura 93. Moldes de mayor y menor tamaño respectivamente, fabricados con la impresora 3D. (Fuente propia)	84
Figura 94. Moldes de cerámica de mayor y menor tamaño respectivamente. (Fuente propia).....	84
Figura 95. Pegado de capas del P1-C1- (Fuente: propia)	85
Figura 96. P1-C1 dentro de los moldes con peso encima. (Fuente: propia).....	85
Figura 97. P1-C1 en la estufa. (Fuente: propia)	86
Figura 98. P2-3D1. (Fuente: propia).....	86
Figura 99. P3-3D2. (Fuente: propia).....	86
Figura 100. Conformado del P4-3D1. (Fuente: propia).....	87
Figura 101. P4-3D1. (Fuente: propia).....	88

Figura 102. P5-3D1. (Fuente: propia).....	89
Figura 103. P6-C2. (Fuente: propia).....	90
Figura 104. P7-C1. (Fuente: propia).....	90
Figura 105. P1-C1 tras la fase de secado. (Fuente: Propia)	92
Figura 106. P1-C1 después de recortar las partes sobrantes. (Fuente: propia)	92
Figura 107. Vista lateral P1-C1. (Fuente: propia).....	92
Figura 108. P1-C1 en bolsa hermética con granos de arroz. (Fuente: propia)	93
Figura 109. Vista frontal y lateral P1-C1 después de 7 días. (Fuente: propia).....	93
Figura 110. Vista posterior P1-C1 después de 7 días. (Fuente: propia).....	94
Figura 111. Vista frontal y lateral P1-C1 después de 17 días. (Fuente: propia).....	94
Figura 112. Vista frontal y lateral P2-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia).....	95
Figura 113. Vista frontal y lateral P3-3D2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia).....	95
Figura 114. Vista posterior P2-3D1 y P3-3D2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	95
Figura 115. Estado del P2-3D1 después de 15 días. (Fuente: propia)	96
Figura 116. Vista lateral del P4-3D2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	97
Figura 117. Vista lateral y frontal del P4-3D2 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia).....	97
Figura 118. Vista posterior del P4-3D2 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia) ..	97
Figura 119. Vista frontal y lateral del P4-3D2 después de 15 días en conservación. (Fuente: propia).....	98
Figura 120. Vista frontal y lateral del P5-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	98
Figura 121. Vista posterior del P5-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia).....	99
Figura 122. Vista frontal y lateral del P5-3D1 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia).....	99
Figura 123. P5-D1 en bolsa hermética con granos de arroz. (Fuente: propia).....	99
Figura 124. Vista frontal y lateral del P6-C2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	100
Figura 125. Vista posterior del P6-C2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	100
Figura 126. Vista frontal y lateral del P7-C1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	101
Figura 127. Vista posterior P7-C1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)	101
Figura 128. Vista frontal y lateral del P6-C2 después 5 días en conservación. (Fuente: propia)	101
Figura 129. Vista frontal y posterior del P7-C1 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia).....	102
Figura 130. Vista frontal del P6-C2 y P7-C1 tras 20 días en conservación. (Fuente: propia)....	102

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos en toneladas de la producción 2010-2020. [10]	28
Tabla 2. Producción en kilogramos por entidades e islas 2020. [10].....	28
Tabla 3. Producción en kilogramos por entidades e islas 2020. [10].....	29
Tabla 4. Características de la fibra natural de la platanera. (Fuente: propia)	31
Tabla 5. Total de probetas fabricadas en el laboratorio.....	51
Tabla 6. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 10 de febrero de 2021.	51
Tabla 7. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.	52
Tabla 8. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 17 de marzo de 2021.	52
Tabla 9. Identificación de las probetas ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.	53
Tabla 10. Identificación de las probetas ensayadas a flexión el día 17 de marzo de 2021.	54
Tabla 11. Dimensiones de las probetas ensayadas a tracción el día 10 de febrero de 2021.	55
Tabla 12. Dimensiones de las probetas con papel reciclado ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.....	55
Tabla 13. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.....	56
Tabla 14. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a tracción el día 17 de marzo de 2021.....	56
Tabla 15. Dimensiones de las probetas con papel reciclado ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.....	56
Tabla 16. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.....	56
Tabla 17. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a flexión el día 17 de marzo de 2021.....	57
Tabla 18. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel vegetal.....	66
Tabla 19. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera, 1 capa de papel vegetal y una capa de papel reciclado.....	67
Tabla 20. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel reciclado.....	68
Tabla 21. Resultados medios de los ensayos a tracción realizados el 10 de febrero de 2021. ..	69
Tabla 22. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel vegetal.....	71

Tabla 23. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel reciclado.	72
Tabla 24. Resultados medios de los ensayos a tracción realizados el 22 de febrero de 2021. ...	72
Tabla 25. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 5 y 6 capas de hoja de platanera por Carmen [50] y 6H-3V.....	74
Tabla 26. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 4 capas de hoja de platanera y 5 capas de papel reciclado.	76
Tabla 27. Total de platos fabricados en el laboratorio.	83
Tabla 28. Dimensiones correspondientes a los diferentes moldes.	84
Tabla 29. Dimensiones correspondientes al P1-C1.....	85
Tabla 30. Dimensiones correspondientes al P2-3D1 y P3-3D2.....	87
Tabla 31. Dimensiones correspondientes al P4-3D1.	88
Tabla 32. Dimensiones correspondientes al P5-3D1 y P6-C2.	89
Tabla 33. Dimensiones correspondientes al P7-C1.....	90

0. HOJA DE IDENTIFICACIÓN

PROYECTO

TÍTULO: ECOPLATOS. Fabricación de platos biodegradables a partir de residuos de la platanera.

PETICIONARIO

NOMBRE: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna

DIRECCIÓN: Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n. San Cristóbal de La Laguna, Tenerife

AUTOR

NOMBRE: Alberto Flores Pérez

DNI: 79083486X

TELÉFONO: 673482048

CORREO ELECTRÓNICO: alu0101051079@ull.edu.es

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo académico

El objetivo académico del presente Trabajo de Fin de Grado es la obtención del título universitario de Grado en Ingeniería Mecánica en la Universidad de La Laguna, el cual habilita para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

1.2. Objetivo general

El objetivo general es que los “Ecoplatos” creados puedan sustituir a los platos de un solo uso fabricados mediante plásticos convencionales. Las vajillas desechables de plástico suponen un grave problema para el medioambiente, ya que, entre otras cuestiones, pueden tardar unos 150 años en descomponerse y contaminan de forma realmente preocupante los diferentes ecosistemas de nuestro planeta. Además, debido a la seriedad del asunto, este tipo de productos desechables están siendo prohibidos cada vez en más lugares del mundo. Es por ello por lo que resulta muy oportuna la aparición de los “Ecoplatos”, recipientes ecológicos, cuyo método de fabricación y proceso de degradación son plenamente responsables con el medioambiente.

Otro efecto positivo que plantea este proyecto es que, al fabricar los platos de la forma propuesta, se le está dando valor a elementos vegetales que hasta el momento suelen ser desechados sin ningún aprovechamiento. En este trabajo, los residuos vegetales (las hojas) pasan a ser la materia prima para la preparación de los materiales compuestos que compondrán los “Ecoplatos”. Esto es de suma importancia, ya que, además del aprovechamiento en sí, se estará ayudando al sector agrícola a deshacerse de residuos vegetales que estorban en su labor.

1.3. Objetivo específico

El objetivo específico del proyecto reside en la fabricación y caracterización de platos desechables ecológicos y biodegradables, empleando residuos de origen vegetal como materia prima. Concretamente, dichos “Ecoplatos” serán producidos a partir de las hojas, y mediante el uso de adhesivo a base de almidón de arroz.

2. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Hoja de la platanera:**

Es una hoja de color verde, ancha y con un gran tamaño, que cubre la platanera. Su forma es ovalada, con el borde entero y nerviaciones pennadas en el limbo de la hoja.

- **Badana de la platanera:**

Se considera como badana de la platanera, a la parte seca y de color marrón, que envuelve el exterior del tallo de la platanera.

- **Economía circular:**

Es un sistema de aprovechamiento de recursos donde priman la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos donde los residuos se convierten en recursos. Busca revalorizar el producto en todas las fases del ciclo de vida de este, evaluando el impacto ambiental. Los recursos utilizados podrán ser reutilizados en sus diferentes etapas o para crear nuevos productos.

- **Almidón:**

El almidón es un hidrato de carbono con el que las plantas almacenan su alimento en raíces, tubérculos, frutas y semillas. Pero, no sólo es importante para las plantas, sino también para los seres humanos, ya que, tiene una alta importancia energética, proporcionando gran parte de la energía que consumimos los seres humanos a través de los alimentos. Además, al ser biodegradable y renovable, no solo se utiliza en la alimentación sino también en la industria.

- **Biodegradable:**

Se define como transformar la estructura química de un material o sustancia por el propio efecto de la naturaleza. Para que algo se considere biodegradable esta acción debe ocurrir en un periodo corto e incorporarse al medio ambiente sin dejar agentes tóxicos en el mismo.

- **Biocombustible:**

Mezclas de sustancias de origen orgánico que se utilizan como combustibles para la obtención de energía. Derivan de la biomasa, es decir, de materia orgánica que se origina y se acumula durante procesos biológicos como, por ejemplo, la fotosíntesis.

- **Polímero:**

Consisten en compuestos orgánicos, que se basan principalmente en el carbono, hidrógenos y demás elementos no metálicos. Se caracterizan por tener una gran longitud en sus estructuras moleculares. Entre estas estructuras moleculares se incluyen el ADN de nuestras células, el almidón de las plantas, los plásticos, etc. Son de gran importancia tanto en el mundo natural como en el industrial, ya que, poseen densidades bajas y extraordinaria flexibilidad.

- **Plástico:**

Son materiales sintéticos derivados del petróleo obtenidos mediante procesos de polimerización. Son fáciles de moldear y modificar su forma, por ello, pueden emplearse para una amplia gama de productos.

- **Polímeros termoplásticos:**

Por un lado, se ablandan con facilidad al calentarse llegando incluso a fundirse y por otro lado, se endurecen al enfriarse. Son materiales que normalmente se fabrican aplicándoles calor y presión, clasificándose como blandos y dúctiles. Se considera termoplástico a aquellos polímeros que tengan estructuras ramificadas con cadenas flexibles y a la mayoría de los polímeros lineales.

- **Polímeros termoestables:**

Son aquellos que al calentarlos se endurecen, pero que no se ablandan a continuar calentando. Generalmente, son más duros y resistentes, pero más frágiles que los termoplásticos. Se considera termoestable a aquellos polímeros que tengan estructuras entrecruzadas y reticuladas, como, por ejemplo, los epoxis, las resinas de poliéster o el caucho vulcanizado.

3. NORMAS, PROGRAMAS Y MAQUINARIA

3.1. Normas

Para la realización del trabajo, hemos tenido en cuenta diferentes normativas, por un lado, las UNE y por otro lado el Código Alimentario Español:

Código Alimentario Español (CAE): es el cuerpo orgánico de normas básicas y correspondientes a los alimentos, condimentos, estimulantes y bebidas (última actualización el 10 de diciembre de 2020). Tiene como finalidad, definir qué se debe entender por alimentos y las condiciones mínimas que deben tener, además de establecer unas condiciones básicas de preparación, conservación, envasado,... [1].

UNE-EN-ISO 178: Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión. AENOR 2020

UNE-EN-ISO 527: Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios generales. AENOR 2020

UNE-EN-ISO 527: Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas. AENOR 2018

UNE-EN-ISO 50132: Documentación. Numeración de las divisiones y subdivisiones en los documentos escritos. AENOR 1994

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

UNE-EN-ISO 13427: Envases y embalajes. Requisitos para la utilización de las normas europeas en el campo de los envases y los embalajes y sus residuos. AENOR 2005

3.2. Programas y maquinaria

En cuanto a la maquinaria y los programas informáticos empleados para la realización del Trabajo de Fin de Grado, tenemos los siguientes:

En primer lugar y gracias a la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS, con 50 kN de capacidad máxima, se pudieron realizar los ensayos de tracción y flexión. Esta máquina posee un software llamado Trapezium, capaz de procesar todos los datos obtenidos en los ensayos.

Microsoft Office Excel para la obtención de gráficas y resultados a partir de los datos recogidos en el software Trapezium.

Dino-Lite AM-211 para realizar fotos microscópicas después de haber ensayado las probetas.

JP-Selecta 2000250 estufa que ayudaba al secado y esterilizado de las probetas y los platos conformados.

4. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado trata principalmente de colaborar con el Medio Ambiente mediante la sustitución de las vajillas de plástico desechables por otras ecológicas fabricadas a partir de residuos vegetales.

Como ya sabemos, los seres humanos hemos utilizado y manipulado el medio desde nuestros comienzos, esto ha traído consigo muchas consecuencias, siendo las medioambientales, uno de los problemas más importantes. Debido a estos numerosos y preocupantes inconvenientes, resulta necesaria la búsqueda de nuevas ideas y estrategias que combatan la contaminación y la degradación del planeta.

Los plásticos, son materiales orgánicos provenientes del petróleo, producidos mediante reacciones de polimerización por condensación y adición, que se clasifican en termoestables o termoplásticos. Es por ello por lo que, en este trabajo, nos vamos a referir al plástico en forma de polímero, que sin tener una vida muy larga o servible, acarrear una amplia gama de problemas, creando así los residuos que tanto contaminan y dañan a nuestro planeta [2] [3].

El plástico es ante todo un problema. Es un contaminante que, precisamente por su abundancia y bajo coste, se lanza con facilidad hacia el medio ambiente ocasionando todo tipo de contratiempos, desde la muerte de animales por asfixia, por comerlos o por enredarse con ellos, hasta la degradación de ecosistemas [4].

Debido a su inmensa producción y el uso tan grande que existe de este material, hacen que el riesgo de contaminación aumente, dando igual el lugar del planeta en el que los residuos se encuentren. Es un material barato, versátil y duradero, teniendo una variedad inmensa de usos, como por ejemplo, la fabricación de envases, de elementos constructivos, piezas para coches o motores, mobiliario, etc. Tras diferentes investigaciones, se puede calcular que, hoy en día, aproximadamente el 7% del peso de la basura del hogar corresponde a los residuos plásticos [5].

Sin embargo, los residuos plásticos que más problemas provocan al medioambiente son lo que provienen de elementos fósiles como el petróleo, el carbón, el gas natural o la celulosa mezclada con otros aditivos, ya que, en su mayoría no son biodegradables, por lo que se requiere siempre de empresas especializadas en el sector para gestionarlos y tratarlos de manera adecuada [5].

Además de todo lo anteriormente nombrado, el problema se agrava al saber que, como afirman diferentes científicos, el tiempo de degradación del plástico es uno de los más largos dentro de todos los desechos que tiramos cada día a la basura. Estos tiempos oscilan entre los 150 años y 1.000 años, y dependen del grosor, del tipo de material que se empleó para fabricar el plástico y de las condiciones medioambientales a las que queda expuesto tras su uso [6].

Por ejemplo, los vasos de plásticos que se utilizan frecuentemente en las fiestas de cumpleaños tardan unos 50 años en degradarse, asimismo, una bolsa de plástico como las que ofrecen la mayoría de las tiendas y supermercados, tarda aproximadamente 150 años en desaparecer, incluso un simple globo, suele tardar hasta 60 meses; y como estos ejemplos, se

podrían seguir poniendo muchos más sobre el tiempo de biodegradación que poseen los diferentes residuos plásticos [6].

La única manera de evitar este problema es el reciclaje, ya que, así podemos reutilizar el plástico en lugar de dejar que se degrade en el medioambiente o acabe en el mar poniendo en riesgo la flora y fauna [6]. Sin embargo, tal y como informa la ONU Medio Ambiente, en la actualidad, se producen una media de residuos de 300 millones de toneladas al año, en donde solo el 14% se recicla [7].

Cabe destacar que no todos los residuos plásticos se pueden reciclar y, si a esto se le añade, la falta de conciencia que tienen muchas personas, los residuos que en un principio pueden ser reciclados, se mezclen con otros materiales contaminados haciendo más difícil y costoso el proceso de reciclaje [7].

Otro de los grandes problemas que suponen los residuos plásticos tienen que ver con el modo de empleo, ya que, muchos de ellos son de un solo uso. Un dato relevante para destacar es que de todos los envases plásticos producidos, un 40% son de un solo uso y acaban en vertederos o lanzados al medioambiente. En el mejor de los casos, estos desechos de usar y tirar, acaban en un contenedor para ser reciclados, aunque su reciclaje termina siendo insuficiente [8].

En España tenemos un porcentaje muy bajo de reciclaje, reciclando solamente un 33% de la basura doméstica. Dentro de este porcentaje, un 83%, está mezclados con el resto de los desechos haciendo que se contamine los materiales que se quieren reciclar [8].

Y es que, los residuos de un solo uso afectan cada vez más al planeta, por ello en muchos países se está reduciendo o suprimiendo la producción de estos. Sin ir más lejos, en las Islas Canarias, en febrero, el Gobierno Autonómico presentó una estrategia basada en la prohibición de plásticos de un solo uso, que comenzó el 1 de enero de 2021, consiguiendo así, una industria del plástico más inteligente, innovadora y sostenible [9].

Por todo esto, el Trabajo de Fin de Grado se centra en la fabricación de platos desechables, biodegradables y ecológicos, a partir de residuos vegetales. Se ha decidido emplear desechos provenientes de la platanera, ya que, este tipo de plantación se encuentra muy presente en las Islas Canarias (y concretamente en Tenerife) y, además, por la gran cantidad de residuos que generan (una vez se obtiene los plátanos, se desecha la mayor parte de la planta).

En concreto, en el año 2019, según el estudio estadístico que realiza todos los años ASPROCAN, se produjeron unas 430 mil toneladas de plátano en toda Canarias y unas 182 mil toneladas sólo en Tenerife [10]. De hecho, el plátano siempre ha sido y sigue siendo uno de los pilares básicos de la economía de las Islas Canarias, por ello, actualmente, alrededor del 50% de la producción europea de plátanos está cubierta por las Islas Canarias, donde unas 9.100 hectáreas están destinadas al cultivo de plataneras [10]. Asimismo, como se ha comentado, esta notable producción de plátano implica la generación de cantidades significativas de residuos vegetales. Se estima que hay una relación entre residuo y producto de plátano de 2:1 [10].

Todos los datos expuestos anteriormente, justifican la elección de las plantaciones de plataneras como fuente de materia prima para nuestro proyecto.

Además, la idea del presente proyecto tiene la ventaja añadida de que estaremos facilitando al sector agrícola a deshacerse de restos vegetales que entorpecen su labor. Es cierto que, en ocasiones, una parte de los residuos es empleada para diferentes fines. Es aquí donde entra en escena la estrategia de economía circular por parte de LIFE BAQUA, que al igual que nuestro proyecto, trata de aprovechar los residuos de la platanera en otras industrias, una vez se haya extraído el plátano [12].

Por ejemplo, los restos previamente mencionados, pueden ser destinados a la producción de compost para fines agrícolas. Por otro lado, determinadas partes como las hojas y el rolo pueden ser aprovechadas para alimentación de ganado. También, existen otros campos donde pueden ser útiles, como en la fabricación de productos químicos [13].

Sin embargo, aún con todo lo anterior, la gran cantidad de desechos vegetales que la platanera genera hace que, en las plantaciones, siga existiendo un problema de acumulación de residuos, dificultando a la siguiente cosecha. BAQUA, trata de aprovechar estos residuos mediante la extracción de las fibras naturales del rolo de la platanera para su posterior empleo, en el desarrollo de materiales 100% biodegradables (fundas protectoras y bolsas para acuicultura) [12].

Más concretamente, en este proyecto se trabaja con la hoja de la platanera para fabricar diferentes materiales compuestos, empleando adhesivo a base de almidón de arroz para unir las capas. Tras someter estos materiales fabricados a distintos ensayos y pruebas, se selecciona el mejor y se utiliza posteriormente para la creación de los “Ecoplatos”. Además, se variará el procedimiento de fabricación, con el fin de crear diferentes opciones y poder comprobar qué metodología presenta resultados óptimos.

De esta forma, lo que se ha logrado es obtener unos platos totalmente ecológicos, cuyo proceso de biodegradación resulta mucho más rápido (días) y limpio que en el caso de las vajillas de plástico desechables.

La continuación del Trabajo de Fin de Grado se organiza tal y como vamos a comentar ahora. En el apartado 5 se exponen los antecedentes, en el apartado 6 los materiales y métodos para realización de las muestras y los platos. En el apartado 7, se encuentran los resultados de los ensayos junto con la discusión de estos. En el apartado 8, de forma precisa se explica el conformado de los platos; y en el 9 los resultados y como se conservaron. En la sección 10 y 11, tenemos las conclusiones del proyecto tanto en español como en inglés. Por otro lado, en el apartado 12 vemos la bibliografía que hemos utilizado en el trabajo y por último en la sección 13, se aportan los anexos correspondientes.

5. ANTECEDENTES

Para satisfacer la necesidad actual de frenar el empleo del plástico, han aparecido numerosos estudios y alternativas que se siguen desarrollando, avanzando y mejorando constantemente. Para tratar de ubicar el presente trabajo, se expondrán algunas de las iniciativas que existen relacionadas con la sustitución del plástico en sus distintos usos y con el aprovechamiento de residuos vegetales en distintos campos:

1. La platanera y los Plátanos de Canarias
2. Aprovechamiento de residuos vegetales de la platanera.
3. Vajillas desechables hechas con materiales de origen vegetal.
4. Alternativas de origen vegetal al plástico en distintos usos.

5.1. La platanera y los Plátanos de Canarias

En el sector agrícola, la producción de plátanos es muy importante, pero no solo en las Islas Canarias, sino también en muchos países en desarrollo como Centro América, Sudamérica y Asia, siendo estos los que más producen en el mundo [14].

Diferentes estudios arqueológicos, indican que el cultivo del plátano comenzó en el Sureste de Asia hace aproximadamente 7000 años y fue introducido más adelante en otras regiones, gracias a los comerciantes y viajeros. Sin embargo, actualmente, más de mil variedades autóctonas del plátano, se cultivan en las diferentes regiones tropicales y subtropicales del mundo [13].

La platanera, perteneciente al género *Musa* y correspondiente a la familia de las musáceas, con más de cincuenta especies diferentes, es una planta herbácea, vivaz y de gran porte. En cambio, no posee un tronco como tal, sino que posee vainas foliares, las cuales se desarrollan y forman rolos o pseudotallos que pueden alcanzar los 30 centímetros de diámetro y 7 metros de altura [15] [16]. Además, es una planta que solo produce fruto una vez y luego muere. Su crecimiento es bastante rápido, en un año se puede obtener la primera cosecha. Seguidamente, se corta el rolo permitiendo así la continuidad por vía vegetativa de los "hijos" o retoños de la misma planta [14].

El nombre científico *Musa* hace referencia a un sinnúmero de plantas herbáceas de este género, pero la mayor parte de los cultivos del plátano, nacen de híbridos derivados de las especies silvestres llamadas *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*.

5.1.1. Anatomía de la platanera

En este apartado, vamos a definir de manera específica las partes más importantes de la platanera.

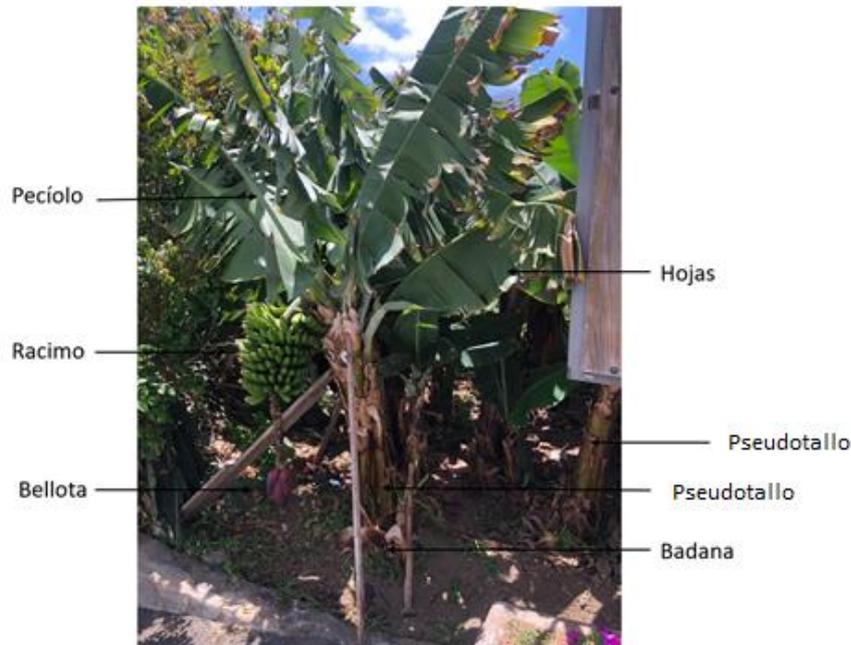


Figura 1. Partes más importantes de la platanera. (Fuente: propia)

- Hoja de la platanera:

Estas hojas se consideran una de las más grandes del reino vegetal. Son de un gran tamaño cubriendo la platanera, lisas pero ovaladas, con el borde entero y la base redonda. Poseen nerviaciones pennadas en el limbo de la hoja de un color amarillento o verde. Sin embargo, el haz de la hoja (cara superior) es de un color verde más oscuro que el envés (cara inferior) que es normalmente de un color verde claro. Algunas hojas pueden alcanzar incluso un tamaño de 3 metros de largo y 90 centímetros de ancho, con un pecíolo que puede llegar a medir 60 centímetros. Cabe destacar que las hojas suelen romperse de manera espontánea a lo largo de las nervaduras como vemos en la figura 1 [15].

- Pecíolo:

Une la lámina de la hoja de platanera a la base foliar o en su ausencia al pseudotallo como podemos ver en la figura 2, es generalmente cilíndrico y estrecho [17].

- **Vaina o base foliar:**

Se conoce como el ensanchamiento en la base del pecíolo de una hoja que abraza el tallo, en el que se introduce o inserta. La vaina o base foliar puede estar reducida o faltar, insertándose el pecíolo sobre el tallo [17].



Figura 2. Partes de la hoja de platanera. (Fuente: propia)

- **Pseudotallo:**

Es la parte de la planta que parece un tronco, pero está compuesto por un falso tallo, conocido como pseudotallo o tallo herbáceo. Está constituido por un conjunto de vainas foliares superpuestas y muy apretadas. Gracias a las vainas foliares, el tronco gana bastante diámetro dando a la platanera un aspecto similar a un árbol [18].

- **Bellota:**

Cada platanera, en la parte terminal del pseudotallo, produce una inflorescencia que se encuentra protegida por grandes brácteas de varios colores mezclados, cuando se encuentra en este estado se le llama bellota. Al desarrollarse, da lugar al racimo de plátanos y que finalmente permanece en el extremo inferior del racimo como un colgante [19].

- **Frutos:**

Recolectados de la platanera antes de su madurez con el propósito de que maduren en el camino hacia los mercados y así conservar un buen estado para su venta, los plátanos tienen color verde en su exterior y color amarillo en la pulpa. Cabe mencionar que en estos frutos se encuentra la semilla abortada [16].

5.1.2. Plátano de canarias

La introducción del plátano en las Islas Canarias se remonta al siglo XVI, cuando llegaron las primeras plataneras desde Guinea Ecuatorial. Desde ese momento, los plátanos se fueron expandiendo rápidamente por todas las islas, pero algo todavía más importante fue la constante exportación de plátanos hacia Inglaterra. Esto ocurrió a causa de que los viajeros ingleses que venían a las islas, comenzaron a expórtalos hacia su país. Fue tal la exportación, que el puerto de Londres llegó a tener una zona llamada "Muelle Canario" [20].



Figura 3. Plátanos de Canarias [21].

Actualmente, la producción de Plátano de Canarias constituye una gran parte de la economía de las islas, no solo por el número de ventas sino también por la gran cantidad de empleo que proporciona. Por un lado, proporciona más de 9.000 empleos directos y, por otro lado, más de 5.000 empleos indirectos, ambas cifras dependen del plátano para su continuidad [21].

Debido a las condiciones que se dan en las Islas Canarias, el plátano contiene un sabor y aroma incomparables. Condiciones como la temperatura, de 25 grados, casi constante a lo largo del año, altitudes inferiores a 300 metros, suelos arenosos, tierra volcánica y mucha agua para su cultivo, ya que, se necesitan mínimo 25 litros diarios para que crezca de manera favorable. Es por ello, que en islas como Lanzarote y Fuerteventura, donde no se dan las condiciones de suelo fértil, húmedo y lluvia, no se cultiva [22].

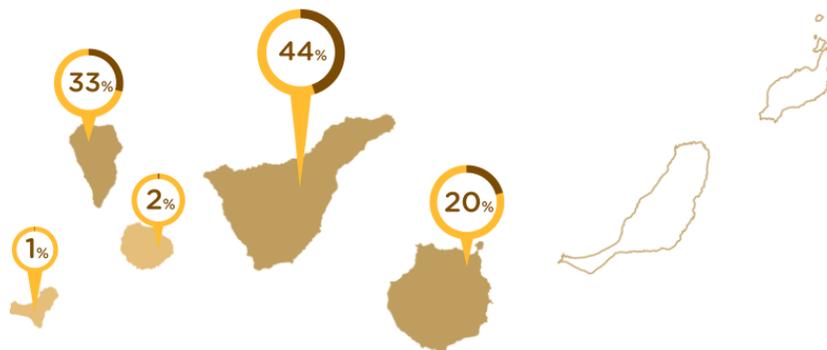


Figura 4. Distribución de la superficie del Plátano de Canarias por islas [22].

A parte de las condiciones anteriormente nombradas, también influyen los tiempos que permanecen los plátanos en la planta, doblando en meses el Plátano de Canarias (6 meses) al plátano tradicional (3 meses). Esto se debe a que los tiempos de transporte del tradicional son muy largos y, por tanto, se cortan los plátanos verdes y sin la suficiente maduración. En cambio, el Plátano de Canarias no sufre tanto en transporte y se corta en el momento justo, razón fundamental por la que también adquiere ese sabor único [23].

Por todas estas características, el 10 de noviembre de 2013 el Plátano de Canarias fue inscrito por la Unión Europea en la Indicación Geográfica Protegida (IGP). Esta hazaña confirma, una vez más, la calidad diferenciada del plátano siendo el único a nivel mundial con el sello de calidad europeo, haciéndolo un producto exclusivo, producido en nuestro Archipiélago [24].

Los Plátanos de Canarias inscritos en la IGP proceden de los múltiples descendientes de la variedad Cavendish de la especie *Musa acuminata* Colla (AAA), pero también existen otras variedades comerciales del Plátano de Canarias que no están inscritas en la IGP como pueden ser "Gran Enana", "Pequeña Enana", "Lacatán", "Gros-Michel" y "Poyo" [24].

5.1.3. Asprocan

ASPROCAN (Asociación de Organizaciones de Productores de Plátanos de Canarias) es una organización regional privada, fundada en 1995 y encargada de representar todos los datos y estadísticas correspondientes a los Plátanos de Canarias cada año, con el fin de conseguir los mejores resultados para este sector [23].

Esta organización, siempre se esfuerza para que los productores del plátano canario tengan las mejores condiciones, ya sea coordinando el control técnico y medioambiental de la producción o gestionando y facilitando la comunicación de la marca Plátano de Canarias entre los productores [25].



Figura 5. Asprocan [25].

A continuación, a través de diferentes tablas, se van a comparar algunas de las estadísticas recogidas en Asprocan a lo largo de los años. Comenzando por las estadísticas desde el año 2010 hasta el año 2020, que corresponden a los datos en toneladas de la producción de plátanos en cada isla:

Tabla 1. Datos en toneladas de la producción 2010-2020 [10].

Islas	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Tenerife	190.531	145.983	159.669	151.738	151.968	174.792	184.391	186.950	162.245	170.354	182.533
La Palma	147.181	124.625	131.759	125.866	127.672	131.585	151.327	151.513	143.592	141.794	148.658
Gran Canaria	84.724	70.485	77.217	78.022	76.984	78.935	88.837	90.349	77.253	85.755	90.346
La Gomera	6.298	5.324	6.023	5.122	4.780	5.208	5.788	5.710	4.673	5.187	5.245
El Hierro	3.425	2.613	2.761	2.886	2.738	2.856	3.197	3.124	3.009	2.967	3.076
Fuerteventura	0	0	0	0	0	0	0	0	48	68	77
Lanzarote	121	103	99	137	115	114	137	136	105	100	88
Totales	432.280	349.133	377.528	363.771	364.257	393.490	433.677	437.782	390.925	406.225	430.023

Analizando las estadísticas, podemos ver que el año con más producción fue el 2017, seguido de cerca por el 2016. Desde 2010, la isla de Tenerife es la que más ha producido plátanos, con fincas muy importantes y con muchas hectáreas ubicadas en La Orotava e Icod de los Vinos. También destaca La Palma siendo la segunda en producción, con fincas de gran importancia en San Andrés y Sauces y Los Llanos de Aridane.

Además, se confirma lo nombrado con anterioridad, en donde islas como Lanzarote o Fuerteventura no producen casi plátanos.

La siguiente tabla recoge todos los datos correspondientes a la producción de plátano en kilogramos según la isla y los destinos de exportación del año 2020:

Tabla 2. Producción en kilogramos por entidades e islas 2020 [10].

Islas	Península	Extranjero	Mercado interior	Retirada de mercado	Total	%
Tenerife	155.753.688	726.854	21.190.298	4.932.103	182.532.943	42,45%
La Palma	142.816.371	1.485.410	1.324.748	3.031.715	148.658.244	34,57%
Gran Canaria	73.233.852	326.041	15.138.146	1.648.356	90.346.395	21,01%
La Gomera	5.068.022	-	-	177.274	5.245.296	1,22%
El Hierro	2.808.497	7.700	170.060	89.697	3.075.954	0,72%
Fuerteventura	-	-	76.550	-	76.550	0,02%
Lanzarote	-	-	87.774	-	87.774	0,02%
Totales	379.680.430	2.546.005	37.917.576	9.879.145	430.023.156	100%

Podemos comprobar que existe una diferencia significativa en cuanto a la exportación a la península con la exportación a los demás destinos, sumando una cantidad de 379.680.430 kilogramos de plátanos.

Por último, tenemos una tabla con los datos correspondientes a las entidades más importantes en cuanto a producción y exportación de plátanos de todas las islas:

Tabla 3. Producción en kilogramos por entidades e islas 2020 [10].

Entidad	Tenerife	La Palma	Gran Canaria	La Gomera	El Hierro	Fuert.	Lanz.	Total	%
Agrícola Llanos Sardiná	3.439.563	1.809.688	42.671.322	-	-	-	-	47.920.573	11,14%
Agriten	35.397.949	-	14.406.157	1.582.623	-	-	-	51.386.729	11,95%
Coplaca	76.758.058	54.784.880	336.648	3.662.673	1.364.787	-	-	136.907.046	31,84%
Cupalma	31.336.549	40.282.163	4.196.004	-	-	76.550	87.774	75.979.040	17,67%
Europlatanó	34.216.774	27.396.251	-	-	1.711.167	-	-	63.324.192	14,73%
Platanero de canarias	1.384.050	24.385.262	28.736.264	-	-	-	-	54.505.576	12,68%
Totales	182.532.943	148.658.943	90.346.395	5.245.296	3.075.954	76.550	87.774	430.023.156	100%

Podemos afirmar que hay una gran diferencia entre Coplaca y las demás entidades, siendo esta la que mayor porcentaje tiene de todas. Coplaca, se trata de una empresa fundada el 18 de diciembre de 1970 en Santa Cruz de La Palma, la cual, más adelante se trasladó a Santa Cruz de Tenerife donde hoy en día canalizan la fruta de más de 3200 agricultores [26].

Sin embargo, todos estos datos no nos sirven para realizar una estimación de los residuos provenientes de la platanera, más concretamente de las hojas de platanera necesarias para la conformación tanto de las probetas, como de los "Ecoplatos", tal y como se ha propuesto en el presente Trabajo de Fin de Grado.

5.2. Aprovechamiento de residuos vegetales de la platanera

En primer lugar, vamos a nombrar diferentes proyectos relacionados con la utilización de los residuos generados por la platanera:

5.2.1. LIFE BAQUA

La economía circular, se refiere a una economía industrial con propósito restaurador, diseñada para reducir la huella de carbono y llevar a cabo un uso más sostenible y ecológico de los recursos.

Como ya se ha comentado anteriormente, LIFE BAQUA, propone un proyecto con el que aprovechar todo tipo de residuos y sacarle el mayor beneficio posible. Busca aplicar conceptos de sostenibilidad y rentabilidad a la agricultura y acuicultura, mediante la revalorización de residuos. La finalidad de este proyecto se traduce, por un lado, en beneficio medioambiental y, por otro lado, un claro ejemplo de economía circular creándose nuevas oportunidades de negocio en el sector primario y reduciendo la dependencia de derivados del petróleo en la producción de plásticos [27].

Como bien sabemos, el cultivo del plátano corresponde con la principal actividad agrícola de las Islas Canarias, esto da lugar a la generación de muchos residuos, siendo uno de ellos el pseudotallo, el cual hasta ahora no se le había considerado como un recurso útil. Con este proyecto, los pseudotallos extraídos de la plantación, son procesados para producir fibra vegetal, obteniendo a su vez, pulpa como subproducto. Tras su procesado, ahora tenemos fibra y pulpa, dos productos que serán las principales líneas de acción, siempre con el objetivo final de potenciar los sectores agrícolas y acuícolas [27].

Por un lado, los compuestos extraídos de la pulpa se han estado utilizando en la acuicultura, específicamente en la elaboración de pienso para peces (probados en tilapias y lubinas), materia prima que, además de ser sostenible, presenta antioxidantes naturales de gran valor, estudiándose como una posible alternativa a los antioxidantes sintéticos actualmente incluidos en estas dietas. Asimismo, estos compuestos pueden servir en la agricultura para la producción de abonos y compost [28].

Por otro lado, parte de la fibra se ha empleado en la producción de materiales compuestos de base polimérica reforzada, aplicadas al transporte (componentes de vehículos). Los ensayos realizados, han demostrado un gran aumento en la resistencia mecánica de las piezas gracias a la presencia de estas, haciendo posible también la reducción de la cantidad de material sintético en piezas plásticas [28].

Como último punto del proyecto, se ha conseguido introducir hasta un 5% de la fibra de la platanera en la fabricación de biofilm 100% biodegradable, usado para el empaquetado del pienso para la acuicultura y también usado para producir cobertores de plátanos [28].



Figura 6. Cobertor de plátanos [12].

La fibra natural de la platanera presenta buenas prestaciones y características y a diferencia de las fibras sintéticas (de vidrio o carbono), las de platanera son más sostenibles con el medio ambiente.

Tabla 4. Características de la fibra natural de la platanera. (Fuente: propia)

Estructurales	Estéticas	Acústicas	Biodegradables
Baja densidad	Colores parecidos a la madera	Buen aislamiento	Gran capacidad de descomposición biológica



Figura 7. Fibra natural de la platanera [12].

El empleo de estos nuevos materiales que se han estado comentando en el presente apartado, pueden resultar ser muy útiles de cara al futuro para contribuir en la reducción del plástico en el sector agrícola.

Así es la estrategia de LIFE BAQUA, con la que se pretende pasar del residuo al recurso. Esta es una opción conveniente para alcanzar los dos objetivos principales de la compañía: revalorizar los residuos y reducir la utilización de plástico [12].

5.2.2. Residuos de la platanera y plátanos como fuente de biocombustible

Los biocombustibles, son combustibles usados para el transporte, provenientes de fuentes renovables como las plantas y los animales.

Existen muchos tipos de biocombustible y muchos otros están en desarrollo. Una de las formas de aprovechar la materia orgánica como fuente de energía, es utilizando diversos productos conocidos como la caña de azúcar, la soja o el girasol. Es aquí donde entra en escena una fuente menos usual, los plátanos y sus desechos orgánicos, como fuente de generación de biocombustibles [29].

Desde la Universidad de La Laguna, se está comenzando con la investigación y desarrollo de un proyecto con el que, en un futuro, se podrá producir biocombustible utilizando tanto el fruto como el tallo de las plataneras. La ventaja principal del plátano, a diferencia de otros frutos, es su gran capacidad de fermentación, debido a la cantidad de azúcares que contiene, permitiendo la generación de gases, metano y CO₂ [29].



Figura 8. Residuos y fruto de la platanera para generar biocombustible [29].

El proyecto realizado por el investigador Douglas Escalante y apoyado por la **Fundación DISA** y el **Instituto Tecnológico de Canarias (ITC)**, que se encuentra en la primera fase de estudio, basada en conseguir “un gas de calidad en cantidades apropiadas”, pretende llegar a la segunda fase, transformando ese gas en “dimetileter”, obteniéndose un biocombustible con características similares a la gasolina, que se puede aprovechar en motores especialmente preparados para ello [30].

Debido a la gran cantidad de producción de plátanos en Canarias, esto puede llegar a ser una gran alternativa para aprovechar el fruto sobrante o en mal estado y el rolo, en vez de, simplemente arrojarlos a los vertederos o en el caso del rolo, generar residuos innecesarios.

5.3. Vajillas desechables hechas con materiales de origen vegetal

En este apartado se exponen una serie de proyectos en los que se ha empleado materia prima de origen vegetal para la fabricación de vajillas desechables ecológicas y biodegradables.

Estos movimientos se encuentran motivados, además de por la propia problemática medioambiental, por la aparición en cada vez más lugares del planeta de normas o leyes que prohíben la fabricación de productos de plástico de “usar y tirar”.

Como hemos comentado anteriormente, en las Islas Canarias, el consejero de Lucha Contra el Cambio Climático anunció que, “el Ejecutivo regional se encuentra en estos momentos en fase de elaboración de una normativa adicional que establecerá una prohibición escalable de los plásticos de un solo uso en Canarias para su entrada en vigor el 1 de enero de 2021” [9].

Es por ello por lo que resulta natural y oportuna la aparición de cada vez más investigaciones orientadas a la creación de vajillas desechables biodegradables que sustituyan a las de plástico. Seguidamente, se procederá a presentar y explicar algunos de los ejemplos más actuales y destacados de dicha iniciativa.

5.3.1. Vajillas desechables hechas con salvado de trigo

Se conoce como salvado de trigo a la parte externa del cereal, más concretamente su cubierta. Se obtiene moliendo los granos de trigo quedando la cascarilla, que está formada por cinco capas. Este salvado contiene todo tipo de propiedades tales como proteínas, minerales, celulosa, grasas, etc. [31].

La idea de la vajilla biodegradable fabricada con salvado de trigo aparece en Polonia, a manos de un agricultor y molinero llamado Jerzy Wysocki, que, al moler el trigo, se encontraba con un exceso de salvado [32].

Tras varios experimentos, se dio cuenta de que calentando y presurizando una mezcla de salvado con agua, se creaba un material resistente con buenas prestaciones que podía ser utilizado como vajilla para la comida [32].



Figura 9. Vajillas biodegradables de salvado de trigo [32].

A partir de estos experimentos, el salvado de trigo se convierte en bioplástico creando platos y cubiertos ecológicos, es un procedimiento que no usa aditivos ni recursos minerales y no requiere de mucha agua, pero que actúa como respuesta ante la cada vez más grave crisis de los residuos plásticos [32].

Para su fabricación, Jerzy Wysocki contó con el apoyo de diferentes centros de investigación y desarrollo de Polonia, llegando a la conclusión de que, con una tonelada de salvado de trigo, se pueden fabricar unas 10.000 unidades de platos o tazas [32].

Este agricultor, tuvo tanto éxito, que fue capaz de crear su propia empresa para comercializar el producto. Además, su fabrica se encuentra en una zona responsable con el medio ambiente generando aproximadamente 15 millones de vajillas desechables al año y distribuyéndolas por todo el mundo [32].



Figura 10. El antes y después de una vajilla biodegradable de salvado de trigo [33].

5.3.2. Vajillas desechables hechas con desechos de comida

Parece difícil pensar que una vajilla este fabricada a partir de desechos de comida, pero en este caso los resultados hablan por sí solos. La diseñadora Michela Milani y la empresa italiana WhoMade han querido darles valor a los alimentos desperdiciados, creando vajillas desechables bautizadas con el nombre de Foodscapes [34] [35].

Sin embargo, estos desperdicios no es que sean una mezcla de toda la comida que se tira a la basura, sino que se selecciona un solo resto de comida, como por ejemplo, la cáscara de maní, zanahoria o naranja, con el objetivo de que dicha vajilla fuese más homogénea en cuanto a la textura y color [35].

Los desechos se pegan con adhesivo natural de base de almidón de patata, dándole posteriormente, forma de semilla como podemos ver en la siguiente figura [35].



Figura 11. Vajillas desechables hechas con desechos de comida en forma de semilla [35].

Al estar libres de cualquier sustancia química, ya sean colorantes o aditivos, son perfectos para comidas al aire libre, ya que, tras su utilización, se pueden disolver en agua y añadirlo al suelo en forma de abono. Es por ello, que los platos tienen esta forma de semilla, de acuerdo con la filosofía de sus diseñadores, “De la semilla al fruto, y del fruto otra vez se convierte en una semilla que vuelve a la tierra” [35].

En cambio, no se pueden utilizar para sopas y otras comidas líquidas, debido a que se descompondrían rápidamente, a causa de la absorbencia que tienen por su composición biológica [34].



Figura 12. Vajilla desechable hecha con cáscara de zanahoria [34].



Figura 13. Vajilla desechable hecha con cáscara de maní [34].

5.3.3. Vajillas desechables hechas con coronas de piña, cáscaras de maíz y semillas

Tras muchas investigaciones, dos colombianos, Claudia Barona y Andrés Benavides, formaron una empresa llamada Lifepack, encargada de fabricar diferentes productos que son 100% comprometidos con el medio ambiente. Sin embargo, los productos que mayor impacto han causado son los correspondientes a la línea Papelyco [36].

Esta línea está formada por vajillas y envases conformados por residuos vegetales, que, al igual que el anterior apartado, tras su utilización pueden añadirse al suelo como abono o desecharse, ya que, son biodegradables. La gran e innovadora diferencia, viene cuando además de degradarse, los platos contienen semillas en su interior siendo capaces de germinar una planta en poco más de una semana. Plantas que, por otro lado, ayudarán a filtrar hasta una tonelada de CO₂, causando un efecto positivo en la huella de carbono [37].



Figura 14. Vajillas desechables y germinables de la empresa Lifepack [37].

Por tanto, podemos decir que estos platos no solo contribuyen con el medio ambiente, sino que también son capaces de crear vida a través de las semillas que contienen [36].

5.4. Alternativas de origen vegetal al plástico en distintos usos

Hay una clara tendencia en todo el mundo en acabar con la producción de plástico o al menos reducir su uso. Muchas empresas están realizando grandes esfuerzos para sustituirlo por otros materiales biodegradables.

Por tanto, es importante ser consciente de la existencia de distintos materiales de origen vegetal empleados como alternativa al plástico en diferentes usos. A continuación, se enuncia y describe brevemente algunos ejemplos de proyectos que reflejan esta idea.

5.4.1. Pajitas vegetales biodegradables

Desde hace mucho tiempo, las pajitas de plástico han sido una de las principales fuentes de contaminación en el mundo. No solo por su composición, sino porque la mayoría, acaban en los océanos causando grandes problemas en el ecosistema marino, ya que, al ser tan pequeñas, la fauna marina se las come produciéndoles grandes enfermedades e incluso la muerte [38].

Es por ello, que el vietnamita Tran Minh, motivado por lo anteriormente nombrado, ha sido capaz de diseñar una pajita totalmente biodegradable y comestible a partir de una hierba prolífica llamada “Lepironia Articulata” que se encuentra en el delta de Mekong (Sur de Vietnam) [38].



Figura 15. Tran Minh recogiendo Lepironia Articulata [39].

Su producción es sencilla y consiste en seleccionar los tallos huecos de dicha hierba, para posteriormente lavarlos y cortarlos en trozos de 20 centímetros. Tras realizar estos pasos, se vuelve a lavar la cara interior con una varilla metálica y se dejan secando. Después del secado, todas las pajitas se juntan y se envuelven en hojas de platanera para su comercialización [38].

El producto ofrece dos tipos de pajitas:

- **Frescas:** tras la fase de producción, se meten directamente en el refrigerador durando hasta dos semanas [39].
- **Secas:** tras la fase de producción, se dejan al sol durante varios días y luego se hornean, llegando a durar hasta seis meses [39].

Están pensadas principalmente para un solo uso en restaurantes, sin embargo, también se pueden usar en casa y reutilizarlas. Sirve con enjuagarlas, dejarlas secar y conservarlas en la nevera [38].



Figura 16. Pajitas vegetales [38].



Figura 17. Pajitas vegetales envueltas en hojas de platanera [39].

5.4.2. Chubasqueros de patata biodegradables

La idea de los chubasqueros hechos con patata nace cuando Maite Cantón, una de las creadoras del proyecto, realiza un viaje a China (país más contaminante del mundo) y observa la gran cantidad de chubasqueros de plástico que hay en los vertederos [40].

Impulsada por esta desagradable imagen, se junta con Ana Martínez e Inge Olabarri para crear una empresa llamada Equilicuá, capaz de desarrollar todo tipo de chubasqueros impermeables, biodegradables y compostables, respetuosos con el medio ambiente y, además, a un costo de producción inferior que los chubasqueros de plástico tradicionales [40].



Figura 18. Chubasqueros de patata biodegradables [42].

Sin embargo, esto no es todo, al igual que hemos nombrado en el apartado 5.3.3. del presente Trabajo de Fin de Grado, los chubasqueros incluyen una bolita de Nendo Dango. Estas bolitas, están hechas de arcilla y protegen a las semillas que hay en su interior aportando nutrientes y evitando que los pájaros se las coman. Dichas semillas pueden ser flores, árboles o plantas aromáticas, de tal forma que, cuando se decida o se rompa el chubasquero, se puede enterrar generando una nueva vida [41] [42].

La fase de producción consiste en recoger diferentes variedades de patata cultivada, para posteriormente procesarla y convertirla en fécula de patata o almidón de patata, con la que se obtendrá la resina de bioplástico para fabricar el film de los chubasqueros. [41] A continuación, este bioplástico se cose con algodón orgánico para darle la forma al chubasquero [42].

Toda la fase de producción se lleva a cabo en España, más concretamente en Orense, donde se encuentra la fábrica, que produce el bioplástico y en Gijón donde se cosen. En cambio, la fase de comercialización ocurre a través de internet, con socios alrededor del mundo y llegando a vender estos chubasqueros en China, donde inicialmente surgió la idea [41].

6. MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio y la obtención de los denominados “Ecoplatos”, se utilizaron hojas de platanera. Este proceso se compone de dos métodos con diferentes etapas, pero que a su vez están ligados entre sí, ya que, sin uno no podríamos realizar el otro.

6.1. Esquema inicial

A continuación, en la figura 19, se adjunta un esquema a modo de presentación, con el fin de entender mejor las diferentes etapas que deben seguir cada uno de los métodos.

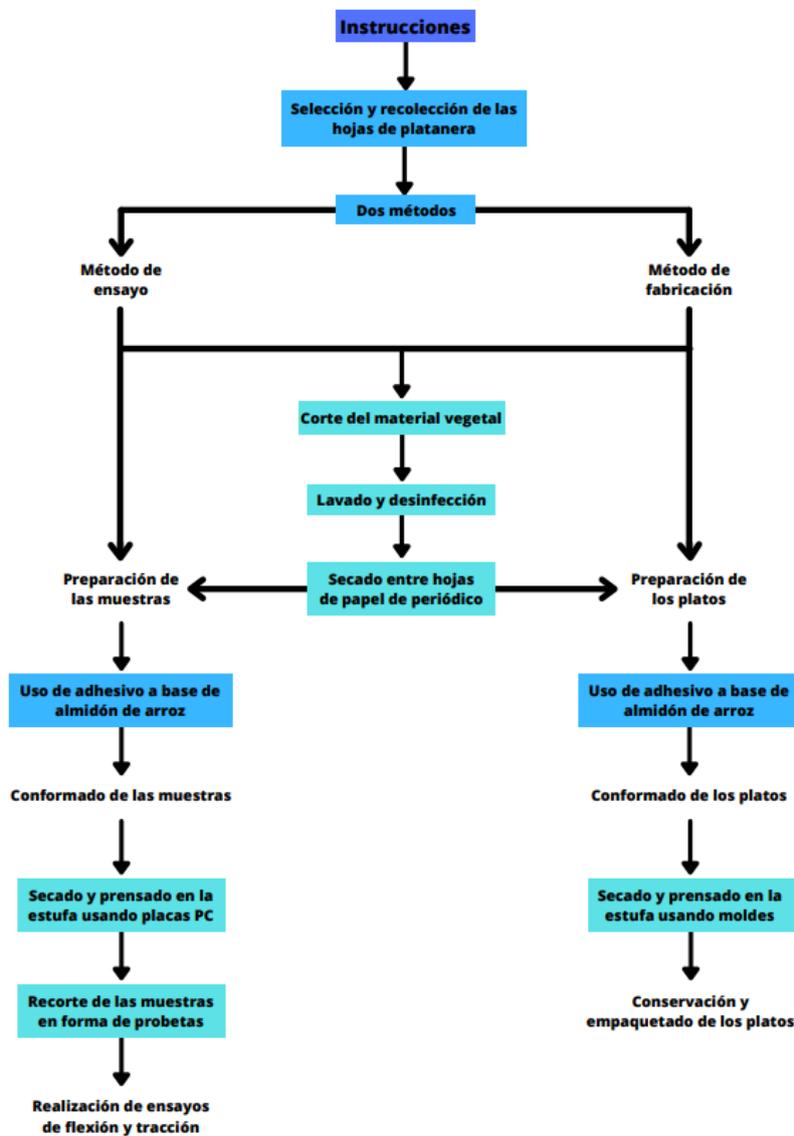


Figura 19. Esquema inicial sobre los métodos de ensayo y fabricación. (Fuente: propia)

Tanto el método de ensayo como el de fabricación tienen como etapas iniciales la selección y recolección, junto con el corte, lavado, desinfección y secado del material vegetal que vayamos a usar. Además, tras finalizar la fase de secado, en ambos métodos se utiliza un adhesivo de base de almidón de arroz para pegar las diferentes capas de material vegetal.

Por un lado, el método de ensayo consiste en la fabricación de diferentes tipos de probetas hechas con materiales vegetales. Estas probetas, que se prensaron con placas PC (policarbonato) y se secaron en la estufa, serán sometidas a diferentes ensayos mecánicos para posteriormente analizar cuál de ellas tiene mejores prestaciones mecánicas. Por otro lado, en el método de fabricación no se fabrican probetas sino platos. Estos, se prensaron usando diferentes moldes y se secaron en la estufa, y se conformaron con la misma disposición de capas de material vegetal que las probetas que resultaron tener las mejores condiciones.

6.2. Etapas del proceso. Línea de ensayo

Antes de comenzar con la preparación de los platos, debemos fabricar diferentes muestras de material compuesto en forma de probetas rectangulares planas, tal y como se indica en el apartado 6 de las normas UNE-EN- ISO 527: Parte 3 y UNE-EN-ISO 178. Una vez tengamos las distintas probetas preparadas, las someteremos a ensayos mecánicos y determinaremos cuál de ellas es la que mejores condiciones mecánicas presenta para la fabricación de los “Ecoplatos”.

El procedimiento de fabricación de los materiales compuestos se puede dividir de forma general en los siguientes pasos:

1. Recolección de la materia prima.
2. Preparación de la materia prima (recorte, limpieza y desinfección de las muestras, secado y prensado).
3. Preparación del adhesivo.
4. Conformado de los materiales compuestos.
5. Recorte del material en forma de probetas.

A continuación, desarrollaremos los anteriores apartados y los describiremos tal y como fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Materiales. Cabe mencionar que este proceso se repitió de la misma manera todas las veces que fue necesaria la fabricación de muestras.

6.2.1. Recolección de la materia prima

Los residuos vegetales provenientes de la platanera fueron recogidos en el invernadero de la Sección de Ingeniería Agraria de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de La Laguna. Durante la recolección, se trató de obtener muestras de la mejor calidad posible, evitando hojas demasiado secas, rotas, dobladas o contaminadas.



Figura 20. Invernadero de la Facultad de Ingeniería Agraria (Fuente: propia)

En general, siempre que se tuvieron que fabricar muestras, se recolectaron entre 2 y 4 hojas de platanera verdes en buen estado

Estas hojas son de gran tamaño y pecioladas. Su forma es ovalada, con el borde entero y nerviaciones pennadas en el limbo de la hoja. A continuación, se presentan las muestras recolectadas en la figura 21. Las dimensiones de las hojas seleccionadas siempre estaban entre los 100 y 130 cm de largo, y entre 45 y 60 cm de ancho.



Figura 21. Hojas de la platanera recogidas en el invernadero (Fuente: propia)

6.2.2. Preparación de la materia prima (recorte, limpieza y desinfección de las muestras, secado y prensado)

6.2.2.1. Recorte:

Tras la etapa de recolección, pasamos a recortar las muestras. El objetivo al que se quiere llegar con esto es el de obtener láminas de un tamaño que fuese más cómodo y manejable para su limpieza y desinfección (y para su posterior utilización en la fabricación de los materiales compuestos).

Para recortar las muestras empleamos los cúteres que vemos en la siguiente imagen:



Figura 22. Cúteres empleados para recortar las muestras (Fuente: propia)

En primer lugar, retiramos de las hojas verdes la nervadura central de la forma que podemos ver en la figura 23.



Figura 23. Recorte de la nervadura central de la hoja (Fuente: propia)

Seguidamente recortaremos las hojas de la platanera en pedazos más pequeños para facilitar el proceso de limpieza y desinfección.

Las láminas obtenidas tendrán una forma rectangular y las dimensiones que permitan obtener una mayor cantidad de probetas según las normas UNE-EN-ISO 178 y UNE-EN-ISO 527: Parte 3. Además, se retirarán de las hojas las partes defectuosas; u aquellos tramos que estén estropeados, contaminados o demasiado secos.

A partir de las normas anteriormente mencionadas, se decide que es adecuado que las láminas sean recortadas para obtener probetas con las siguientes dimensiones:

- **Ancho: 25 mm**
- **Longitud: 150 mm**

Teniendo en cuenta todo esto, recortamos y obtenemos las siguientes muestras:



Figura 24. Muestras de hojas de platanera recortadas (Fuente: propia)

6.2.2.2. Limpieza y desinfección de las muestras

Una vez tenemos recortadas las láminas de la forma adecuada, se da paso al proceso de lavado y desinfección:

En primer lugar, a las muestras seleccionadas se les elimina los restos de tierra y de cualquier otra partícula “extraña”, empleando abundante agua corriente en el fregadero del Laboratorio de Materiales.



Figura 25. Lámina de hoja lavándose en agua. (Fuente: propia)

A continuación, para la desinfección, se toman como referencia las instrucciones establecidas por AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición). En ellas se señala que, para lavar frutas y verduras, hay que sumergirlas durante 5 minutos en agua potable con 1 cucharita de postre de lejía (4,5 ml) por cada 3 litros de agua. [43]

En las siguientes figuras, podemos ver los recipientes empleados para medir tanto el volumen de agua corriente como el de lejía:



Figura 26. Vaso de precipitado empleado para medir volumen de agua (Fuente: propia)



Figura 27. Probeta empleada para medir volumen de lejía (Fuente: propia)

Es de suma importancia tener en cuenta que la lejía empleada deberá estar etiquetada como “apta para la desinfección de agua bebida” [43].



Figura 28. Etiqueta de “apta para la desinfección de agua bebida” (Fuente: propia)



Figura 29. Lejía empleada para desinfectar (Fuente: propia)

En la figura 30 podemos observar los guantes de látex empleados como protección durante el proceso de desinfección y la varilla de vidrio utilizada para remover y lograr la disolución de agua y lejía:



Figura 30. Guantes de látex para la protección y varilla de vidrio para remover la mezcla. (Fuente: propia)

Una vez elaborada la disolución de agua y lejía, pasamos a sumergir las muestras de hojas de platanera durante 5 minutos.



Figura 31. Láminas de hojas de platanera sumergidas en la disolución de agua y lejía. (Fuente: propia)

Tras finalizar este periodo de tiempo, se aclaran las muestras con abundante agua y se preparan para la etapa de secado.

6.2.2.3. Secado de las muestras

Seguidamente, debemos proceder al secado de las hojas. Para ello, las retiramos de la disolución y las situamos sobre papel de filtro como podemos observar en la figura 32. Posteriormente, las secamos una a una lo máximo que podamos, con cuidado haciendo uso de papel de mano.



Figura 32. Muestras colocadas sobre papel de filtro para el proceso de secado. (Fuente: propia)



Figura 33. Muestra secándose con papel de mano. (Fuente: propia)



Figura 34. Láminas vegetales colocadas entre hojas de periódico (Fuente: propia)

Posteriormente se situarán entre hojas de papel de periódico, que ayudarán a secar y a conservar de forma más eficaz las láminas.

6.2.2.4. Prensado de las muestras

Finalmente, y como último punto de este apartado, para guardar y mantener las hojas lo más secas posibles después de haberlas introducido entre hojas de papel de periódico, le colocaremos peso encima para tratar de dejarlas lo más planas posibles y las dejaremos reposar dentro de

uno de los armarios del Laboratorio de Materiales (considerado el lugar con menos humedad de toda la sala).



Figura 35. Muestras de hojas y badana secándose a temperatura ambiente con peso encima (Fuente: propia)

Cabe destacar que los tiempos de secado de los materiales pueden variar según las condiciones de temperatura y humedad del laboratorio, así como por la cantidad de agua que hemos podido dejar tras lavarlas, es por eso por lo que se ha dejado un periodo de tiempo de 24 horas.

Tras estas 24 horas, las muestras de hojas de platanera se encontraban totalmente secas. Este tiempo de secado se mantuvo igual todas las veces que se realizaron muestras.

6.2.3. Preparación del adhesivo

Una vez tenemos todas las hojas completamente secas y listas para la fabricación del material compuesto, pasamos a la preparación del adhesivo que unirá las distintas capas de material vegetal.

En el Laboratorio de Materiales nos encontramos con tres tipos diferentes de almidón ($C_6H_{10}O_5$)_n, patata, arroz y maíz, en nuestro caso nos vamos a centrar en utilizar el almidón de arroz soluble de la marca acofarma (ver Anexo I).



Figura 36. Almidón de arroz.
(Fuente: propia)

Todas las veces que fue necesario elaborar almidón, se utilizó una cantidad de 50 gramos de este, con los que posteriormente se realizaba una disolución en agua con proporción agua/almidón de 2:1. Para saber exactamente cuanta cantidad de almidón vamos a tener, hacemos uso de la balanza del laboratorio, la cual podemos observar en la figura 37.

En primer lugar, se disolvió el almidón en el agua removiendo un poco la mezcla para a continuación, calentarla a fuego lento durante el tiempo que fuese necesario hasta alcanzar el punto de cocción del almidón, que en este caso se encuentra entre temperaturas de 60°C y 70° C. En este periodo de tiempo, se debe remover constantemente con una varilla de vidrio, con el fin de evitar la aparición de grumos en la disolución y que la mezcla quede lo más homogénea posible. Para llevar a cabo todo este proceso, haremos uso de un agitador magnético con calefacción llamado VMS-A (figura 38),



Figura 37. Balanza. (Fuente: propia)



Figura 38. Agitador magnético con calefacción, VMS-A. (Fuente: propia)

Se continuará removiendo hasta apreciar que se ha formado una especie de goma o gel espeso y viscoso. Una vez llegado a este punto, se apaga el fuego y se deja enfriar el conjunto a temperatura ambiente. Cuando se haya enfriado, el adhesivo a base de almidón de arroz estará listo para su utilización.



Figura 39. Proceso de calentamiento y agitación de la mezcla para elaborar el adhesivo (Fuente: propia)



Figura 40. Mezcla viscosa empleando almidón de arroz (Fuente: propia)

6.2.4. Fabricación de los materiales compuestos

El material compuesto que fabricamos para llevar a cabo los ensayos mecánicos es un material plano, laminado.

Para su elaboración, se dispondrán diferentes capas de hojas de la platanera junto con diferentes tipos de papel ecológico (vegetal y reciclado), empleando el adhesivo que hemos preparado para así, unir las capas.

Las hojas empleadas se fueron colocando de forma horizontal y vertical según las líneas de pliegue que contiene la hoja natural para obtener un tamaño y espesor uniforme. Entre medio de estas hojas de platanera, se colocaron también las hojas de papel reciclado o vegetal. Además, se emplearon utensilios de laboratorio para desarrollar el procedimiento como hojas de filtro para la colocación de las hojas, espátula para agregar el adhesivo y papel de mano para limpiar y eliminar el exceso de este.

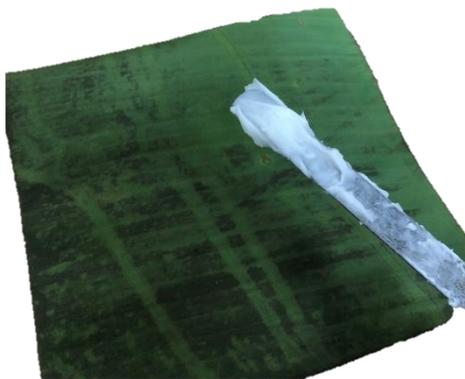


Figura 41. Preparación de muestras de hoja de platanera y papel ecológico a base de almidón de arroz. (Fuente: propia)



Figura 42. Ejemplo de disposición de las capas de una muestra aleatoria. (Fuente: propia)

Tras terminar el proceso de pegado de capas, las muestras quedan de la manera que podemos ver en la figura 43.



Figura 43. Muestras totalmente pegadas. (Fuente: propia)

Finalmente, dichas muestras pasan a la fase de secado. Para ello se hará uso de la estufa JP-Selecta 2000250, de placas PC y papel de mano para cubrir las muestras y las placas PC.

En primer lugar, se cogerá una placa PC y se colocará la muestra. A continuación, se cubrirá la muestra y la placa PC con papel de mano como observamos en la figura 44. Por último, se pondrá otra placa PC encima haciendo de tapa y volviéndola a cubrir con papel de mano. Posteriormente se introducirá el conjunto en la estufa con cierto peso encima, ejerciendo la máxima presión posible, para que las muestras queden lo más compactas y uniformes posibles.

Cabe mencionar que la estufa se utilizó a una temperatura constante de 50 °C, con una duración de 5 a 6 horas, aunque el proceso de secado después de utilizar la estufa se prolongaba hasta tres días a temperatura ambiente para que estuviesen completamente secas y así, poder ensayarlas.

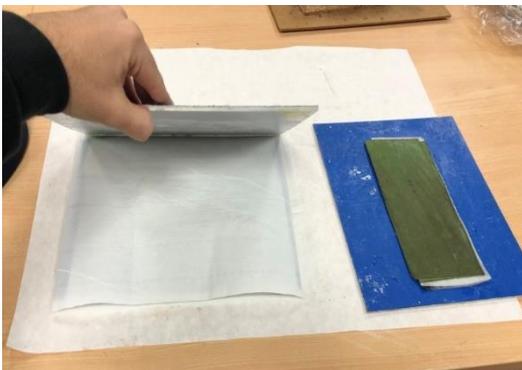


Figura 44. Placas PC con muestra de hoja de platanera y papel ecológico cubierta con papel de mano. (Fuente: propia)



Figura 45. Muestra de hoja de platanera y papel ecológico con peso encima en la estufa JP-Selecta 2000250. (Fuente: propia)

6.2.5. Recorte del material en forma de probetas

Al cabo de tres días, se comprueba que las muestras estén completamente secas y las se cortan con cuidado a tijera, obteniendo las probetas anteriormente mencionadas, con dimensiones de aproximadamente 25 milímetros de ancho, 150 milímetros de largo y con un espesor que será diferente dependiendo del número de capas vayamos a utilizar, pero que siempre estará entre 1 y 3 milímetros, teniendo siempre en cuenta las normas UNE-EN- ISO 527: Parte 3 y UNE-EN-ISO 178.



Figura 46. Probetas de hoja de platanera a base de almidón de arroz. (Fuente: propia)

6.3. Datos e identificación correspondientes a las probetas fabricadas

Para diferenciar cada una de las muestras fabricadas a partir de los residuos vegetales originados por la platanera, se utilizó una nomenclatura compuesta por diferentes letras y números, indicando el número de capas y el tipo de material empleado (papel ecológico u hojas de platanera).

Se utilizaron dos tipos de papel ecológico: vegetal y reciclado, como capa intermedia del montaje para lograr una mayor resistencia y dureza de las muestras en su conformado.

Por un lado, el papel reciclado de la marca "Carvicho" tiene un peso y tamaño iniciales por hoja de **1,13 gramos** y **11x16 cm** respectivamente. Por otro lado, el papel vegetal de la marca "liderpapel" posee un peso inferior por hoja de **0,8 gramos** y un tamaño superior de **21x29,7 cm**. Como podemos ver en la figura 47, a la izquierda tenemos el papel reciclado y a la derecha el papel vegetal.

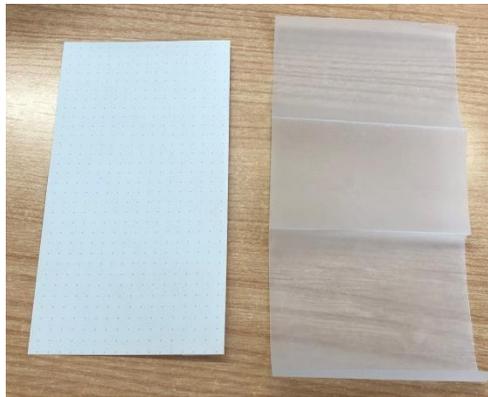


Figura 47. Papel reciclado y papel vegetal.
(Fuente: propia)

Las letras que se han utilizado para las muestras son las siguientes:

- **H: hoja de platanera**
- **R: papel reciclado**
- **V: papel vegetal**

Por otro lado, también están los números, que corresponden con el número de capas empleado. A continuación, podemos ver un ejemplo de una probeta aleatoria:

- **6H-3V: esta nomenclatura corresponde a una probeta fabricada con tres capas de papel vegetal y seis capas de hoja de platanera.**

Como ya hemos mencionado anteriormente, el adhesivo siempre fue el mismo para las muestras, almidón de arroz en proporción agua/almidón 2:1.

A continuación, en la siguiente tabla tenemos un resumen de todas las probetas fabricadas en el laboratorio, separadas por el número de capas y según el tipo de papel ecológico:

Tabla 5. Total de probetas fabricadas en el laboratorio.

Muestras fabricadas en el laboratorio					
Identificación	Material	Papel ecológico	Nº de capas (material)	Nº de capas (papel)	Total de probetas
6H-3R	Hoja de platanera	Reciclado	6	3	14
6H-3V	Hoja de platanera	Vegetal	6	3	14
4H-5V	Hoja de platanera	Vegetal	4	5	6
6H-1V-1R	Hoja de platanera	Vegetal-Reciclado	6	2	2

6.3.1. Datos e identificación correspondientes a las probetas ensayadas a tracción

Tabla 6. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 10 de febrero de 2021.

Probetas fabricadas con hoja de platanera			
Identificación	Nº total de capas	Papel ecológico	Día de ensayo
6H-3R-1	9	Reciclado	10-02-2021
6H-3R-2	9	Reciclado	10-02-2021
6H-1V-1R-1	8	Vegetal-Reciclado	10-02-2021
6H-1V-1R-2	8	Vegetal-Reciclado	10-02-2021
6H-3V-1	9	Vegetal	10-02-2021
6H-3V-2	9	Vegetal	10-02-2021

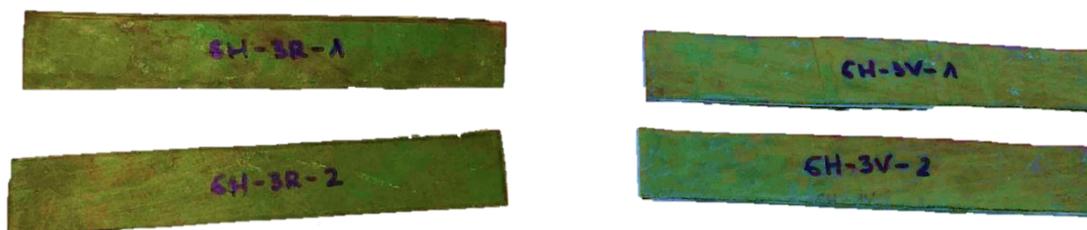


Figura 48. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado y probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)

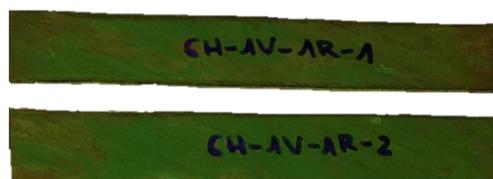


Figura 49. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal y reciclado. (Fuente: propia)

Tabla 7. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.

Probetas fabricadas con hoja de platanera			
Identificación	Nº total de capas	Papel ecológico	Día de ensayo
6H-3R-1	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3R-2	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3R-3	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3R-4	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3R-5	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3R-6	9	Reciclado	22-02-2021
6H-3V-1	9	Vegetal	22-02-2021
6H-3V-2	9	Vegetal	22-02-2021
6H-3V-3	9	Vegetal	22-02-2021
6H-3V-4	9	Vegetal	22-02-2021
6H-3V-5	9	Vegetal	22-02-2021
6H-3V-6	9	Vegetal	22-02-2021



Figura 50. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado. (Fuente: propia)

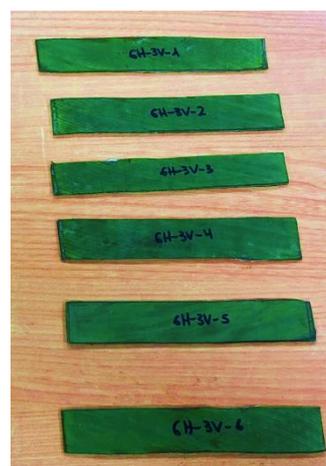


Figura 51. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)

Tabla 8. Identificación de las probetas ensayadas a tracción el día 17 de marzo de 2021.

Probetas fabricadas con hoja de platanera			
Identificación	Nº total de capas	Papel ecológico	Día de ensayo
4H-5V-1	9	Vegetal	17-03-2021
4H-5V-2	9	Vegetal	17-03-2021
4H-5V-3	9	Vegetal	17-03-2021
4H-5V-4	9	Vegetal	17-03-2021
4H-5V-5	9	Vegetal	17-03-2021



Figura 52. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)

6.3.2. Datos e identificación correspondientes a las probetas ensayadas a flexión

Tabla 9. Identificación de las probetas ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.

Probetas fabricadas con hoja de platanera			
Identificación	Nº total de capas	Papel ecológico	Día de ensayo
6H-3R-1	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3R-2	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3R-3	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3R-4	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3R-5	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3R-6	9	Reciclado	04-03-2021
6H-3V-1	9	Vegetal	04-03-2021
6H-3V-2	9	Vegetal	04-03-2021
6H-3V-3	9	Vegetal	04-03-2021
6H-3V-4	9	Vegetal	04-03-2021
6H-3V-5	9	Vegetal	04-03-2021
6H-3V-6	9	Vegetal	04-03-2021



Figura 53. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)



Figura 54. Probetas de hoja de platanera con papel reciclado. (Fuente: propia)

Tabla 10. Identificación de las probetas ensayadas a flexión el día 17 de marzo de 2021.

Probetas fabricadas con hoja de platanera			
Identificación	Nº total de capas	Papel ecológico	Día de ensayo
4H-5V-1	9	Vegetal	17-03-2021



Figura 55. Probetas de hoja de platanera con papel vegetal. (Fuente: propia)

6.4. Dimensiones correspondientes a las probetas

En esta sección se muestran las dimensiones correspondientes a las diferentes probetas fabricadas, tanto para las ensayadas a tracción como a flexión.

Este procedimiento de medición se realiza mediante la correcta utilización del Calibrador digital "pie de rey" para el espesor, y la regla como instrumento de medición para dimensiones más grandes como son el largo y el ancho de las probetas.



Figura 56. Calibrador digital "pie de rey" utilizado para medir el espesor de las probetas. (Fuente: propia)

Se determina en cada caso el largo, ancho y espesor de cada probeta. Estos parámetros serán necesarios para proceder posteriormente con los ensayos de flexión y tracción. Se emplean unidades del sistema métrico internacional (SI) expresadas en milímetros (mm).

La geometría de las probetas difiere sobre todo en el espesor de esta debido a la estructura de la hoja en las diferentes capas, por ello, se realizan varias mediciones de espesor y anchura y se determina un valor promedio.

A continuación, se muestran los diferentes puntos de medida en las probetas tanto para el ancho como para el espesor y así, poder determinar un valor promedio.

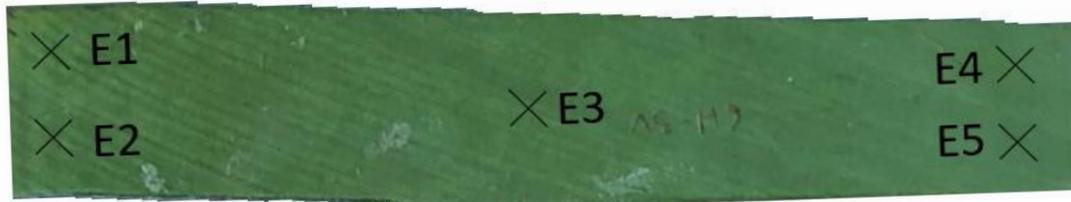


Figura 57. Medición de espesor en las probetas. (Fuente: propia)



Figura 58. Medición de anchura en las probetas. (Fuente: propia)

6.4.1. Dimensiones correspondientes a las probetas ensayadas a tracción

Tabla 11. Dimensiones de las probetas ensayadas a tracción el día 10 de febrero de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
6H-3R-1	25,00	152,00	2,47	61,75
6H-3R-2	25,83	151,00	2,62	67,67
6H-1V-1R-1	22,30	152,50	2,38	53,07
6H-1V-1R-2	23,20	152,00	2,58	59,86
6H-3V-1	23,50	152,50	2,84	66,74
6H-3V-2	23,67	150,00	2,82	66,75

Tabla 12. Dimensiones de las probetas con papel reciclado ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
6H-3R-1	21,17	150,00	2,79	59,06
6H-3R-2	24,70	151,00	3,10	76,57
6H-3R-3	24,20	152,00	2,98	72,12
6H-3R-4	22,30	151,00	2,80	62,44
6H-3R-5	23,50	153,00	3,00	70,50
6H-3R-6	24,67	150,00	2,84	70,06

Tabla 13. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a tracción el día 22 de febrero de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
6H-3V-1	23,00	151,00	2,50	57,50
6H-3V-2	23,70	152,00	2,84	67,31
6H-3V-3	21,20	152,50	2,78	58,94
6H-3V-4	25,80	150,00	2,61	67,33
6H-3V-5	25,00	151,50	2,50	62,50
6H-3V-6	24,70	152,00	2,84	70,15

Tabla 14. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a tracción el día 17 de marzo de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
4H-5V-1	25,50	152,00	3,50	89,25
4H-5V-2	22,80	150,50	2,90	66,12
4H-5V-3	24,20	152,50	2,98	72,12
4H-5V-4	26,30	152,00	2,93	77,06
4H-5V-5	24,80	151,50	3,23	80,10

6.4.2. Dimensiones correspondientes a las probetas ensayadas a flexión

Tabla 15. Dimensiones de las probetas con papel reciclado ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
6H-3R-1	23,67	151,00	2,92	69,12
6H-3R-2	22,50	152,00	2,93	65,93
6H-3R-3	22,83	152,00	2,81	64,15
6H-3R-4	23,33	151,50	3,30	76,99
6H-3R-5	22,33	150,50	3,16	70,56
6H-3R-6	23,33	152,50	3,07	71,62

Tabla 16. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a flexión el día 4 de marzo de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
6H-3V-1	22,17	151,00	2,93	64,96
6H-3V-2	22,50	150,00	2,94	66,15
6H-3V-3	22,83	152,00	2,94	67,12
6H-3V-4	22,67	152,00	3,04	68,92
6H-3V-5	23,00	153,00	3,18	73,14
6H-3V-6	24,33	151,50	2,82	68,61

Tabla 17. Dimensiones de las probetas con papel vegetal ensayadas a flexión el día 17 de marzo de 2021.

Dimensiones de las probetas fabricadas con hoja de platanera				
Identificación	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)
4H-5V-1	26,00	152,00	3,11	80,86

6.5. Caracterización mecánica de los materiales compuestos

Se puede denominar caracterización de los materiales compuestos a toda prueba o ensayo que tiene como fin determinar diferentes propiedades mecánicas de un material en concreto.

Es de gran importancia conocer todas las propiedades de los materiales para posteriormente realizar un diseño que se adapte a estas condiciones. Por ello, en España existen una serie de ensayos normalizados para determinar dichas propiedades, en donde la entidad encargada de normalizarlos se llama AENOR [44].

Por todo lo nombrado anteriormente y como hemos comentado en varios apartados, las probetas fueron fabricadas y ensayadas bajo las normas UNE-EN-ISO 178: "Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión. AENOR 2020" y UNE-EN-ISO 527: "Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios generales. AENOR 2020" y "UNE-EN-ISO 527: Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas. AENOR 2018".

Para realizar los ensayos, se utilizó la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS ubicada en Laboratorio de Materiales. Dicha máquina posee un software denominado Trapezium, capaz de procesar todos los datos que se obtuvieron en los ensayos para después tratarlos y ver que disposición posee las mejores prestaciones para la fabricación de los "Ecoplatos".



Figura 59. Máquina Shimadzu Autograph AG-IS. (Fuente: propia)

En las siguientes figuras, podemos apreciar las diferentes partes de la máquina según el ensayo que se vaya a realizar.

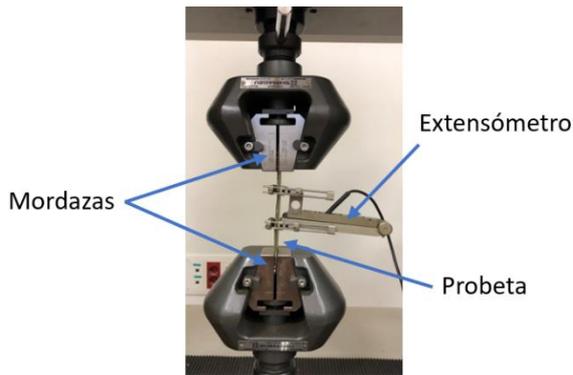


Figura 60. Partes de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS configurada para un ensayo a tracción. (Fuente: propia)

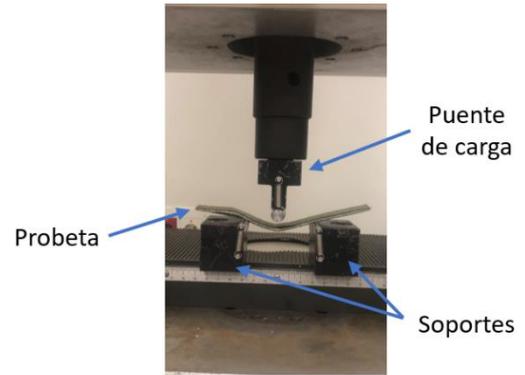


Figura 61. Partes de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS configurada para un ensayo a flexión. (Fuente: propia)

A continuación, se explicará de manera específica cada uno de los ensayos que se realizaron en el Laboratorio de Materiales.

6.5.1. Características del ensayo de tracción

Se denomina tracción al esfuerzo interno sometido a un cuerpo a causa de la aplicación de dos fuerzas en sentido contrario que tienden a estirarlo.

Una probeta de área rectangular, sujeta en sus extremos por mordazas, se va deformando debido a la aplicación de una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo de su eje [45]. Dicha probeta está diseñada para deformarse a velocidad constante hasta que rompa o se decida parar [46]. Gracias a la máquina de ensayos utilizada y al software "Trapezium", se pueden registrar los datos simultáneamente de carga y alargamiento resultante (utilizando un extensómetro), con los que posteriormente y después de varios cálculos, se representarán curvas de esfuerzo frente a deformación [45] [47].

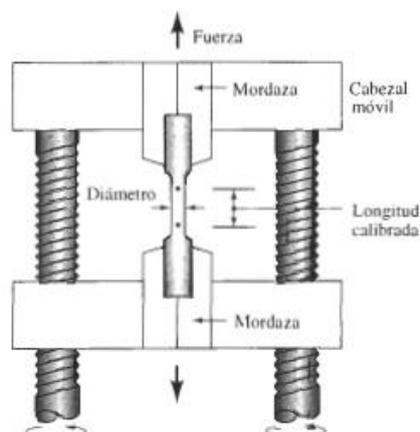
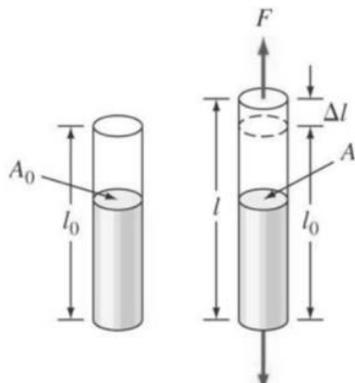


Figura 62. Posición de la probeta y aplicación de la carga de un ensayo a tracción [47].

A partir de los datos registrados por la máquina (carga y alargamiento), y de las dimensiones iniciales de las probetas, podemos transformar la carga en tensión y el alargamiento en deformación a través de las ecuaciones que se pueden observar a continuación [48]:



$$\sigma = \frac{F \text{ (Fuerza uniaxial)}(N)}{A_0 \text{ (Área original probeta)}(mm^2)}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l \text{ (Variación longitud probeta)}(mm)}{l_0 \text{ (longitud calibrada)}(mm)}$$

Figura 63. Cálculo del esfuerzo y la deformación [48].

Después de calcular los parámetros anteriores, podemos representar la curva esfuerzo-deformación mencionada previamente:

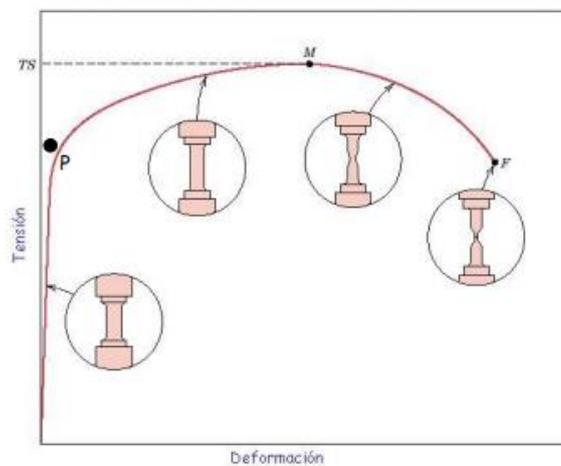


Figura 64. Curva característica esfuerzo-deformación hasta fractura [45].

En la curva se pueden diferenciar dos regiones:

Por un lado, tenemos **la zona elástica**, una región con pequeñas deformaciones que llega hasta el punto P, en donde se cumple la Ley de Hooke [45]:

$$\sigma = E \varepsilon \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

σ (MPa): valor de tensión.

E (MPa): valor del Módulo de Elasticidad o de Young.

ε (adimensional o en %): valor de la deformación.

Tal y como se muestra la figura 65, al representar la tensión en el eje de ordenadas frente a la deformación en el eje de abscisas, se obtiene una relación lineal, cuyo valor de máxima pendiente corresponde al Módulo de Elasticidad o de Young [45]. Para el cálculo de dicha pendiente, se emplea el método de la recta de regresión lineal ajustada por mínimos cuadrados, indicado en la norma [46].



Figura 65. Cálculo del módulo de elasticidad en la curva esfuerzo-deformación [45].

Observando la figura 66, la **zona elástica** finaliza en el punto P, a este punto se le conoce como Límite de Elasticidad o Límite Elástico del material (σ_y). Sin embargo, en muchos materiales, este parámetro es difícil de distinguir, por lo que se utiliza un método que consiste en proyectar una recta paralela a la pendiente de la parte elástica de la curva esfuerzo-deformación, pero con un desplazamiento en el origen del 0,2%. Finalmente, cuando esta recta intercepte la curva, obtendremos el valor del Límite Elástico [45]. No obstante, aunque todos los materiales posean Límite Elástico, no siempre se puede calcular bajo este criterio.

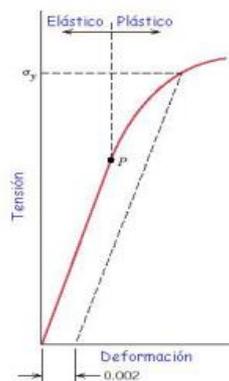


Figura 66. Obtención del Límite Elástico. [45]

Por otro lado, tenemos **la zona plástica**, que va desde el punto P en adelante, perdiéndose la forma lineal que tenía inicialmente la curva, donde el material sufre deformaciones permanentes (deformación plástica).

Tras comenzar la deformación plástica, la tensión alcanza un punto máximo correspondiente al punto M (ver figura 64) en la curva esfuerzo-deformación, denominado Resistencia a tracción, que corresponde con la máxima tensión que puede soportar un material a tracción, y que finalmente va disminuyendo hasta producirse la rotura en el Punto F (ver figura 64) [45].

Por último, con este ensayo, también podemos calcular la ductilidad del material. Esta propiedad mecánica, nos sirve para medir la máxima deformación plástica que puede soportar el material sin llegar a la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil [45].

Dicha propiedad, se puede expresar a través del porcentaje de elongación, con el que podremos saber cuánto se ha alargado la probeta sin llegar a fracturarse.

$$\%EL = \frac{\Delta l_0}{l_0}$$

Siendo Δl_0 el incremento de la longitud de la probeta entre las marcas de referencia del extensómetro. En nuestro caso, el valor de alargamiento, lo da directamente el software Trapezium. Por otro lado, l_0 corresponde con la distancia original entre marcas calibradas. [45]

6.5.2. Características del ensayo de flexión por tres puntos

Se conoce como flexión al tipo de deformación que sufre un elemento de estructura alargada en la dirección perpendicular a su eje longitudinal [45] [49].

Una probeta de área rectangular, que se apoya sobre dos soportes, se flexiona usando la técnica de tres puntos de aplicación de la carga; el esquema de aplicación de carga por tres puntos se ilustra en la figura 67 [45]. Además, dicha probeta, se va flexionando a una velocidad constante marcada al inicio del ensayo hasta que rompe o hasta que se alcance el valor establecido para el límite de descenso del puente de carga [50]. Gracias a este procedimiento, podemos medir la fuerza aplicada sobre la probeta y la flecha resultante en el punto medio de esta, datos registrados por el software "Trapezium", y que posteriormente nos servirán para calcular el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión.

En la norma UNE-EN-ISO 178, existen dos métodos de aplicación del ensayo a flexión:

- **Método A:** se utiliza una velocidad de deformación constante durante todo el ensayo para determinar la curva de carga frente a la deflexión [50].
- **Método B:** se utilizan dos velocidades de deformación diferentes para determinar la curva de esfuerzo carga a la deflexión [50].

En nuestro caso, nos centraremos en el método A de la norma, utilizando una única velocidad durante todo el ensayo.

Tras definir la velocidad de ensayo, se debe colocar la probeta y aplicar la carga tal y como se muestra en la siguiente figura:

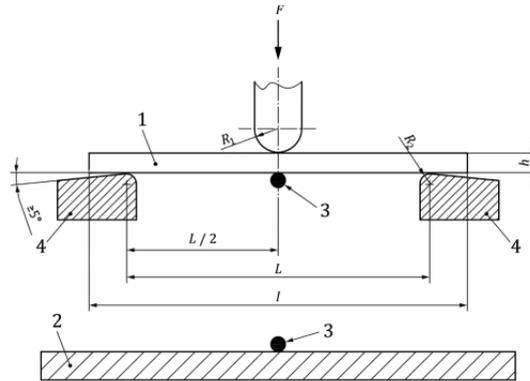


Figura 67. Posición de la probeta y aplicación de la fuerza en un ensayo a flexión [47].

Donde, por un lado, el número 1 es la probeta y el 4 los soportes, y, por otro lado, la L corresponde a la distancia entre los soportes, h al espesor de la probeta y F a la carga aplicada.

Los resultados tras realizar el ensayo a flexión se representan a través de curvas de carga frente a deflexión.

En el punto central, donde se aplica la carga, la cara superior de la probeta sufre un esfuerzo de compresión mientras que en la cara inferior se encuentra a tracción [45]. En la siguiente figura podemos ver una representación aleatoria de una curva de carga (F) frente a deflexión (δ).

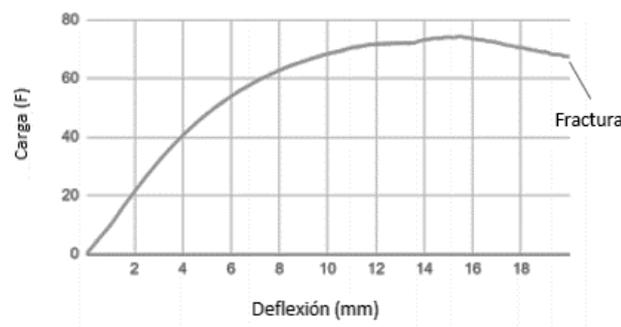


Figura 68. Curva carga-deflexión de un ensayo a flexión aleatorio. (Fuente: propia)

A partir de esta curva, se podrán calcular los parámetros que veremos a continuación, con los que se realizará un estudio exhaustivo del material a flexión:

- **Resistencia a la flexión:**

La tensión máxima en este ensayo de flexión se conoce como Módulo de Rotura (MOR) y para una probeta de sección rectangular está dado por la siguiente fórmula [47]:

$$MOR = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Donde:

F(N): es la fuerza o carga de rotura.

L (mm): es la distancia entre soportes.

w (mm): el ancho de la probeta.

h (mm): el espesor de la probeta.

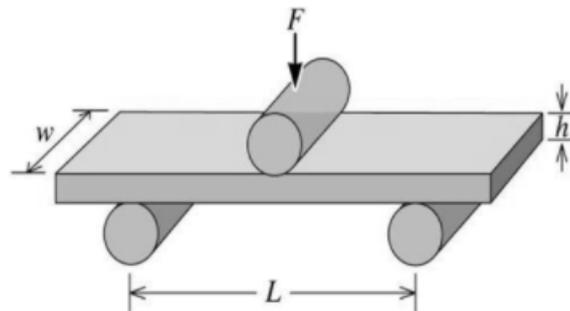


Figura 69. Condiciones previas de un ensayo a flexión [48].

- **Módulo de flexión:**

El Módulo de Flexión se define a través de la siguiente expresión [50]:

$$E_{fl} = \frac{L^3 m}{4wh^3}$$

Donde:

L (mm): es la distancia entre soportes.

w (mm): el ancho de la probeta.

h (mm): el espesor de la probeta.

m (MPa): corresponde con el valor de máxima pendiente obtenido en la región elástica de la curva carga-deflexión, utilizando el método de la recta de regresión lineal ajustada por mínimos cuadrados, indicado en la norma [50].

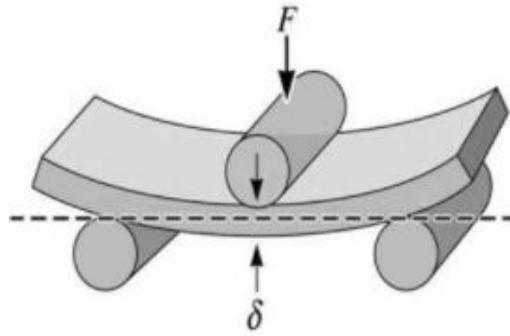


Figura 70. Deflexión causada por el ensayo a flexión [48]

- **Deformación de flexión:**

En probetas de sección rectangular la deformación de flexión viene dada por la expresión [50]:

$$\epsilon_{fl} = \frac{6\delta h}{L^2}$$

Donde:

L (mm): es la distancia entre soportes.

h (mm): el espesor de la probeta.

delta (mm): la deflexión o flecha de la probeta (se puede tomar en los ensayos de flexión como el desplazamiento del travesaño de la máquina de ensayos).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ENSAYOS

Como se ha comentado a lo largo del presente Trabajo de Fin de Grado, las probetas fabricadas se sometieron a ensayos de tracción y flexión con el fin de estudiar las propiedades mecánicas.

En este apartado, se mostrarán los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, a partir de los valores extraídos de la Máquina Universal de Ensayos Shimadzu Autograph AG-IS. En el caso de que se quisiera consultar algún resultado en específico, estos se encuentran en el Anexo III y Anexo IV.

Se fabricaron un total de 36 probetas, de las cuales 23 se destinaron para el ensayo a tracción y 13 para el ensayo a flexión. Sin embargo, como comentaremos más adelante, para flexión solo se ensayaron 5 probetas debido a los malos resultados recogidos.

Para los conjuntos de gráficas, también se calculó la media aritmética de cada uno de los parámetros específicos de cada ensayo y la desviación típica para saber cuánto se desvían dichos parámetros de la media obtenida.

- **Desviación típica:**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

x : es el valor correspondiente a cada muestra.

\bar{x} : media aritmética de los valores de las muestras.

n : número de muestras ensayadas.

Además de todos estos valores, como último punto del apartado, se aportarán imágenes microscópicas de las probetas tras haber sido ensayadas para comprobar el estado en el que se encuentran.

7.1. Ensayos a tracción

De manera general, todas las gráficas de las probetas fluctúan en gran medida y poseen unos valores de carga muy bajos, haciendo que sea muy difícil obtener datos significativos para un correcto estudio de las propiedades mecánicas de las probetas a tracción. Cabe destacar que el intervalo de deformación para ajustar las curvas a través del método de regresión lineal, fue diferente para cada tipo de probeta.

Es por ello por lo que, tras analizar los resultados, se escogerán las que mejores propiedades tengan para conformar los platos.

7.1.1. 6H-3V, 6H-1V-1R y 6H-3R

En primer lugar, se ensayaron a tracción 3 tipos de probetas:

- 6H-3V
- 6H-1V-1R
- 6H-3R

Se conformaron 2 probetas de cada tipo.

A continuación, la figura 71 muestra las curvas obtenidas para las probetas fabricadas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal, junto con la tabla 18 que recoge los valores de los diferentes parámetros calculados:

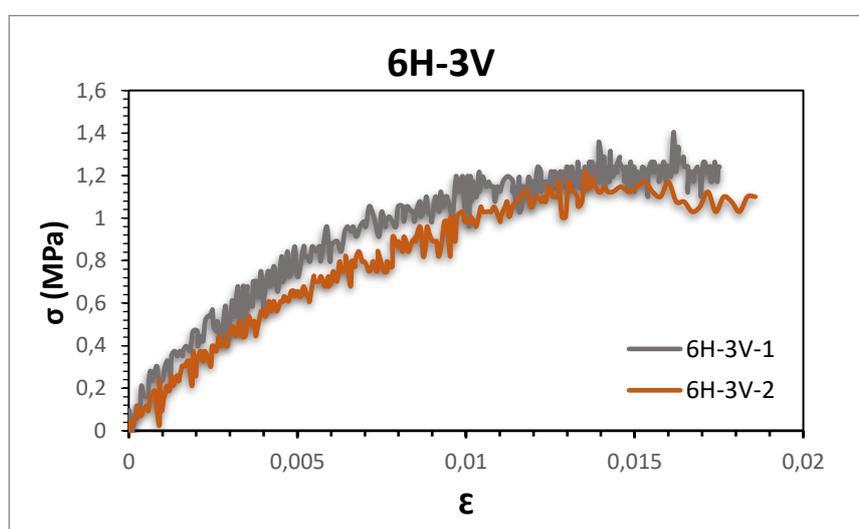


Figura 71. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal.

Como se puede observar, las gráficas tienen una forma similar a la curva característica de tracción (figura 64). Primero, presentan una parte lineal hasta llegar al límite elástico, con valores de **1,20 MPa (6H-3V-1)** y **1,14 MPa (6H-3V-2)**. Posteriormente, las curvas se introducen en la región plástica perdiendo la forma lineal que tenían inicialmente, sufriendo deformaciones permanentes, hasta producirse la fractura en valores de deformación cercanos a 2%.

Tabla 18. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel vegetal.

Resultados				
Cálculo	6H-3V-1	6H-3V-2	Media	Desv. Típica
RT (MPa)	1,40	1,22	1,31	0,13
E _t (MPa)	107,22	95,32	101,27	8,42
σ _y (MPa)	1,20	1,14	1,17	0,04
ε máx. (%)	1,75	1,86	1,81	0,59

Ambas curvas contienen propiedades similares. No aguantan valores de carga elevados y por tanto, presentan una resistencia media a tracción muy baja de **1,31 MPa**. En cuanto al Módulo de Young, tras ajustar las gráficas por el método de regresión lineal (ver Anexo III), observamos un valor medio de **101,27 MPa** y, con respecto a la elongación, un valor medio de **1,81 %**.

Seguidamente, en la figura 72 se adjuntan las gráficas correspondientes a las probetas conformadas con 6 capas de hoja de platanera, 1 de papel vegetal y 1 de papel reciclado. Además, en la tabla 19 se recogen los valores de los diferentes parámetros obtenidos:

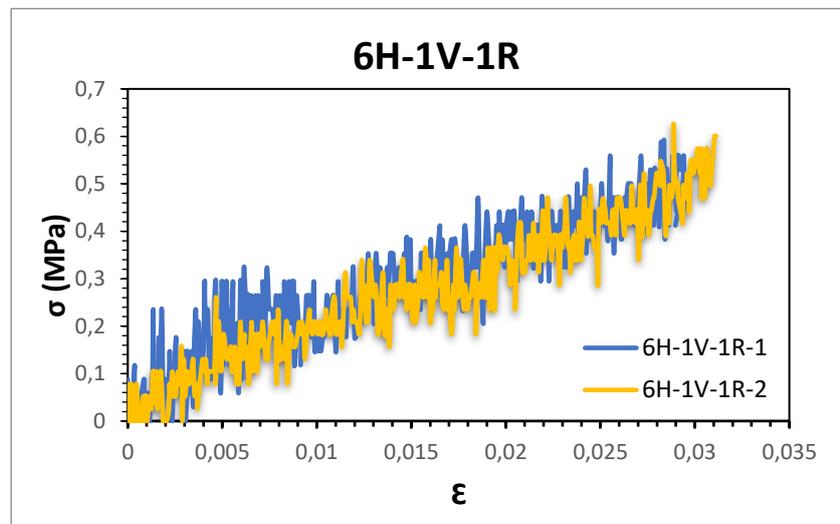


Figura 72. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera, 1 de papel vegetal y 1 de papel reciclado.

Como podemos ver, estas gráficas no poseen la forma característica de las curvas de tracción, puesto que, estas se mantienen casi lineales durante todo el ensayo hasta la fractura, haciendo que sea imposible calcular el límite elástico a través del método nombrado en el apartado 6.5.2 (recta paralela a la zona elástica desplazada un 0,2% del origen de la deformación).

Tabla 19. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera, 1 capa de papel vegetal y una capa de papel reciclado.

Resultados				
Cálculo	6H-1V-1R-1	6H-1V-1R-2	Media	Desv. Típica
RT (MPa)	0,59	0,63	0,61	0,03
E _t (MPa)	13,05	13,67	13,36	0,44
σ _y (MPa)	-	-	-	-
ε máx. (%)	2,94	3,11	3,03	0,12

Las dos curvas presentan características muy parecidas en cuanto a su forma y resultados. Estas poseen valores de carga inferiores a **1 MPa**, con un valor de resistencia media a tracción de **0,61 MPa**. A su vez, tras ajustar cada una de las gráficas, obtenemos un valor medio del Módulo de Young muy bajo de **13,36 MPa**. Por último, presentan una elongación media del **3,03%**.

Como última tanda de probetas ensayadas en este apartado, se adjuntan las curvas de las fabricadas con hojas de platanera y papel reciclado, además en la tabla 20, se recogen los diferentes parámetros calculados:

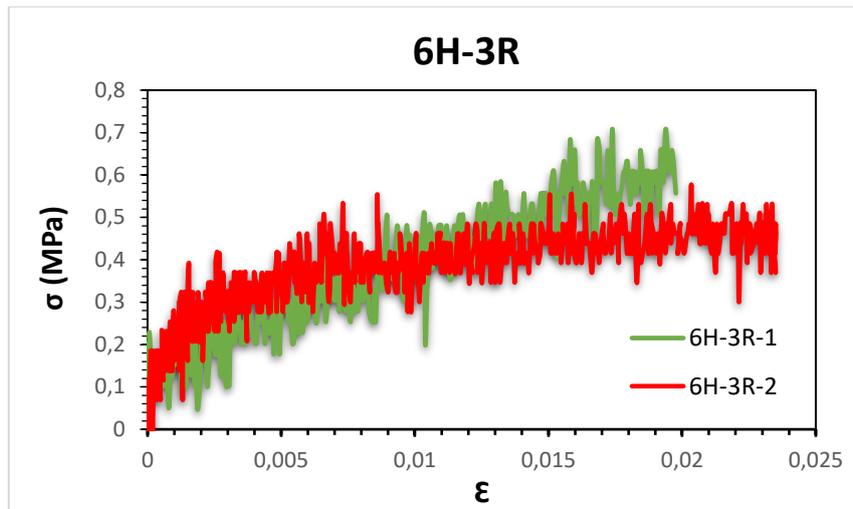


Figura 73. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel reciclado.

Podemos observar cómo en la figura 73 se aprecian curvas totalmente diferentes en forma y en resultados. Por un lado, la probeta 6H-3R-1, tiene una forma rectilínea de principio a fin hasta llegar a la fractura, sin poder calcular el límite elástico. Por otro lado, la probeta 6H-3R-2, posee una curva más parecida a la característica de tracción, sin embargo, hay tanta fluctuación en los datos que el valor del límite elástico es insignificante. Posteriormente, se introduce en la región plástica sufriendo deformaciones permanentes hasta que finalmente, se produce la fractura.

Tabla 20. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel reciclado.

Resultados				
Cálculo	6H-3R-1	6H-3R-2	Media	Desv. Típica
RT (MPa)	0,79	0,58	0,69	0,15
E _t (MPa)	28,29	26,56	27,43	1,22
σ _y (MPa)	-	-	-	-
ε máx. (%)	2,45	2,35	2,40	0,07

Ambas poseen valores de resistencia a tracción muy dispares con un valor medio de **0,69 MPa**. El Módulo de Young medio tras ajustarlas es de **27,43 MPa** y por último, la elongación media es del **2,40%**.

A continuación, se procederá a comparar cada tanda de probetas. Se añadirá una tabla con todos los valores promedio recogidos en cada una de las tablas anteriores, con la finalidad de conocer qué tipo de probeta tiene las mejores propiedades mecánicas:

Tabla 21. Resultados medios de los ensayos a tracción realizados el 10 de febrero de 2021.

Resultados			
Cálculo	6H-3V	6H-1V-1R	6H-3R
RT (MPa)	1,31	0,61	0,69
E _t (MPa)	101,27	13,26	26,28
σ _y (MPa)	1,17	-	-
ε máx. (%)	1,81	3,03	2,40

Realizando un análisis de los resultados, podemos confirmar que los parámetros obtenidos son muy poco significativos para realizar un correcto estudio a tracción. Sin embargo, entre los valores tan bajos que se recogen en la tabla 21, podemos decir que las probetas con mejores prestaciones son las fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal. Estas son las que contienen mejor resistencia a tracción **1,31 MPa**, mejor Módulo de Young **101,27 MPa** y en ambas se pudo calcular el límite elástico bajo el método mencionado.

Por otra parte, tenemos las probetas conformadas por hojas de platanera y papel reciclado, en las cuales podemos observar cómo los valores se reducen un **74,00%** para el Módulo de Young y un **45,00%** para la resistencia a tracción, en comparación a las de 6H-3V. No obstante, se puede observar como una de ellas tiene forma similar a la curva característica de tracción.

Por último, las probetas fabricadas con hoja de platanera, papel vegetal y papel reciclado, adquieren las peores propiedades mecánicas, reduciendo aún más sus valores en comparación a las de 6H-3V, destacando el Módulo de Young (**13,26 MPa**) como la propiedad que más se reduce con un **87,00%**. A su vez, poseen curvas totalmente diferentes a las demás sin ni siquiera tener una ligera aproximación a la característica de tracción.

Sin embargo, al solo haber fabricado dos probetas de cada tipo, no se puede sacar ninguna conclusión de cuál va a ser la disposición que se utilizará para finalmente fabricar los "Ecoplatos", pero si ha servido para descartar un tipo de probeta, la 6H-1V-1R, debido a lo que hemos mencionado anteriormente.

7.1.2. 6H-3V y 6H-3R

Por ende y como indica la norma, se deben de fabricar mínimo 5 probetas para realizar un estudio preciso, en nuestro caso, se volvieron a conformar 6 probetas de 6H-3V y 6 probetas de 6H-3R para analizar sus propiedades. Cada tipo contiene 6 probetas a ensayar.

- **6H-3V**
- **6H-3R**

A continuación, en la figura 74, se mostrarán los resultados de los ensayos a tracción de las probetas fabricadas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal:

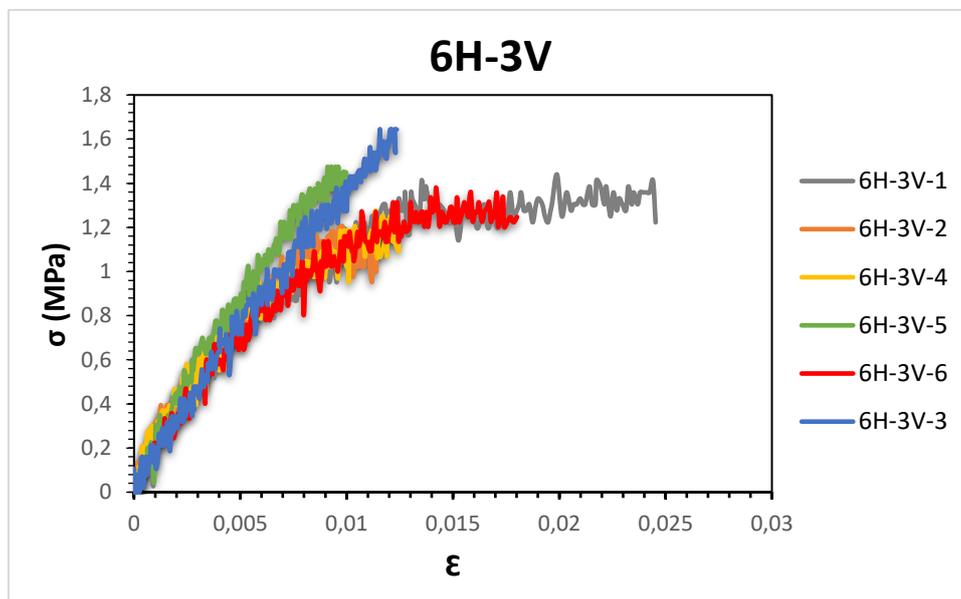


Figura 74. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal.

Tras la realización de los ensayos a tracción correspondientes, se puede observar que, al igual que las curvas de las dos probetas que se analizaron precedentemente con la misma disposición de capas, estas siguen manteniendo una curva semejante a la característica de la de tracción, exceptuando las probetas 6H-3V-3 y la 6H-3V-5, que tienen una forma más rectilínea durante todo el ensayo hasta la rotura, haciendo que no se pueda calcular el límite elástico por el método nombrado.

Las otras 4 curvas, primero presentan una forma recta en la zona elástica, hasta llegar al límite elástico. En dos de ellas, 6H-3V-2 y 6H-3V-4, el valor de límite elástico, **1,091 MPa** y **1,18 MPa** respectivamente, corresponde con el esfuerzo en el punto de rotura. Seguidamente, pasan de la zona elástica a la plástica y se fracturan. En cambio, las otras dos, 6H-3V-1 y 6H-3V-6, presentan un valor de límite elástico de **1,33 MPa** y **1,27 MPa** respectivamente. A continuación, se introducen en la región plástica perdiendo la forma lineal que tenían, sufriendo deformaciones permanentes, hasta producirse la fractura.

Tabla 22. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel vegetal.

Resultados								
Cálculo	6H-3V-1	6H-3V-2	6H-3V-3	6H-3V-4	6H-3V-5	6H-3V-6	Media	Desv. típica
RT (MPa)	1,44	1,21	1,64	1,28	1,48	1,38	1,40	0,15
E_t (MPa)	110,65	115,46	138,20	113,24	139,65	112,09	121,55	13,56
σ_y (MPa)	1,33	1,09	-	1,18	-	1,27	1,22	0,10
ϵ máx.	2,45	1,15	1,00	1,25	1,00	1,80	1,48	0,55

Para esta disposición de capas, el valor medio del Módulo de Young se encuentra en **121,55 MPa**, no obstante, tenemos dos valores ligeramente desplazados del promedio, **138,20 MPa y 139,65 MPa**, correspondientes a las probetas que tenían el aspecto lineal. La resistencia media a tracción es de **1,40 MPa** y la elongación media es de **1,48%**, sin embargo, en la tabla 22 hay dos valores de elongación que están por encima de la media y que corresponden con las probetas que poseen un mayor porcentaje de parte plástica.

En la figura 75, podemos apreciar las curvas de las probetas conformadas con hojas de platanera y papel reciclado:

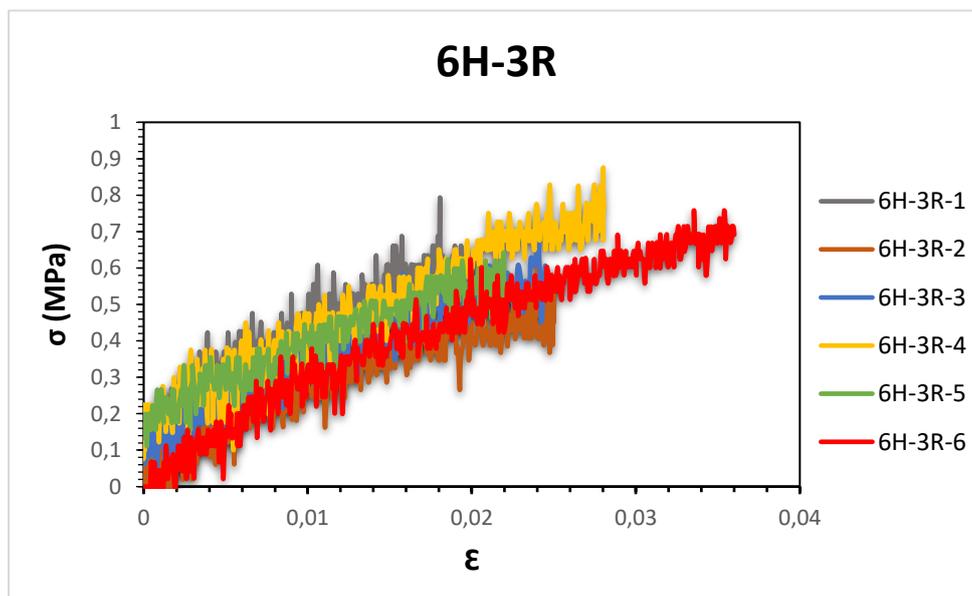


Figura 75. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel reciclado.

En el primer estudio que se realizó, donde se ensayaron dos probetas de este tipo, observamos dos curvas totalmente diferentes en cuanto a forma se refiere. En estas, se puede observar cómo todas mantienen una forma rectilínea de principio a fin; sin embargo, si las estudiamos de manera más específica (ver Anexo III), las probetas 6H-3R-1, 6H-3R-2 y 6H-3R-6, poseen una estructura más aproximada a la curva característica de tracción.

Para las otras tres probetas, se cometieron fallos graves en el ensayo, debido a que no se estableció la carga en cero en la máquina, haciendo que las gráficas comenzaran desplazadas del origen. Esto pudo causar la forma lineal que tienen, ya que, si el ensayo se hubiese realizado de manera correcta, estas tendrían muy posiblemente la misma apariencia que las tres primeras.

Tabla 23. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 6 capas de hoja de platanera y 3 capas de papel reciclado.

Resultados								
Cálculo	6H-3R-1	6H-3R-2	6H-3R-3	6H-3R-4	6H-3R-5	6H-3R-6	Media	Desv. típica
RT (MPa)	0,79	0,61	0,67	0,89	0,64	0,76	0,73	0,10
E _t (MPa)	21,76	20,89	22,52	20,76	18,95	23,96	21,47	1,71
σ _y (MPa)	-	0,48	-		-	0,60	0,54	0,28
ε máx.	1,98	2,50	2,45	2,80	2,20	3,60	2,59	0,57

Para estas probetas, vemos un valor medio del Módulo de Young de **21,47 MPa**. A su vez, la resistencia media a tracción es de **0,73 MPa**, y por último, la elongación media tiene un valor de **2,59%**, siendo la probeta 6H-3R-6, con diferencia, la que mayor porcentaje de parte plástica contiene.

Tabla 24. Resultados medios de los ensayos a tracción realizados el 22 de febrero de 2021.

Resultados		
Cálculo	6H-3V	6H-3R
RT (MPa)	1,40	0,73
E _t (MPa)	121,55	21,47
σ _y (MPa)	1,22	0,54
ε máx. (%)	1,48	2,59

Tras haber realizado un estudio más específico fabricando 6 probetas de cada tipo, las conformadas con hojas de platanera y papel vegetal vuelven a tener las mejores propiedades mecánicas. Como podemos observar en la tabla 24, estas poseen mayor resistencia a la tracción, Módulo de Young y adicionalmente, se puede calcular el límite elástico en 4 de los 6 ensayos a través del método nombrado. Por el contrario, la deformación máxima tiene un valor inferior a las fabricadas con papel reciclado.

Además, como vemos en la figura 76, la serie 6H-3R presentan roturas de todas las capas en 4 de las 6 probetas, mientras que las de la serie 6H-3V (figura 77), solo contienen fisuras en la capas más exteriores. En el Anexo II, podemos observar de manera más específica el estado de las probetas.

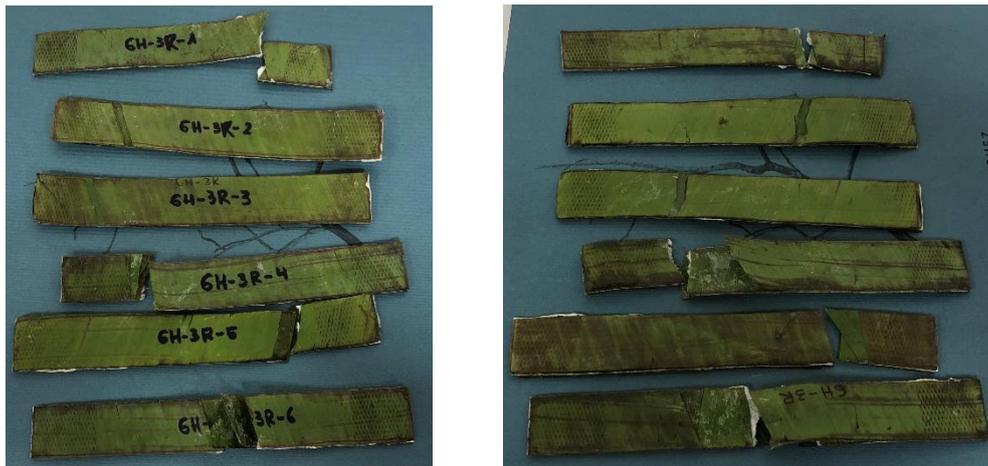


Figura 76. Vista frontal y posterior de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel reciclado tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia)

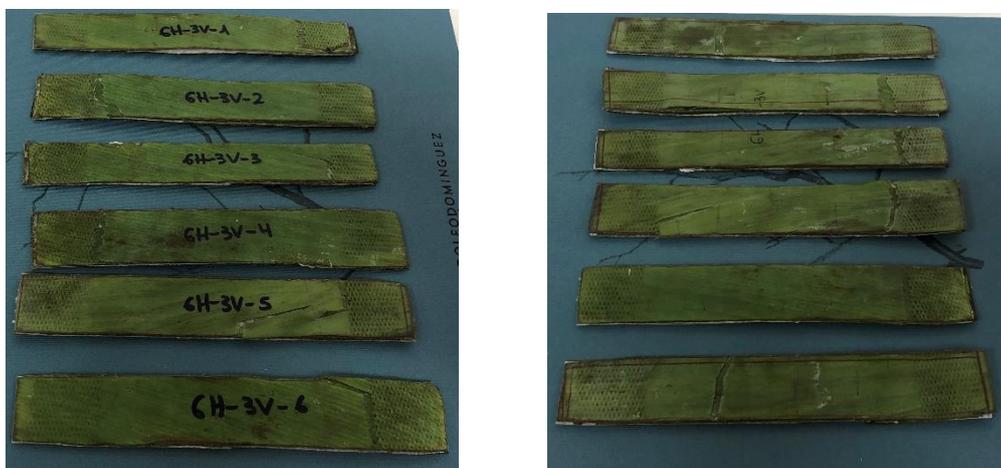


Figura 77. Vista frontal y posterior de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia)

Se puede decir que, tanto las fisuras como las roturas, se producen en forma de ángulo desde las capas más exteriores hacia las interiores al aplicar la fuerza uniaxial característica del ensayo a tracción, la cual va estirando y rompiendo las capas una a una.

Estos resultados se ven claramente influenciados por el tipo de papel ecológico utilizado. Como hemos comentado al inicio del apartado 6.3, el papel reciclado de la tiene un peso y tamaño iniciales por hoja de **1,13 gramos** y **11x16 cm** respectivamente. Por otro lado, el papel vegetal posee un peso inferior por hoja de **0,8 gramos** y un tamaño superior de **21x29,7 cm**.

Estas características apuntan en un primer momento a decir que el papel reciclado debería de haber aguantado más, debido a su grosor y peso, sin embargo, al ser más rugoso y poroso al tacto (características parecidas al papel de mano) que el vegetal, al conformar las probetas, el reciclado absorbe el agua del almidón haciendo que las diferentes capas no compacten de manera correcta. En cambio, el vegetal, es más fino pero más impermeable (características parecidas a un folio), esta característica hace que el papel vegetal no absorba el agua del almidón, pareciendo en un principio que no se adhiriesen las capas, pero en realidad, cuando se secaban, adquirirían una consistencia mucho mejor que el reciclado. Cabe

destacar que, las hojas de platanera, presentaban con gran diferencia, la mejor adhesión entre sí.

A continuación, se procederá a realizar una comparación entre los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Fin de Grado con los resultados obtenidos en el Trabajo de Fin de Grado de Carmen Corbella Pardo [51]. En su informe se realizaron ensayos para diferentes materiales compuestos fabricados con residuos vegetales de la platanera, en nuestro caso nos centraremos en los recogidos para los ensayos a tracción de probetas de hoja de platanera y se compararán con los de hoja de platanera y papel vegetal (mejores propiedades mecánicas).

Tabla 25. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 5 y 6 capas de hoja de platanera por Carmen [51] y 6H-3V.

Resultados								
Cálculo	5H	5H	5H	5H	6H	6H	Media	Media 6H-3V
RT (MPa)	10,42	8,65	6,38	7,20	16,64	8,71	9,67	1,40
E _t (MPa)	7,64	6,05	6,49	3,90	12,55	16,94	8,91	121,55
ε máx.	1,57	1,50	1,07	1,75	1,46	0,50	1,31	1,48

Estos resultados, no se pueden comparar con exactitud, ya que, las probetas ensayadas en el Trabajo de Fin de Grado de Carmen Corbella Pardo [51], fueron conformadas solamente con hojas de platanera y además, no todas contenían las mismas capas. No obstante, se puede decir que la resistencia media a tracción **9,67 MPa** [51] posee un valor muy superior al de la serie 6H-3V. Esto se debe a que en sus muestras no se utilizan capas de refuerzo intermedias sino que solo usa hojas de platanera. Como mencionamos, las hojas de platanera eran las capas que mejor se adherían y si a esto le sumamos que a mayor número de capas, el material es menos compacto, es por ello por lo que las probetas de Carmen Corbella Pardo [51], aguantan cargas superiores sin romperse.

En cuanto al Módulo de Young, el valor medio de las de 6H-3V, **121,55 MPa**, está muy por encima del valor comparado **8,91 MPa** [51]. Esto puede ser debido a que, a mayor número de capas mayor módulo, ya que, como vemos en la tabla 25, las probetas con 6 capas de hoja de platanera de Carmen Corbella Pardo [51] son las que mayor módulo tienen.

Para la elongación media tenemos valores bastante similares entre sí rompiendo a bajas deformaciones, **1,31%** en las de Carmen [48] y **1,48%** en las de 6H-3V.

7.1.3. 4H-5V

Finalmente, se conformaron otras 5 probetas con papel vegetal para comprobar si añadiendo más capas de vegetal y quitando de hoja de platanera, se conseguían unas propiedades similares o mejores a las de 6H-3V.

Cabe destacar que, debido a la necesidad de ensayar probetas con una disposición de capas totalmente diferente y que en el momento de su conformación no se pudo recolectar la

cantidad de material vegetal correspondiente para fabricar 6 probetas, solo se pudieron elaborar 5.

En el caso de 4H-5V-1, se volvió a efectuar un ensayo erróneo al no poner la carga a cero, por tanto esta curva comenzará desplazada en cierta medida del origen.

A continuación, se muestran las curvas correspondientes a las probetas fabricadas con 4 capas de hoja de platanera y 5 capas de papel vegetal:

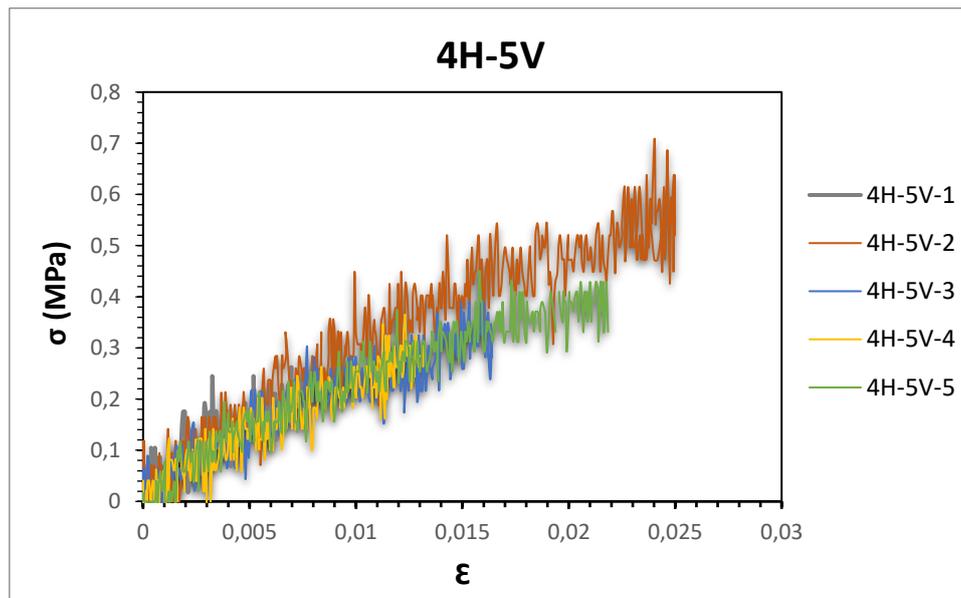


Figura 78. Curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción de probetas con 4 capas de hoja de platanera y 5 de papel reciclado.

Observando la figura 78, vemos que las curvas tienen una forma similar entre sí y son muy parecidas a las de 6H-3R o incluso a las de 6H-1V-1R. Se vuelven a contemplar valores de carga muy bajos con una resistencia media a tracción de **0,45 MPa**, siendo la más baja de todos los ensayos registrados.

Todas las gráficas se mantienen prácticamente lineales hasta llegar a la fractura, sin poder calcular el límite elástico en ningún caso y además, todas poseen un porcentaje muy bajo de parte plástica.

El Módulo de Young tiene de media **19,09 MPa** y el promedio de la elongación es de **1,74%**.

Finalmente, tras realizar este último ensayo, se confirma que las probetas con mejores prestaciones mecánicas son las conformadas por 6 capas de hoja de platanera y 3 de papel vegetal.

Tabla 26. Resultados del ensayo a tracción de probetas con 4 capas de hoja de platanera y 5 capas de papel reciclado.

Resultados							
Cálculo	4H-5V-1	4H-5V-2	4H-5V-3	4H-5V-4	4H-5V-5	Media	Desv. típica
RT (MPa)	0,26	0,71	0,41	0,36	0,51	0,45	0,17
E _t (MPa)	17,65	19,70	19,94	20,27	17,90	19,09	1,22
σ _y (MPa)	-	-	-	-	-	-	-
ε máx.	0,70	2,50	1,64	1,32	2,60	1,75	0,80



Figura 79. Vista frontal de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a tracción. (Fuente: propia)

Por último, tenemos una figura en donde podemos ver como aparentemente no hay roturas de todas las capas, pero sí fisuras en forma de ángulo e inclusive, en una de ellas se puede contemplar como la fisura llega hasta las capas intermedias de papel vegetal.

7.2. Ensayos a flexión

En los ensayos a flexión, no se obtuvo ningún dato significativo para poder realizar un estudio específico. En principio, se conformaron 13 probetas para someterlas a este ensayo, sin embargo, solo se ensayaron 5, debido a los malos resultados que se recogieron.

En esta prueba, a medida que se aplicaba la fuerza, las probetas se iban flexionando sin experimentar ninguna fisura ni rotura, haciendo que la máquina solo se detuviese si llegaba al límite de descenso del puente de carta, establecido en 20 milímetros. Esto hizo que las curvas carga-deflexión fluctuasen en gran medida (ver en el Anexo IV).



Figura 80. Vista lateral de probetas fabricadas con hoja de platanera y papel vegetal tras los ensayos a flexión. (Fuente: propia)

Dicha fuerza, lo único que causaba era un despegue de algunas de las capas interiores de las probetas. Finalmente, tras retirar la carga ejercida, estas volvían a su forma inicial, sin presentar casi deformación.

7.3. Microscopía digital

Tras la finalización del ensayo de una probeta, se utilizaba el microscopio digital Dino-Lite AM-211, para poder realizar un análisis específico de su estado y de su estructura interna. Dichas probetas podían contener roturas, fisuras, desplazamiento de capas o posibles despegues.



Figura 81. Microscopio digital Dino-Lite AM-211. (Fuente: propia)

A continuación, se adjuntarán diferentes figuras generales de cada uno de los tipos de probetas fabricadas y ensayadas en el Laboratorio de Materiales, para ver cómo se han comportado. Se comenzará por orden de ensayo y se expondrán imágenes, tanto de la superficie superior como de la inferior y también de la sección transversal.

- **Probetas de 6H-3V:**



Figura 82. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)

En la superficie superior se puede distinguir una leve fisura de las fibras de la capa más externa. Por otro lado, analizando la parte transversal, se puede contemplar como las capas de hoja de platanera están correctamente pegadas entre sí, mientras que las de vegetal han compactado bien entre ellas pero se ven algo despegadas de las de platanera. Además, se aprecian restos de adhesivo seco en los bordes. Finalmente, en la superficie inferior se contempla una fisura más grande y agresiva, la cual ha fracturado varias capas pero sin llegar a la fractura completa.

- **Probetas de 6H-1V-1R:**



Figura 83. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-1V-1R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)



Figura 84. Fotografía microscópica adicional de la zona transversal de 6H-1V-1R. (Fuente: propia)

Como podemos apreciar, la parte superior e inferior se presentan fisuras en las capas más exteriores, en donde se pueden apreciar algunas de las fibras rotas. A diferencia de las

anteriores, en la zona transversal vemos que las capas de hoja de platanera de la parte de la derecha se encuentran despegadas de las capas de papel vegetal y reciclado. Además, la fotografía adicional nos sirve para observar un exceso de adhesivo, razón por la cual las capas no se han adherido correctamente.

- **Probetas de 6H-3R:**



Figura 85. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)



Figura 86. Fotografía microscópica adicional de la zona transversal de 6H-3R. (Fuente: propia)

En la parte superior e inferior, contemplamos fisuras de diferentes tamaños. Para estas probetas, la sección transversal tiene una forma diferente a las demás, observamos como el papel reciclado tras el ensayo, se ha rodado hacia el interior de la probeta aumentando el espesor de esta y haciendo que las capas pierdan el aspecto plano que tenían. De nuevo, la fotografía adicional nos sirve para confirmar que las capas de papel reciclado se han desplazado hacia el interior, ya que, en este caso ni siquiera se ven.

- **Probetas de 6H-3V:**

Para esta serie se expondrán el doble de fotografías microscópicas debido a que se conformaron un mayor número de probetas.



Figura 87. Primera serie de fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)

En esta primera serie de figuras, vemos que la parte superior ha sufrido un desgarro en una pequeña porción de la superficie, pudiendo identificar las fibras interiores de esta y la segunda capa de la probeta. A continuación, en la zona transversal, apreciamos como todas las capas incluidas las de papel vegetal están bien compactadas entre sí, ya que, como hemos mencionado, el papel vegetal es más impermeable y se adhiere mejor. Para acabar, la parte inferior contiene una serie de grietas finas en forma de “V” junto a una fisura de mayor tamaño.

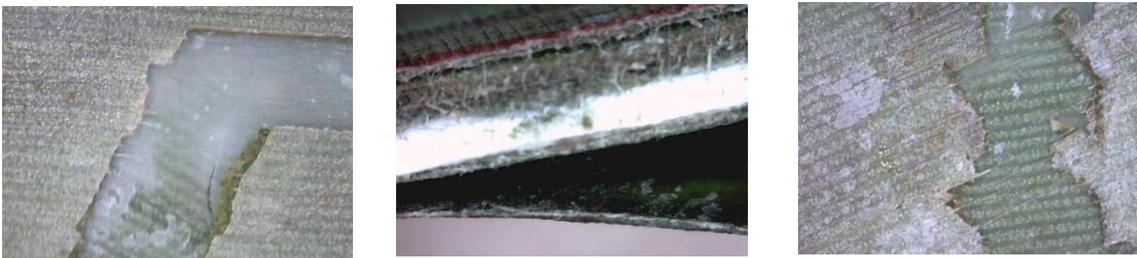


Figura 88. Segunda serie de fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)

Para esta segunda serie, tenemos figuras totalmente diferentes a las anteriores. En primer lugar, en la superficie superior vemos una fisura en la que se puede contemplar el adhesivo de base de almidón de arroz seco. En la sección transversal esta vez observamos un correcto pegado entre todas las capas de platanera y papel vegetal, sin embargo, la capa más exterior se encuentra despegada tras el ensayo. Como último punto, la parte interior presenta fisuras pudiendo apreciar las diferentes fibras rotas.

- **Probetas de 6H-3R:**



Figura 89. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 6H-3R, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)



Figura 90. Fotografía microscópica adicional de 6H-3R con rotura completa de las capas. (Fuente: propia)

En cuanto a la superficie superior, observamos la rotura de varias capas de hoja de platanera. Seguidamente, en la zona transversal contemplamos gran cantidad de adhesivo a base de almidón de arroz que no se ha secado correctamente, causando que en la parte izquierda de la probeta no se hayan pegado las capas de hoja de platanera. Finalmente, en la zona inferior apreciamos otra rotura de capas pero observando bastante cantidad de adhesivo sin secar en su superficie.

La figura adicional sirve para ver como terminan las capas tras una rotura completa de las mismas.

- **Probetas de 4H-5V:**



Figura 91. Fotografías microscópicas de la superficie superior, sección transversal y superficie inferior de 4H-5V, tras los ensayos a tracción. (Fuente propia)



Figura 92. Fotografía microscópica adicional de 4H-5V con rotura parcial de las capas. (Fuente: propia)

Como última tanda de probetas ensayadas, estas contienen un aspecto diferente en cada una de las superficies. Por un lado, en la parte superior aparecen fisuras con restos de fibras sin romper. Por otro lado, la sección transversal parece compacta en todas sus capas apreciándose con claridad las capas de papel vegetal. Además, tanto en la parte inferior como en la figura adicional, se muestran imágenes correspondientes a una probeta que fracturo de manera parcial, es decir, solo rompieron las dos primeras capas de hoja de platanera.

8. CONFORMADO DE LOS PLATOS

En primer lugar, se procederá a identificar cada uno de los platos fabricados en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna.

De manera general, cada vez que se realizaron platos, se mantuvieron las mismas instrucciones explicadas en el apartado 6.2 del presente Trabajo de Fin de Grado, ya que, las hojas de platanera tenían que recibir el mismo tratamiento, respetando siempre las diferentes condiciones recogidas en el Código Alimentario Español [1].

Cabe destacar que los moldes utilizados para cada uno de los platos también recibieron un tratamiento de limpieza y desinfección; aplicando, en primer lugar, un lavado con agua para posteriormente, sumergirlos en una disolución de lejía. Finalmente, se volvieron a aclarar y se dejaron secar, del mismo modo que se hizo con las hojas de platanera.

Todos los platos se fabricaron con hoja de platanera y papel vegetal, ya que, como se comentó anteriormente en el apartado de Resultados y Discusión, las probetas que presentaban mejores propiedades mecánicas fueron las conformadas con esta disposición.

Por último, a diferencia de las probetas, cuando hablemos de las capas que contiene un plato, nos vamos a referir a diferentes fragmentos de hoja de platanera recortados y pegados entre sí.

8.1. Identificación de los platos

Para diferenciar cada uno de los platos fabricados a partir de los residuos vegetales originados por la platanera, se utilizó una nomenclatura similar a las muestras, compuesta por números y letras, clasificados según el tipo de molde, papel ecológico y fecha de fabricación.

Tabla 27. Total de platos fabricados en el laboratorio.

Platos fabricados en el laboratorio					
Identificación	Material	Papel ecológico	Nº de capas (material)	Nº de capas (papel)	Día de fabricación
P1-C1	Hoja de platanera	Vegetal	4	2	11-03-2021
P2-3D1	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	14-04-2021
P3-3D2	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	15-04-2021
P4-3D1	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	21-04-2021
P5-3D1	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	30-04-2021
P6-C2	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	30-05-2021
P7-C1	Hoja de platanera	Vegetal	2	1	03-05-2021

Se utilizaron cuatro tipos de moldes: uno fabricado con la impresora 3D por el Área de Ingeniería Mecánica, otro con la impresora 3D del Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y los otros dos, estaban compuestos por dos platos de cerámica, uno como base y el otro como tapa. Los 4 moldes poseían diferentes dimensiones aportando así, variaciones en los tamaños de los “Ecoplatos”.

Nomenclatura utilizada para los moldes:

- **C1: Molde con platos de cerámica de mayor tamaño.**
- **C2: Molde con platos de cerámica de menor tamaño.**
- **3D1: Molde de mayor tamaño fabricado con la impresora 3D por el Área de Ingeniería Mecánica.**
- **3D2: Molde de menor tamaño fabricado con la impresora 3D por el Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.**

Tabla 28. Dimensiones correspondientes a los diferentes moldes.

Dimensiones de los moldes				
Identificación	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (cm)	Altura (cm)	Profundidad interior (cm)
C1	145,00	205,00	40,00	30,00
C2	155,00	185,00	22,00	7,50
3D1	195,00	242,00	45,00	25,00
3D2	116,00	136,00	17,50	10,00



Figura 93. Moldes de mayor y menor tamaño respectivamente, fabricados con la impresora 3D. (Fuente propia)



Figura 94. Moldes de cerámica de mayor y menor tamaño respectivamente. (Fuente propia)

8.2. Fabricación específica de cada uno de los platos

Para la fabricación de los platos desechables, más concretamente de los “Ecoplato”, fueron necesarios diferentes parámetros que varían en el molde utilizado para cada plato, el número de capas, la cantidad de adhesivo, la manera de conservar los platos, ...

Es por ello, que en este apartado vamos a explicar de manera específica como fueron conformados cada uno de ellos.

8.2.1. Conformado P1-C1

Para el conformado de este plato, se utilizaron cuatro capas de hoja platanera y dos de papel vegetal.

En primer lugar, se procedió a pegar con adhesivo de base de almidón de arroz dos capas formadas por fragmentos de hoja de platanera. Seguidamente, encima de esas capas, se añaden las dos correspondientes de papel vegetal, tal y como vemos en la figura 95.

Por último, se dispusieron dos capas más de hoja de platanera para terminar de formar el “Ecoplato”. En este caso los moldes que se usaron fueron dos platos de cerámica, uno haciendo de base y otro de tapa con cierto peso encima, con el fin de ejercer presión y adquirir así, la forma de plato deseada.



Figura 95. Pegado de capas del P1-C1-
(Fuente: propia)



Figura 96. P1-C1 dentro de los moldes con peso encima. (Fuente: propia)

Tabla 29. Dimensiones correspondientes al P1-C1.

Dimensiones del plato			
Identificación	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Altura (mm)
P1-C1	142,10	175,30	29,70

Después de todo este proceso, el conjunto se introdujo en la estufa durante un periodo de 3 horas a una temperatura constante de 50 °C para minimizar el periodo de secado,

que concluye al sacarlo de estufa y dejarlo secar a temperatura ambiente en el laboratorio durante 3 días.



Figura 97. P1-C1 en la estufa. (Fuente: propia)

8.2.2. Conformado P2-3D1 y P3-3D2

Para la fabricación de estos platos, se utilizó un número diferente de capas con respecto al plato anterior, utilizando dos capas de hoja platanera y una capa intermedia de papel vegetal. El conformado se realizó de la siguiente manera:

Por un lado, el P2-3D1, se fabricó mediante capas recortadas y pegadas entre sí de forma aleatoria, con hoja de platanera de diferentes tamaños junto con una capa intermedia de papel vegetal. Por otro lado, el P2-3D2, al utilizar un molde más pequeño, se conformó a partir de recortes en semicírculos de hojas de platanera junto con una capa medianera de papel vegetal, recortada también de la misma forma.

Para estos platos, los moldes que se usaron fueron totalmente diferentes a los del primer plato. Se emplearon los dos moldes fabricados con la impresora 3D de PLA y un relleno del 20%. Además, poseen cuatro tornillos para ensamblar la base con la tapa del molde y ejercer la presión suficiente para que los platos mantengan la forma.



Figura 98. P2-3D1. (Fuente: propia)



Figura 99. P3-3D2. (Fuente: propia)

Tabla 30. Dimensiones correspondientes al P2-3D1 y P3-3D2.

Dimensiones del plato			
Identificación	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Altura (mm)
P2-3D1	192,30	233,10	27,50
P3-3D2	112,40	128,70	11,20

Después de todo este proceso, el P2-3D1 se introdujo en la estufa durante un periodo de 5 horas a una temperatura constante de 60 °C y el P3-3D2 permaneció 7 horas a la misma temperatura que el primero. Luego se sacaron de la estufa y se dejaron secando a temperatura ambiente en el laboratorio durante 3 días.

8.2.3. Conformado P4-3D1

Para el conformado de este plato, se utilizó el mismo número de capas que los anteriores, es decir, dos capas de hoja platanera y una capa intermedia de papel vegetal. No obstante, la diferencia radica en la fabricación de estos. En primer lugar, se recortaron dos hojas de platanera de forma circular, una que hiciese de base y otra de tapa. A su vez, fueron recortadas hojas de tamaño y forma irregular, y se pegaron alrededor de la base, cubriendo por completo el molde como vemos en la figura 100.



Figura 100. Conformado del P4-3D1. (Fuente: propia)

En última instancia, fue añadida una capa de papel vegetal circular seguida de la tapa de hoja de platanera, recortada con anterioridad.



Figura 101. P4-3D1. (Fuente: propia)

Tabla 31. Dimensiones correspondientes al P4-3D1.

Dimensiones del plato			
Identificación	Diámetro base (mm)	Diámetro exterior (mm)	Altura (mm)
P4-3D1	167,20	212,60	25,30

Para este plato, se volvió a utilizar el molde de mayor tamaño fabricado con la impresora 3D por el Área de Ingeniería Mecánica.

Al igual que los demás platos, este también fue introducido en la estufa a una temperatura constante de 60 °C y por un periodo de tiempo de 3 horas. Luego, se retiró de la estufa y se dejó secar a temperatura ambiente en el laboratorio durante tres días.

8.2.4. Conformado P5-3D1

En este caso, no se recortó ninguna hoja de forma circular. Se utilizó la disposición aplicada en el segundo y tercer plato, pero con un cambio, que se explicará a continuación:

Aunque también se usaron dos capas de hoja de platanera y una de papel vegetal, pero, esta vez, en cada capa fueron utilizados la mitad de los fragmentos de hojas recortadas, es decir, si en el P3-3D1 cada capa contenía 8 fragmentos, en el P5-3D1 habían 4. Dichas capas fueron pegadas entre sí aleatoriamente formando primero una base, para luego añadir la capa intermedia de papel vegetal y terminar con otra capa de hoja de platanera encima que hacía de tapa. Cabe destacar que también se utilizó el molde de mayor tamaño fabricado con la impresora 3D.



Figura 102. P5-3D1. (Fuente: propia)

Tabla 32. Dimensiones correspondientes al P5-3D1 y P6-C2.

Dimensiones del plato			
Identificación	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Altura (mm)
P5-3D1	194,10	241,20	29,50

Como en el resto de los platos, también se utilizó la estufa con el fin de minimizar el tiempo de secado. Por ello, tras su fabricación, se introdujo en la estufa a una temperatura constante de 40 °C y por un periodo de tiempo de 3 horas. Tras finalizar este periodo de tiempo, se extrajo de la estufa y se dejó secar a temperatura ambiente en el laboratorio durante 3 días.

8.2.5. Conformado P6-C2 y P7-C1

Para estos platos se procedió a diseñar una nueva estructura con la finalidad de intentar conseguir platos más compactos, resistentes y flexibles.

La estrategia surgió a partir de una idea que no tenía nada que ver con los platos, pero sí con las hojas de platanera que utilizábamos. En general, cuando se terminaba la etapa de fabricación de los materiales compuestos (apartado 6.2.4), siempre sobraban hojas que pasados unos días se echaban a perder y no se podían utilizar para conformar más probetas, y por tanto, se desechaban. La propuesta consistía, al igual que se hace con muchas otras hojas, plantas y alimentos (carne, acelgas, albahaca, etc.), en congelar las hojas sobrantes para comprobar si mantenían las propiedades iniciales y así en algún momento poder utilizarlas sin tener que recolectar de nuevo.

La congelación siempre se realizó de la misma manera:

- 1- Se congelaban las hojas sobrantes hasta el día antes de su utilización (la experiencia demuestra que aguantan aproximadamente 3 meses en el congelador).

- 2- Para que se descongelasen correctamente, se retiraban del congelador el día anterior a su utilización.

En nuestro caso, no nos sirvió para realizar más probetas ya que, tras la congelación, las hojas no se degradaban, pero si perdían rigidez y se encontraban mucho más flexibles, por lo que las probetas, si ya eran flexibles de por sí, con esas hojas lo iban a ser más y no servirían para obtener buenos resultados en los ensayos.

Sin embargo, la idea reapareció para la conformación de los platos, debido a la poca flexibilidad y la fragilidad de las hojas no congeladas, al intentar moldearlas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, los platos P6-C2 y P7-C1, se conformaron con hojas de platanera congelada y una capa de papel vegetal. El P6-C2, se fabricó a partir de recortes en semicírculos de dos capas de hojas congeladas dispuestas de forma paralela, reforzadas con una capa intermedia de papel vegetal recortada también en semicírculo y dispuestas de la misma manera, adquiriendo la forma del molde de cerámica de menor tamaño. En cambio, el P7-C1, fue fabricado de manera parecida al P6-C2, con pocos fragmentos de hoja, recortada irregularmente, por capa y una intermedia de papel vegetal, pegados con el adhesivo a base de almidón de arroz, adquiriendo la forma del molde de cerámica de mayor tamaño.



Figura 103. P6-C2. (Fuente: propia)



Figura 104. P7-C1. (Fuente: propia)

Tabla 33. Dimensiones correspondientes al P7-C1.

Dimensiones del plato			
Identificación	Diámetro base (mm)	Diámetro exterior (mm)	Altura (mm)
P6-C2	149,70	183,40	18,60
P7-C1	196,20	222,30	40,00

Ambos platos a diferencia de todos los anteriores, comenzaron con un secado a temperatura ambiente en un lugar que no diera la luz del Laboratorio de Materiales y con peso

encima para que cada plato adquiriese la forma del molde utilizado. Finalmente, tras 3 días de secado a temperatura ambiente, se introdujeron 1 hora en la estufa a una temperatura constante de 40 °C para finalizar el secado.

9. RESULTADOS Y CONSERVACIÓN DE LOS PLATOS

Después de comentar en el apartado 8.2. la fabricación específica de cada plato, en este se procederán a explicar y comentar los resultados obtenidos para cada uno de ellos tras finalizar la etapa de secado. Además, también expondremos la forma en la que se conservaron.

El primer plato que se conformó tiene que ver con el siguiente y así sucesivamente hasta llegar al último, es decir, del primer plato se obtuvieron unos resultados, tras analizar dichos resultados se intentaba fabricar el siguiente con mejores prestaciones que el anterior.

9.1. P1-C1

Tras el periodo de secado, el plato se encontraba en las siguientes condiciones:



Figura 105. P1-C1 tras la fase de secado. (Fuente: Propia)



Figura 106. P1-C1 después de recortar las partes sobrantes. (Fuente: propia)



Figura 107. Vista lateral P1-C1. (Fuente: propia)

Podemos contemplar en la figura 105 partes sobrantes que al ser recortadas, dan lugar a la figura 106 que se asemeja más a un plato tradicional.

En cuanto a la estructura del “Ecoplato”, la capa superior tiene partes que se encuentran más deterioradas que otras, debido a que la hoja de platanera se descompone con facilidad si no se trata de la forma adecuada. Además, en la vista lateral se puede apreciar la falta de adhesión de las diferentes capas de material vegetal, conformando un plato que no está completamente compacto ni con las características óptimas para ser comercializado.

Todo esto se debe a que, al ser el primer plato, se estaba probando la fabricación de este con más capas de las debidas, con el fin de conseguir más consistencia. Sin embargo, ocurrió todo lo contrario, esto hizo que fuese difícil que el plato adquiriera la forma del molde y que se pegasen correctamente las distintas capas, a pesar de que se utilizó bastante almidón para su elaboración.

Para la conservación de este plato utilizamos bolsas herméticas con granos de arroz para intentar reducir la humedad y evitar la contaminación.



Figura 108. P1-C1 en bolsa hermética con granos de arroz. (Fuente: propia)

Al cabo de siete días, comprobamos el estado del plato y nos encontramos con lo siguiente:



Figura 109. Vista frontal y lateral P1-C1 después de 7 días. (Fuente: propia)



Figura 110. Vista posterior P1-C1 después de 7 días. (Fuente: propia)

Como se puede observar, las capas exteriores están mucho más deterioradas y se ha perdido bastante la forma de plato que tenía inicialmente. También, hay capas que se están empezando a romper y en la figura 109, las están prácticamente despegadas por los laterales.



Figura 111. Vista frontal y lateral P1-C1 después de 17 días. (Fuente: propia)

Finalmente, se dejaron pasar otros diez días para ver como evolucionaba el plato. Esta vez lo vemos con moho e incluso algún hongo que no se aprecia en las figuras. Esto se debe a que el exceso de adhesivo a base de almidón, causó un aumento de humedad dentro de la bolsa hermética a pesar de tener los granos de arroz como aislantes.

9.2. P2-3D1 Y P3-3D2

Después del periodo de secado correspondiente para estos platos, se comprobó el estado de estos:

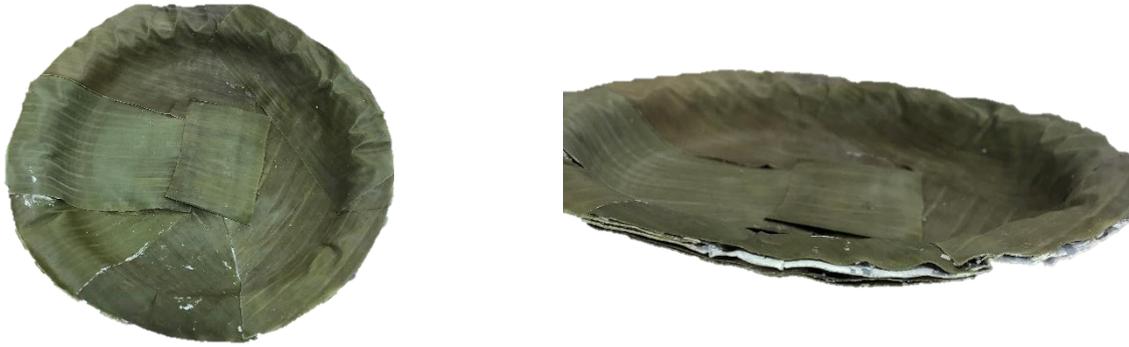


Figura 112. Vista frontal y lateral P2-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 113. Vista frontal y lateral P3-3D2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 114. Vista posterior P2-3D1 y P3-3D2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)

Tras los resultados obtenidos en el primer plato, se comenzó a utilizar menos capas, tanto de hojas de platanera como de papel vegetal, y menos cantidad de adhesivo para ver si de esta manera se obtenían platos más compactos y en mejores condiciones.

Como se ha comentado en el apartado 8.2.2, estos platos se fabricaron de forma diferente cada uno, para ver cual adquiriría mejores prestaciones. En las figuras vemos que ninguno contiene hojas de platanera deterioradas a diferencia del P1-C1, sin embargo, el P3-3D2, sí que poseía capas muy despegadas tras la etapa de secado, ya que, se mantuvo en la

estufa por un tiempo de 7 horas. Lo que se quería conseguir con periodos de secados más largos, era tener un mejor resultado en el secado pero lo que se consiguió finalmente con este plato fue un resecado del adhesivo, haciendo que las capas se despegasen antes de la etapa de conservación, quedando este inservible, teniéndolo que desechar.

En el caso del P2-3D1, el tiempo de secado también fue largo (5 horas), en cambio, este plato no presentaba despegue en las partes superiores ni inferiores pero en la vista lateral (figura 112), podemos apreciar un despegue de las capas interiores, causado por la falta de adhesión de estas. Por ello, se decidió que este plato no se conservaría, ya que, aunque tuviese una forma bastante parecida a un plato tradicional, la estructura no estaba lo suficientemente compacta y las capas interiores al estar despegadas iban a causar un ensanchamiento desde dentro del plato hacia a fuera despegándolo por completo.

Finalmente, en vez de conservarlo, se dejó durante 15 días en el laboratorio a modo de estudio, para comprobar si sucedía lo previamente supuesto y como vemos en la figura 115, se pudo confirmar, la estructura no era lo suficientemente compacta.

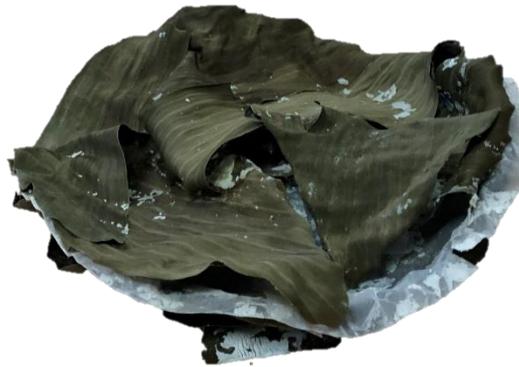


Figura 115. Estado del P2-3D1 después de 15 días. (Fuente: propia)

9.3. P4-3D1

Partiendo de los resultados desfavorables obtenidos en los apartados anteriores, se decidió cambiar de manera radical la estructura del “Ecoplato” tal y como vemos en el apartado 8.2.3. Lo que se quería intentar con esto era impedir el despegue de las partes laterales utilizando un menor número de capas superpuestas en esa zona. Por el contrario, en la parte central se utilizaron más capas para que el plato adquiriera consistencia.

En cuanto al tiempo de secado en la estufa, se volvió a reducir a 3 horas evitando un resecado del adhesivo. Al cabo de 3 días de secado a temperatura ambiente, el plato se encuentra de la siguiente manera:



Figura 116. Vista lateral del P4-3D2 tras la etapa de secado.
(Fuente: propia)

En principio, el plato sigue compacto y sin despegues laterales, sin embargo, la forma de plato tradicional que buscamos con los moldes no está totalmente conseguida. Aun así, se decide conservar en bolsas herméticas con granos de arroz en su interior durante 5 días para ver su evolución.



Figura 117. Vista lateral y frontal del P4-3D2 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia)



Figura 118. Vista posterior del P4-3D2 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia)

En estas figuras, se puede apreciar que, en ciertas zonas, el adhesivo que en un principio no se percibía mucho, se ha exaltado y extendido de manera significativa hacia los bordes exteriores del plato, haciendo que este ya no tenga el color natural que buscamos.



Figura 119. Vista frontal y lateral del P4-3D2 después de 15 días en conservación. (Fuente:

Finalmente, al igual que con el P1-C1, se dejó en conservación por 10 días más. Tras este periodo de tiempo, vemos (figura 119) como el plato ha perdido totalmente la forma e incluso muchas de las capas laterales se han despegado quedando inservible.

9.4. P5-3D1

En vista de la mala estructura utilizada para el anterior plato, se opta por volver a la estructura del P3-3D1. Teniendo en cuenta la experiencia con este plato, la estructura de las capas se redujo en cuanto a los fragmentos utilizados por capa en la fabricación del P5-3D1. Esto se hizo para que no se produjera un posible despegue por culpa del exceso de capas superpuestas.

En la figura 120, vemos que el plato se encuentra en buenas condiciones tras el secado, compacto, con buena forma y en principio, sin roturas.



Figura 120. Vista frontal y lateral del P5-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 121. Vista posterior del P5-3D1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)

En la fase de conservación, se volvió a utilizar el método de la bolsa hermética con granos de arroz en su interior durante 5 días, para evitar la contaminación y reducir la humedad, causada por el adhesivo.



Figura 122. Vista frontal y lateral del P5-3D1 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia)

En la figura 122, se puede distinguir una rotura en uno de los bordes del plato, dejándolo defectuoso. Esto posiblemente se debe a que, al conformar el plato con menos fragmentos de hojas recortadas, estas eran más frágiles y se podían romper con facilidad al aplicar la mínima carga. Es por ello, que el peso del arroz como vemos en la figura 123, pudo influir en la rotura, aplicando cierta carga sobre la pendiente interior del plato, haciendo que la hoja se fracturara.



Figura 123. P5-D1 en bolsa hermética con granos de arroz. (Fuente: propia)

Sin embargo, el plato poseía un buen aspecto en general, manteniendo la forma correcta menos en la zona afectada y con el mismo tono de colores que tenía inicialmente. Aún así fue desechado debido a que, al estar roto, no cumplía con la función de plato.

9.5. P6-C2 y P7-C1

A partir de la experiencia anterior, se diseñó una nueva estructura para los “Ecoplatos” P6-C2 y P7-C1.

Se ha comprobado que al utilizar unas hojas más flexibles (congeladas), resultaba más fácil moldearlas y pegarlas. Con estas hojas, las diferentes capas de los platos se adherían perfectamente a los moldes sin presentar roturas ni grietas. El único punto negativo que podemos notificar, es la pérdida del color verde claro que tienen las hojas después de la etapa de prensado (apartado 6.2.2.4), quedando con un color verde más oscuro tras su congelación.

Finalmente, tras la fase de secado, los platos se encuentran en las siguientes condiciones:



Figura 124. Vista frontal y lateral del P6-C2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 125. Vista posterior del P6-C2 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 126. Vista frontal y lateral del P7-C1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)



Figura 127. Vista posterior P7-C1 tras la etapa de secado. (Fuente: propia)

Como se puede apreciar de la figura 124 a 127, se encuentran en el estado deseado, con la forma de plato que se buscaba y con todas las capas completamente pegadas, sin roturas.

A continuación, se procederá a comentar el estado de los platos tras la primera etapa de conservación (5 días). Se conservaron a temperatura ambiente en el Laboratorio de Materiales, pero esta vez dentro de sus respectivos moldes con el fin de que mantuviesen la forma.



Figura 128. Vista frontal y lateral del P6-C2 después 5 días en conservación. (Fuente: propia)



Figura 129. Vista frontal y posterior del P7-C1 después de 5 días en conservación. (Fuente: propia)

Tras este periodo de conservación, se puede observar como los platos permanecen en buen estado, aunque al tacto, las hojas se han secado dándole una mayor rigidez, sin perder notablemente la forma.

Como último estudio, se volvieron a dejar en conservación durante 15 días más, pero esta vez en bolsas herméticas con arroz. Finalmente, acabaron desechados, debido a que, como observamos en la figura 130, los platos se deterioraron y perdieron la forma quedando totalmente inservibles.



Figura 130. Vista frontal del P6-C2 y P7-C1 tras 20 días en conservación. (Fuente: propia)

10. CONCLUSIONES

A continuación, se presentarán las principales conclusiones obtenidas tras el estudio realizado:

En primer lugar, tras los diferentes ensayos realizados, se comprobó que de las probetas fabricadas con hoja de platanera y diferentes papeles ecológicos (papel reciclado y vegetal), solo se pudieron interpretar los datos obtenidos de los ensayos a tracción, ya que, en los de flexión no se recogieron datos relevantes con los que trabajar, debido a la gran flexibilidad que las hojas poseen.

En segundo lugar, tras la finalización de los ensayos a tracción, se confirmó que todas las probetas presentan curvas muy fluctuantes y resultados poco significativos. Sin embargo, entre todos los resultados recogidos, las conformadas con seis capas de hoja de platanera y tres de papel vegetal fueron las que mejores propiedades mecánicas contenían. Esto se debe a que el papel vegetal presenta mayor capacidad de adhesión entre las capas del mismo material y con las hojas de platanera. Por otro lado, se ha confirmado que las prestaciones no mejoran reduciendo el número de capas de hoja de platanera y aumentando las de papel vegetal, sino todo lo contrario. De esta forma, se comprobó que para adquirir una mayor compactación y que el material compuesto sea más homogéneo, se deben usar, en cualquier caso, más capas de hoja de platanera que de papel vegetal.

En tercer lugar, se concluye con la fabricación de los “Ecoplatos” a partir de la disposición nombrada anteriormente. Durante este proceso, se estudiaron diferentes estructuras con el fin de conseguir la más apropiada para el uso óptimo de los platos. Es por ello, que para este propósito, se deduce que los platos fabricados con hojas de platanera congeladas y papel vegetal, son los que mejores prestaciones y acabados obtienen, ya que adquirirían una mayor flexibilidad y maleabilidad, haciendo que puedan tener un mejor reconocimiento en cuanto a términos de mercado se refiere. No obstante, de los dos los platos que contenían hojas congeladas, el que se conformó usando el molde de menores dimensiones, es incluso más sencillo de moldear, confirmando así, que cuanto menor sean las dimensiones del molde, mejores serán las propiedades del plato.

Finalmente, cabe destacar que todos los platos, tienen una vida media de 10 días, independientemente del método de conservación, ya que, como hemos observado, las hojas se deterioran y se despegan con facilidad, haciendo que se pierda la forma de plato buscada. De ahí que, en el caso de que se quisieran comercializar, se deberían fabricar bajo demanda.

11. CONCLUSIONS

The main conclusions obtained from this study are presented below:

In the first place, after the different tests that were carried out, it was verified that out of the test tubes manufactured with banana leaves and different ecological papers (recycled and vegetable paper), only the data obtained from the tensile tests could be interpreted, since no relevant data were collected in the flexural tests, due to the great flexibility of the leaves.

Secondly, after the end of the tensile tests, it was confirmed that all the test tubes presented very fluctuating curves and insignificant results. However, among all the results collected, those made with six layers of banana leaf and three of vegetable paper were the ones with the best mechanical properties. This is due to the fact that vegetable paper has a greater adhesion capacity between the layers of the same material and with the banana leaves. On the other hand, it has been confirmed that performance does not improve by reducing the number of banana leaf layers and increasing the number of vegetable paper layers, but rather the opposite. Thus, it was found that in order to achieve greater compaction and a more homogeneous composite material, more layers of banana leaves than of vegetable paper should be used.

Thirdly, we conclude with the fabrication of the "Ecoplatos" from the above mentioned arrangement. During this process, different structures were studied in order to obtain the most appropriate one for the optimal use of the plates. That is why, for this purpose, it is deduced that the plates made with frozen banana leaves and vegetable paper, are the ones that obtain the best performance and finished, since they acquire a greater flexibility and malleability, making them more recognized in terms of market. However, out of the two plates containing frozen leaves, the one made using the smaller mold was even easier to mold, thus confirming that the smaller the mold dimensions, the better the properties of the plate.

Finally, it should be noted that all the plates have an average life of 10 days, regardless of the method of conservation, since, as we have observed, the sheets deteriorate and peel off easily, causing the desired plate shape to be lost. Therefore, if they were to be marketed, they should be manufactured on demand.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español.*
- [2] «Tecnología de los Plásticos,» 28, Julio 2013. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/bnramX3>. [Último acceso: 27 Diciembre 2020].
- [3] «Cairplas,» [En línea]. Available: <https://cutt.ly/3nrazZz>. [Último acceso: 27 Diciembre 2020].
- [4] M.-J. Schwarz, «El problema del plástico,» Murcia, 2018.
- [5] «SMV,» Servicios medioambientales de Valencia, S.L., 11 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.smv.es/como-realizar-correcto-tratamiento-residuos-plasticos/>. [Último acceso: 28 Diciembre 2020].
- [6] «Calcuworld,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.calcuworld.com/cuantos/cuanto-tiempo-tarda-en-degradarse-el-plastico/>. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].
- [7] «Residuos profesional,» 10 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.residuosprofesional.com/14-residuos-plasticos-reciclan/>. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].
- [8] A. Vilariño, «Compromiso empresarial,» 11 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2019/03/espana-no-sabe-reciclar-envases/>. [Último acceso: 21 Diciembre 2020].
- [9] «Gobierno de Canarias,» 28 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www3.gobiernodecanarias.org/noticias/canarias-prohibira-los-plasticos-de-un-solo-uso-a-partir-del-2021/>. [Último acceso: 21 Diciembre 2020].
- [10] Asprocan, «Estadísticas de producción y comercialización de Plátano de Canarias,» Garachico, 2020.
- [11] «Ambientum,» 7 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/el-platano-mas-residuos-que-producto.asp>. [Último acceso: 22 Diciembre 2020].
- [12] «LIFE BAQUA,» 7 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.lifebaqua.eu/index.php/es/12-espanol-es/31-motivation-en>. [Último acceso: 22 Diciembre 2020].
- [13] E. Elortegui, «Grupo Blas Cabrera Felipe,» [En línea]. Available: <https://cutt.ly/2boiYoH>. [Último acceso: 22 Diciembre 2020].
- [14] H.-Y. W. Lin-Feng Li, «Plos One,» 18 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/5bP2CNO>. [Último acceso: 07 Mayo 2021].
- [15] «Ayuntamiento de Carreño,» [En línea]. Available: <https://cutt.ly/VbP2MFQ>. [Último acceso: 7 Mayo 2021].
- [16] G. R. Lupiáñez, «Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación,» [En línea]. Available: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1967_17-18.pdf. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [17] A. M. González, «Hipertextos del Área de la Biología,» 2013. [En línea]. Available: http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema2/2_4peciolo.htm. [Último acceso: 7 Mayo 2021].
- [18] G. G. P. Abril, «Repositorio UPTC,» 2019. [En línea]. Available:

- https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2768/1/TGT_1401.pdf. [Último acceso: 7 Mayo 2021].
- [19] «Academia Canaria de la Lengua,» [En línea]. Available: <https://cutt.ly/hbP26zH>. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [20] «Frutas OliVar,» 2017. [En línea]. Available: <https://frutasolivar.com/platano-de-canarias-que-lo-hace-tan-especial/>. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [21] «El Plátano de Canarias, generador de empleo,» *LA PROVINCIA*, 4 Junio 2017.
- [22] «Gobierno de Canarias,» 2012. [En línea]. Available: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/contenidosdigitales/2015/html5/ic/platano/>. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [23] M. A. Ana Aulet, «El Plátano de Canarias, caracterizado por su sabor y aspecto inconfundibles,» *Canales Sectoriales*, 05 Abril 2004.
- [24] S. Canarias, «Saboreando Canarias,» 22 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://saboreandocanarias.com/2016/07/22/el-platano-de-canarias/>. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [25] Asprocan, «Plátano de Canarias,» [En línea]. Available: <https://platanodecanarias.es/asprocan/que-es-asprocan/>. [Último acceso: 8 Mayo 2021].
- [26] Coplaca, «Coplaca,» [En línea]. Available: <http://www.coplaca.org/>. [Último acceso: 9 Mayo 2021].
- [27] «Ipac.acuicultura,» 14 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/ObpSLWr>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [28] «Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,» 20 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/bbP9psn>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [29] Á. I. Alvy, «RTVE,» 4 Mayo 2013. [En línea]. Available: <https://www.rtve.es/noticias/20130504/platanos-residuos-para-producir-biocombustible/651120.shtml>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [30] «Ambientum,» 6 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.ambientum.com/ambientum/contaminacion/desechos-plataneras-como-fuente-biocombustible.asp>. [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [31] Gullón, «Gullón,» 24 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://gullon.es/salvado-trigo-propiedades/>. [Último acceso: 18 Mayo 2021].
- [32] «EcolInventos,» 17 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/vajilla-biodegradable-salvado-de-trigo/#comments>. [Último acceso: 18 Mayo 2021].
- [33] S. Lis, «Logotomía,» Biotrem, [En línea]. Available: <https://logotomia.com.pl/en/portfolio/biotrem-2/>. [Último acceso: 18 Mayo 2021].
- [34] K. Mok, «Treehugger,» 10 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.treehugger8.net/biodegradable-plates-made-from-food-waste-foodscapes-whomadeit-michela-milani-4857519>. [Último acceso: 19 Mayo 2021].
- [35] A. Isan, «Ecologismos,» 10 Mayo 2013. [En línea]. Available: <https://ecologismos.com/vajilla-compostable-hecha-con-desechos-de-comida/>. [Último acceso: 19 Mayo 2021].
- [36] «Crean platos con residuos vegetales y que al degradarse se convierten en plantas,» *La Revista*, 2019.
- [37] «Estos son los envases desechables más ecológicos del mundo,» *GTRESONLINE*, 2019.

- [38] «Gestores de residuos,» 2 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://gestoresderesiduos.org/noticias/pajitas-vegetales-la-alternativa-al-plastico-que-llega-desde-vietnam>. [Último acceso: 22 Mayo 2021].
- [39] C. Zimmermann, «El Horticultor,» 29 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://elhorticultor.org/las-pajitas-vegetales-pueden-reducir-8-3-mil-millones-de-pajitas-de-plastico-desechadas-cada-ano/>. [Último acceso: 22 Mayo 2021].
- [40] F. D. Busto, «El Comercio,» 2 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.es/v/20140302/aviles/chubasqueros-piel-patata-20140302.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>. [Último acceso: 21 Mayo 2021].
- [41] «Traxco,» 23 Noviembre 2009. [En línea]. Available: <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/chubasquero-de-patata>. [Último acceso: 21 Mayo 2021].
- [42] Can-Men, «Chubasquero de patata biodegradable: un invento gallego para la lluvia que incorpora semillas en un Nendo Dango,» Galicia, 2010.
- [43] «AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición).,» [En línea]. Available: http://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/para_el_consumidor/ampliacion/frutas_verduras. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [44] AENOR, «Recursos TIC,» [En línea]. Available: <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena2/paginas/aenor.htm>. [Último acceso: 15 Mayo 2020].
- [45] W. D. C. Jr., *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Bogotá: Reverté S.A., 1995.
- [46] *Plásticos. Determinación de las propiedades a tracción. Parte 1: Principios generales (ISO 527-1:2019)*.
- [47] D. R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Missouri: International Thomson Editores, 1998.
- [48] R. A. R. Restrepo, «Propiedades mecánicas de los materiales,» Bogotá, 2017.
- [49] D. A. C. Bolaños, «Mecánica de Materiales,» 29 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://darcy-a01373964-mecnica.weebly.com/capitulo-4.html>. [Último acceso: 15 Mayo 2021].
- [50] *Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión. (ISO 178: 2019)*.
- [51] C. C. Pardo, «Ecoplatos. Platos desechables fabricados con residuos vegetales,» Trabajo Fin de Grado, Universidad de La Laguna, 2018.

13. ANEXOS

13.1. Anexo I. Ficha técnica y de seguridad del almidón de arroz.

La ficha de “acofarma” contiene 16 secciones, de las cuales nos vamos a centrar principalmente en aquellas que hagan referencia al medio ambiente, al uso alimenticio del almidón y al almacenamiento de este.

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS.

2.1 Clasificación de la mezcla.

El producto no está clasificado como peligroso según el Reglamento (EU) No 1272/2008.

2.2 Elementos de la etiqueta.

2.3 Otros peligros.

En condiciones de uso normal y en su forma original, el producto no tiene ningún otro efecto negativo para la salud y el medio ambiente.

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES.

3.1 Sustancias.

No Aplicable.

3.2 Mezclas.

Esta mezcla no contiene sustancias que representan un peligro para la salud o el medio ambiente de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008, tienen asignado un límite de exposición comunitario en el lugar de trabajo, ni están clasificadas como PBT/mPmB o incluidas en la Lista de Candidatos.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL.

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia.

Para control de exposición y medidas de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente.

Producto no clasificado como peligroso para el medio ambiente, evitar en la medida de lo posible cualquier vertido.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza.

La zona contaminada debe limpiarse inmediatamente con un descontaminante adecuado. Echar el descontaminante a los restos y dejarlo durante varios días hasta que no se produzca reacción, en un envase sin cerrar.

6.4 Referencia a otras secciones.

Para control de exposición y medidas de protección individual, ver sección 8.

Para la eliminación de los residuos, seguir las recomendaciones de la sección 13.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.

7.1 Precauciones para una manipulación segura.

El producto no requiere medidas especiales de manipulación, se recomiendan las siguientes medidas generales:

Para la protección personal, ver sección 8.

En la zona de aplicación debe estar prohibido fumar, comer y beber.

Cumplir con la legislación sobre seguridad e higiene en el trabajo.

No emplear nunca presión para vaciar los envases, no son recipientes resistentes a la presión. Conservar el producto en envases de un material idéntico al original.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades.

El producto no requiere medidas especiales de almacenamiento.

Como condiciones generales de almacenamiento se deben evitar fuentes de calor, radiaciones, electricidad y el contacto con alimentos.

Mantener lejos de agentes oxidantes y de materiales fuertemente ácidos o alcalinos.

Almacenar los envases entre 5 y 35 °C, en un lugar seco y bien ventilado.

Almacenar según la legislación local. Observar las indicaciones de la etiqueta.

El producto no se encuentra afectado por la Directiva 2012/18/UE (SEVESO III).

7.3 Usos específicos finales.

Materia prima para la elaboración de fórmulas magistrales, productos cosméticos o productos dietéticos en función de su categoría.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos.

No existen datos disponibles ensayados del producto.

El contacto repetido o prolongado con el producto, puede causar la eliminación de la grasa de la piel, dando lugar a una dermatitis de contacto no alérgica y a que se absorba el producto a través de la piel.

Las salpicaduras en los ojos pueden causar irritación y daños reversibles.

a) toxicidad aguda;

Datos no concluyentes para la clasificación.

b) corrosión o irritación cutáneas;

Datos no concluyentes para la clasificación.

c) lesiones oculares graves o irritación ocular;

Datos no concluyentes para la clasificación.

d) sensibilización respiratoria o cutánea;

Datos no concluyentes para la clasificación.

e) mutagenicidad en células germinales;

Datos no concluyentes para la clasificación.

f) carcinogenicidad;

Datos no concluyentes para la clasificación.

g) toxicidad para la reproducción;

Datos no concluyentes para la clasificación.

h) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única;

Datos no concluyentes para la clasificación.

i) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida;

Datos no concluyentes para la clasificación.

j) peligro por aspiración;

Datos no concluyentes para la clasificación.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA.

12.1 Toxicidad.

No se dispone de información relativa a la Ecotoxicidad de las sustancias presentes.

12.2 Persistencia y degradabilidad.

No se dispone de información relativa a la biodegradabilidad de las sustancias presentes.

No se dispone de información relativa a la degradabilidad de las sustancias presentes.

No existe información disponible sobre la persistencia y degradabilidad del producto.

12.3 Potencial de Bioacumulación.

No se dispone de información relativa a la Bioacumulación de las sustancias presentes.

12.4 Movilidad en el suelo.

No existe información disponible sobre la movilidad en el suelo.

No se debe permitir que el producto pase a las alcantarillas o a cursos de agua.

Evitar la penetración en el terreno.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB.

No existe información disponible sobre la valoración PBT y mPmB del producto.

12.6 Otros efectos adversos.

No existe información disponible sobre otros efectos adversos para el medio ambiente.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN.

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos.

No se permite su vertido en alcantarillas o cursos de agua. Los residuos y envases vacíos deben manipularse y eliminarse de acuerdo con las legislaciones local/nacional vigentes.

Seguir las disposiciones de la Directiva 2008/98/CE respecto a la gestión de residuos.

13.2. Anexo II. Fotografías específicas de las probetas tras los ensayos.

- 6H-3V-1 y 6H-3V-2:

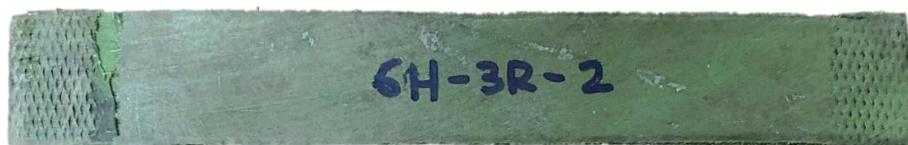


- 6H-1V-1R-1 y 6H-1V-1R-2:

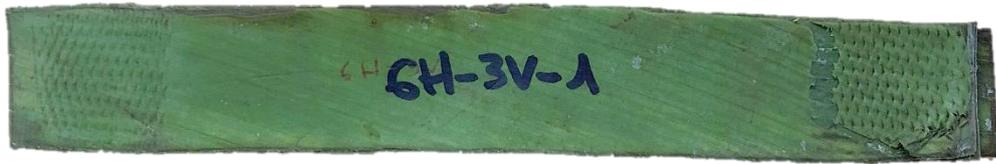




- 6H-3R-1 y 6H-3R-2:

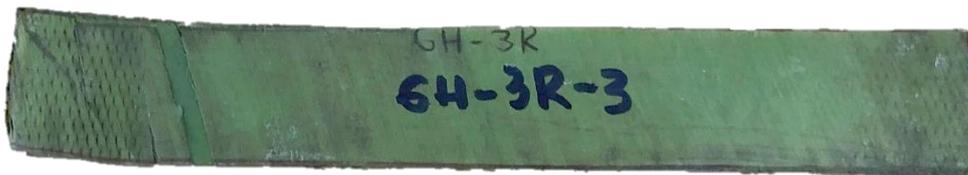


- 6H-3V-1, 6H-3V-2, 6H-3V-3, 6H-3V-4, 6H-3V-5 y 6H-3V-6:





- 6H-3R-1, 6H-3R-2, 6H-3R-3, 6H-3R-4, 6H-3R-5 y 6H-3R-6:

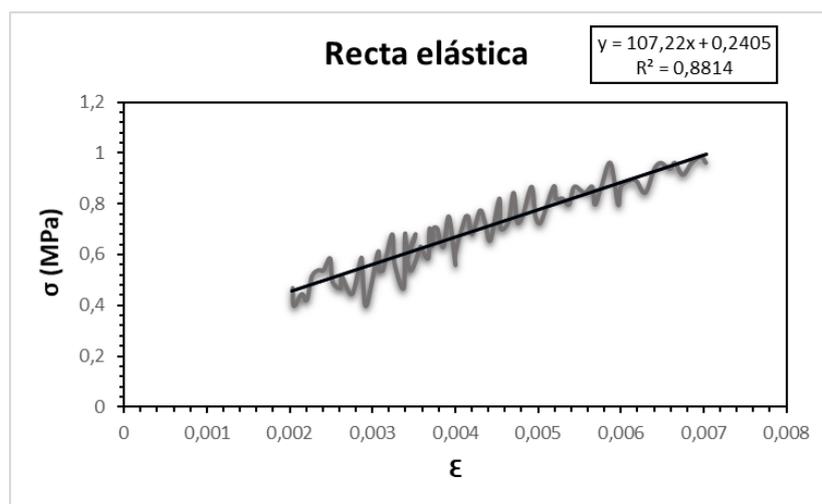
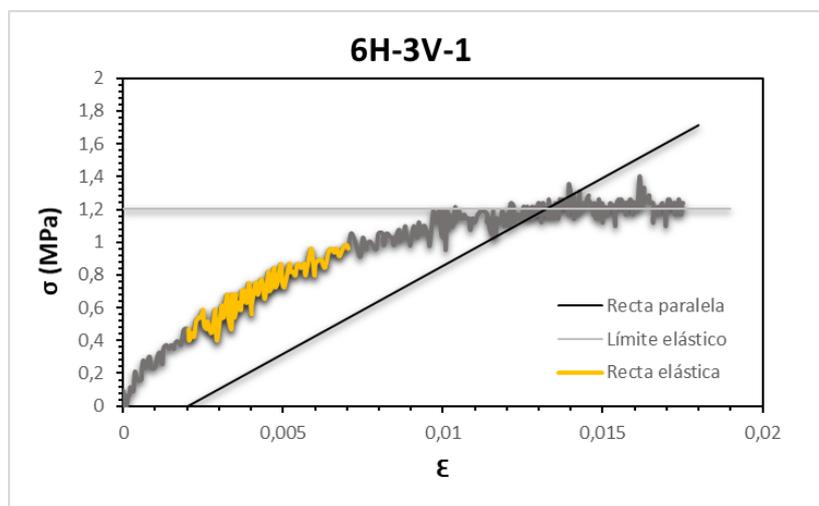




13.3. Anexo III. Resultados específicos de las probetas tras los ensayos a tracción.

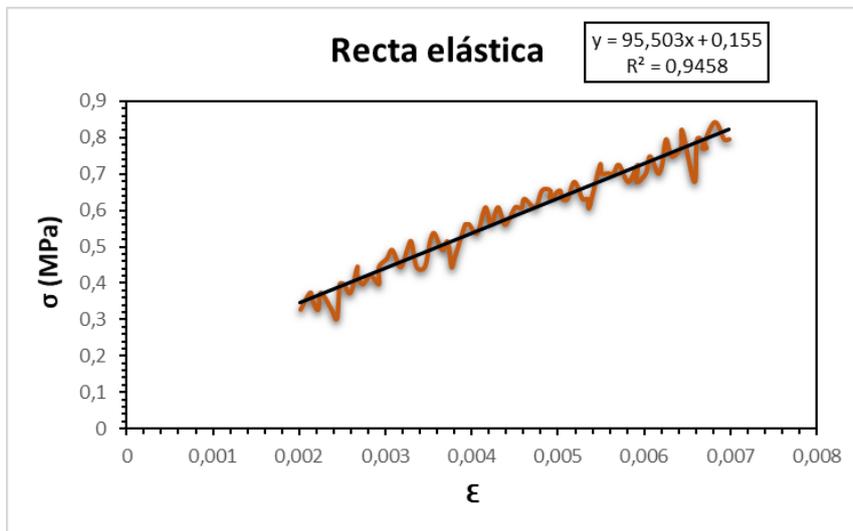
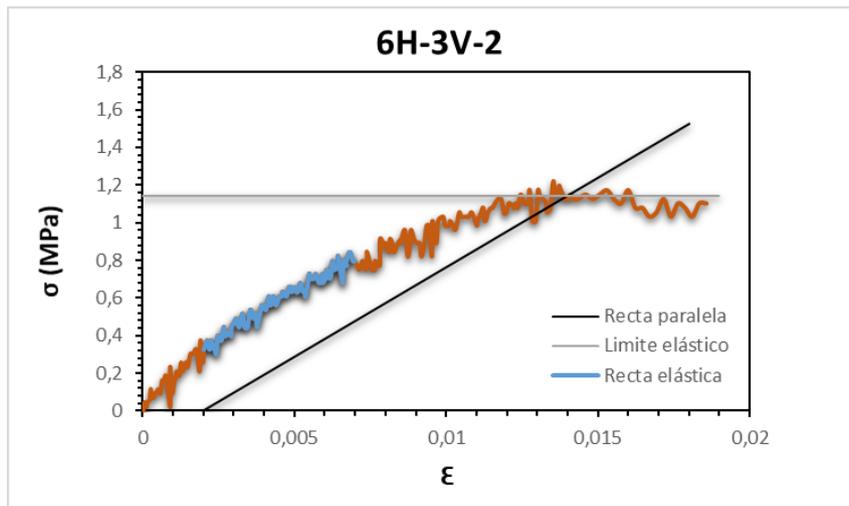
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-1	2,84	23,50	50	66,74

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,40	107,22	1,20	1,75



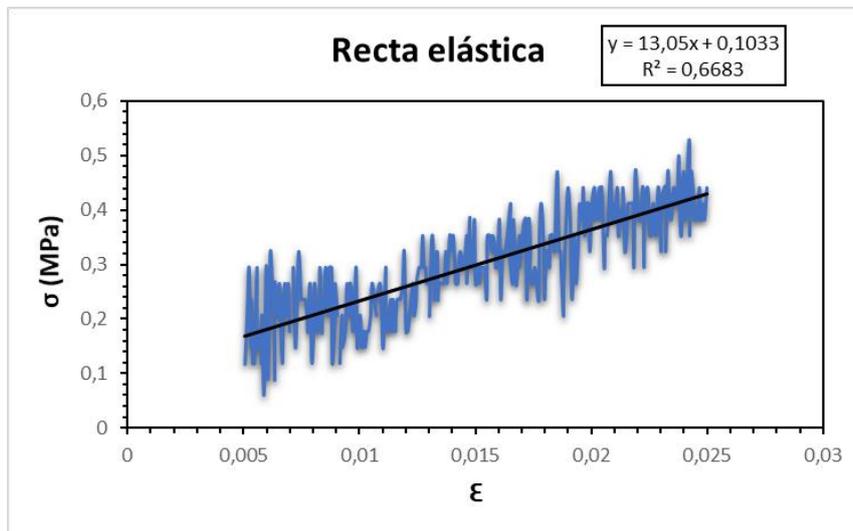
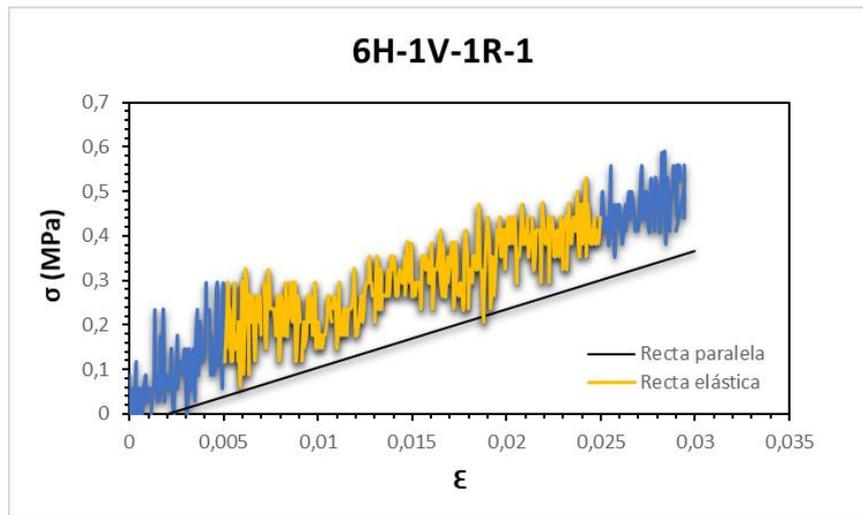
Identificación	Esesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-2	2,82	23,67	50	66,75

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,22	95,32	1,14	1,86



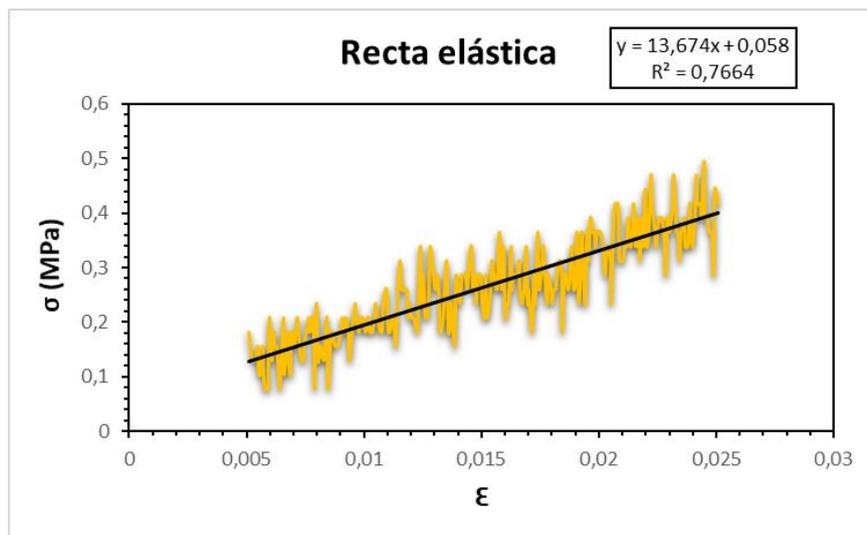
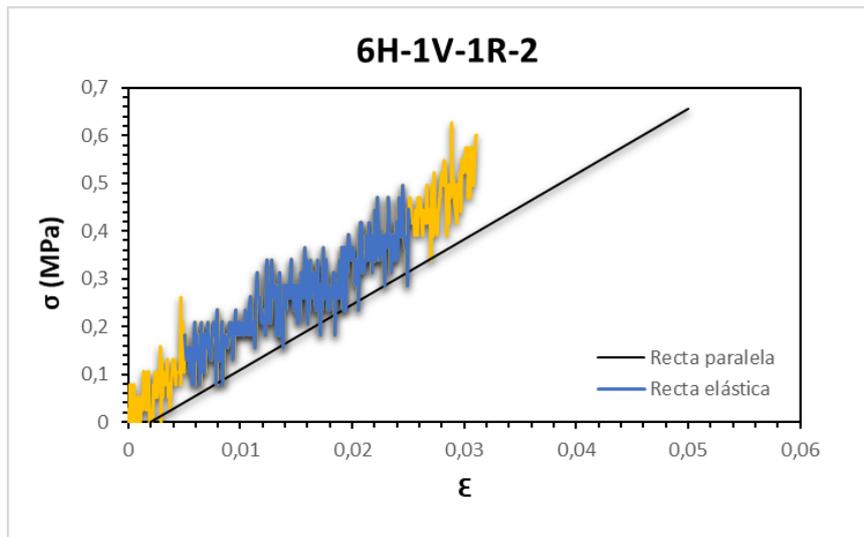
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-1V-1R-1	2,38	22,30	50	53,07

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,59	13,05	-	2,94



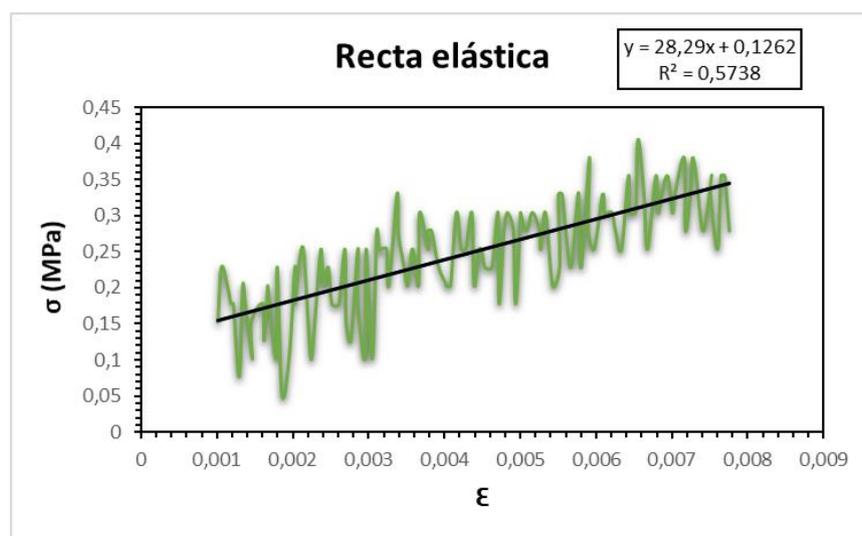
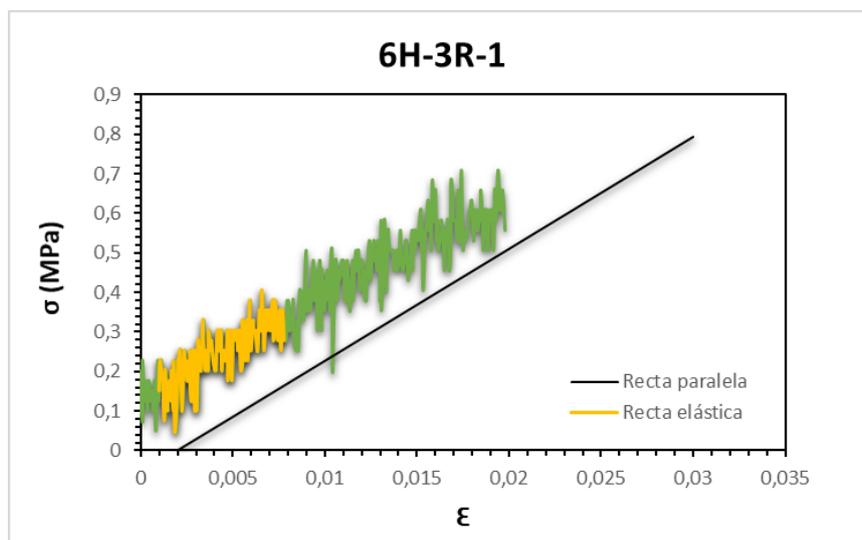
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-1V-1R-2	2,58	23,20	50	59,86

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,63	13,67	-	3,11



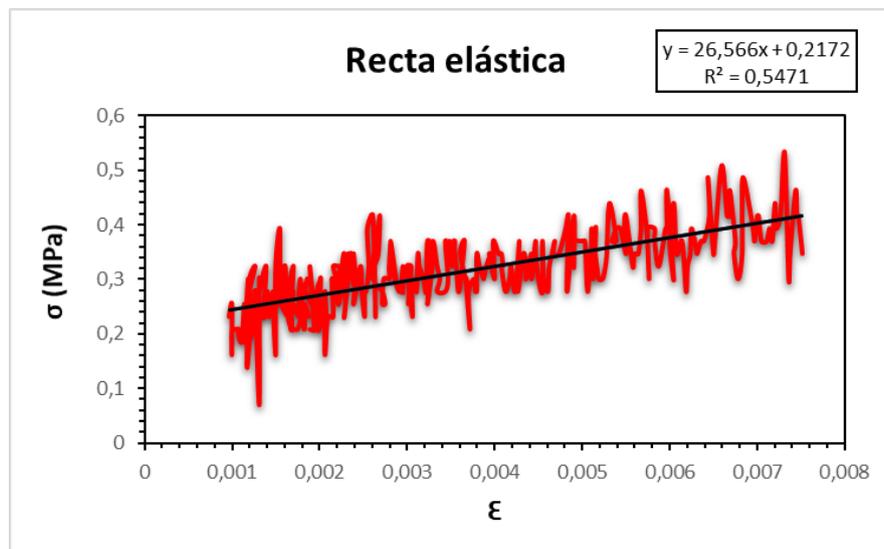
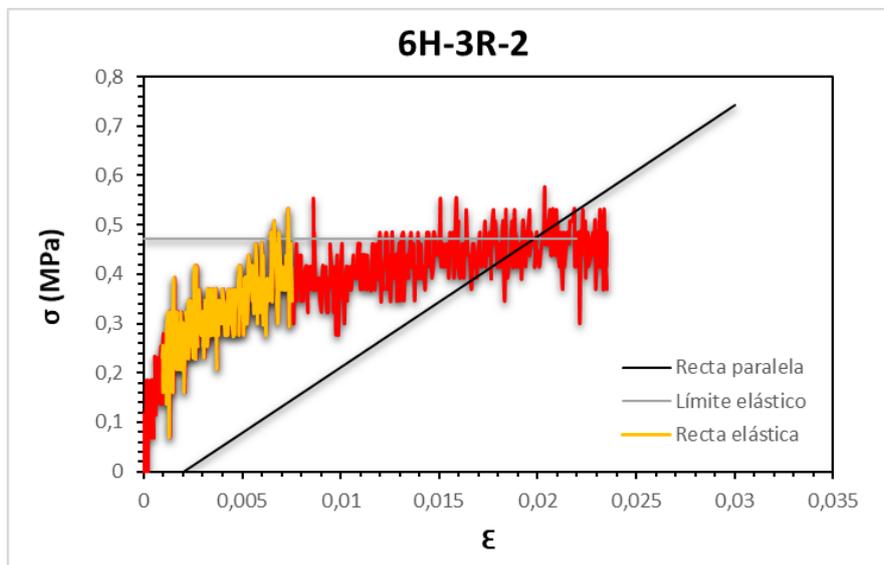
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-1	2,47	25,00	50	61,75

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,78	25,93	-	2,45



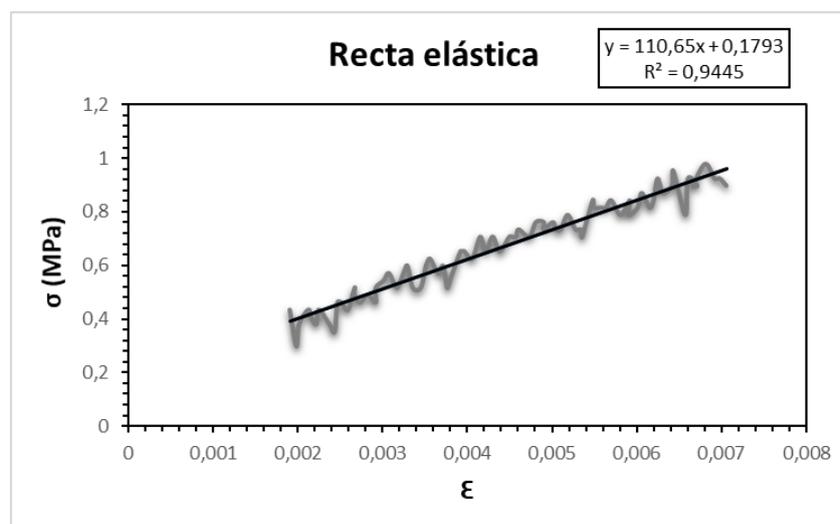
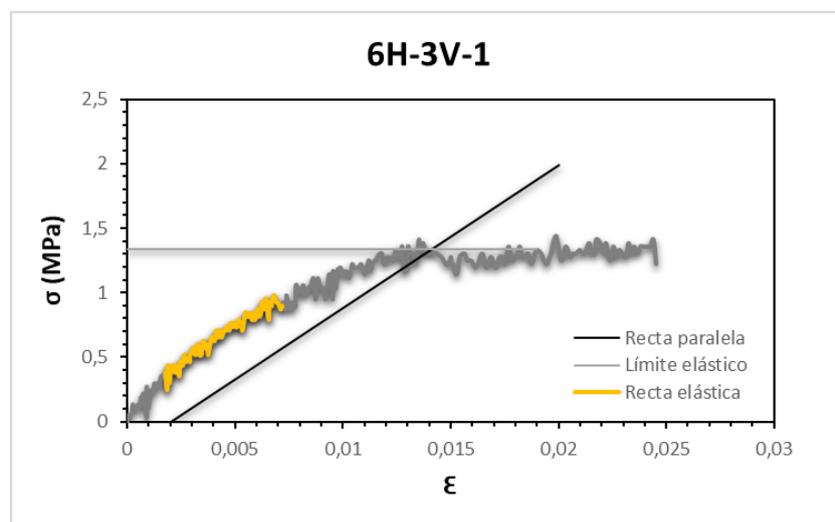
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3R-2	2,62	25,83	50	67,67

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,58	26,56	-	2,35



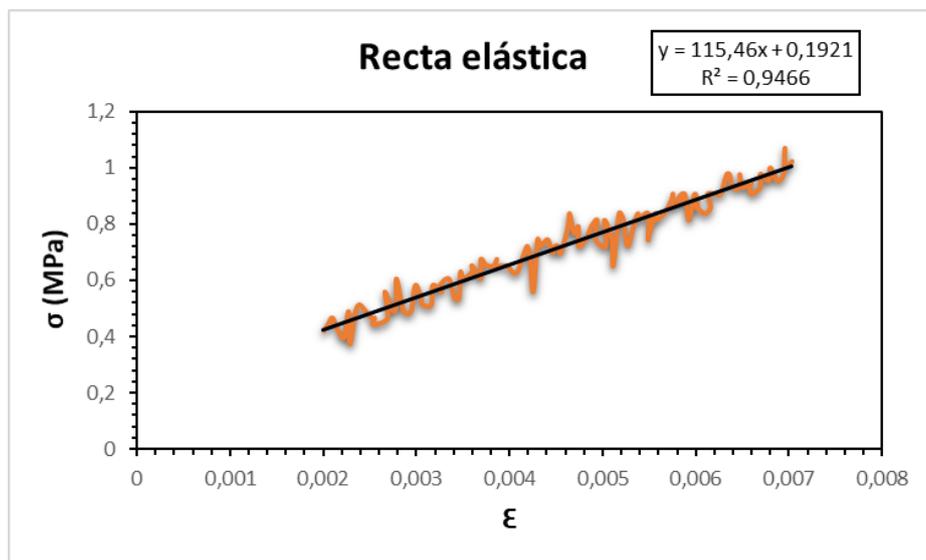
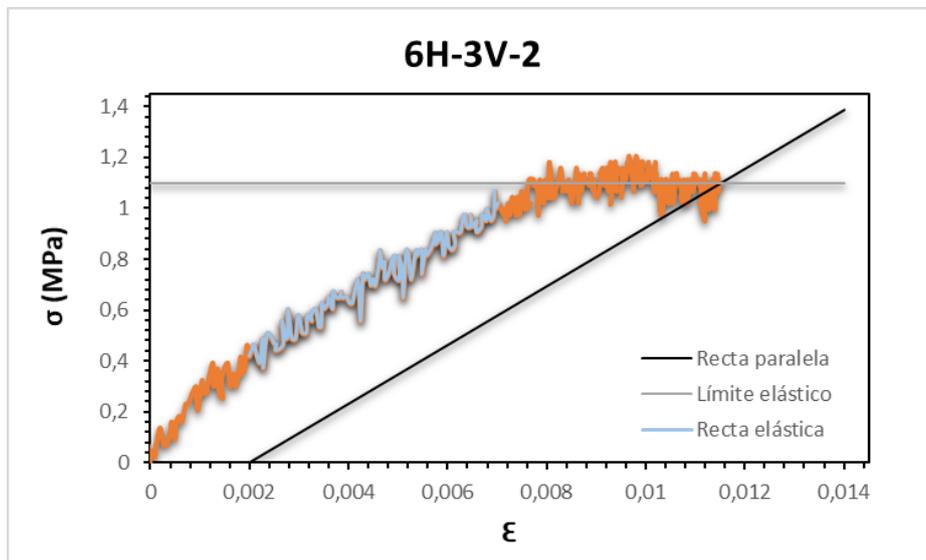
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-1	2,50	23,00	50	57,50

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_v (MPa)	ϵ máx. (%)
1,44	110,65	1,33	2,45



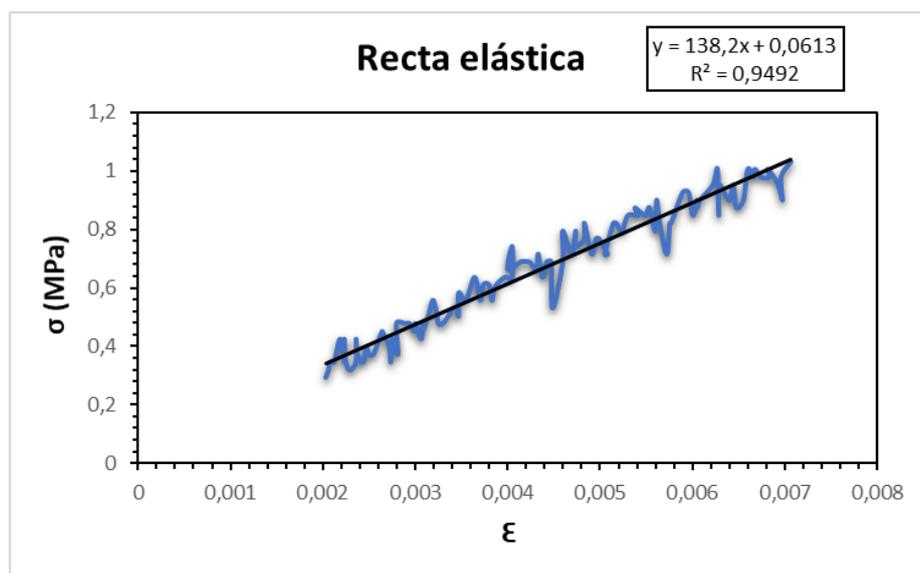
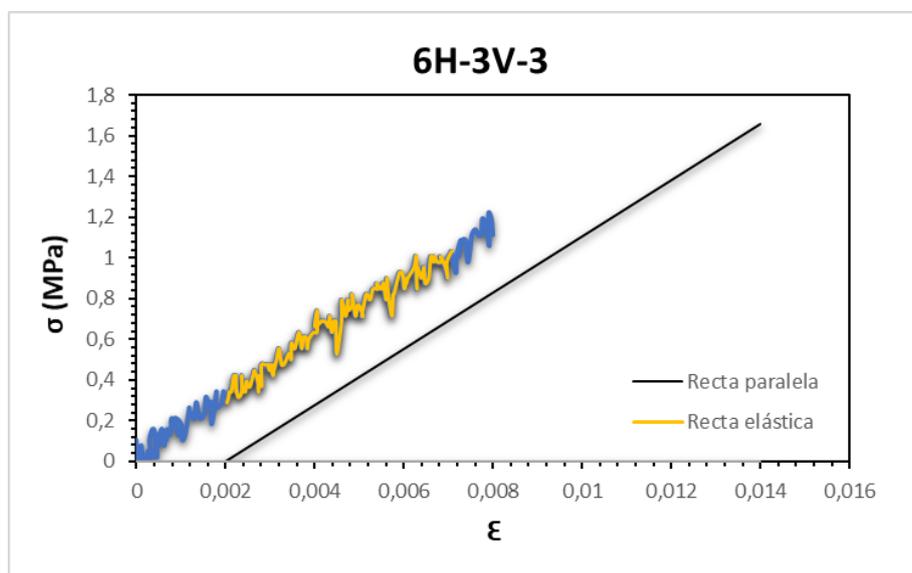
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3V-2	2,84	23,70	50	67,31

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,21	115,46	1,09	1,15



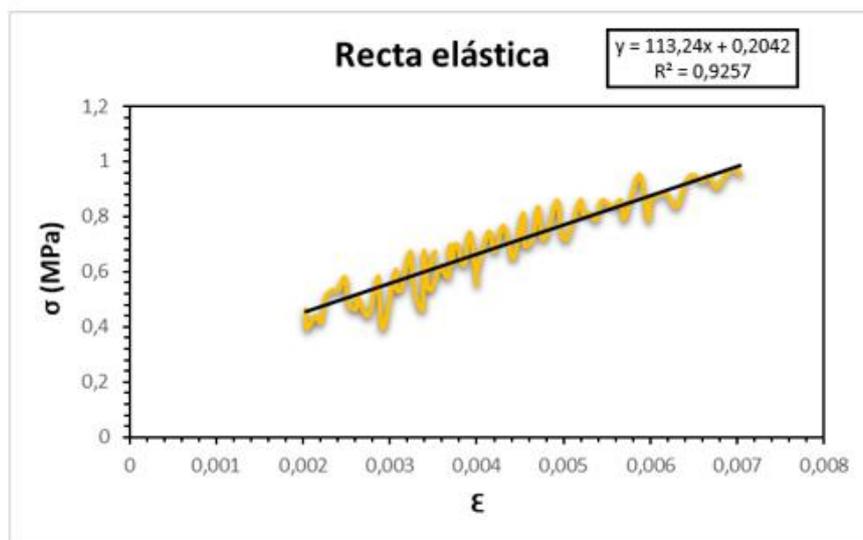
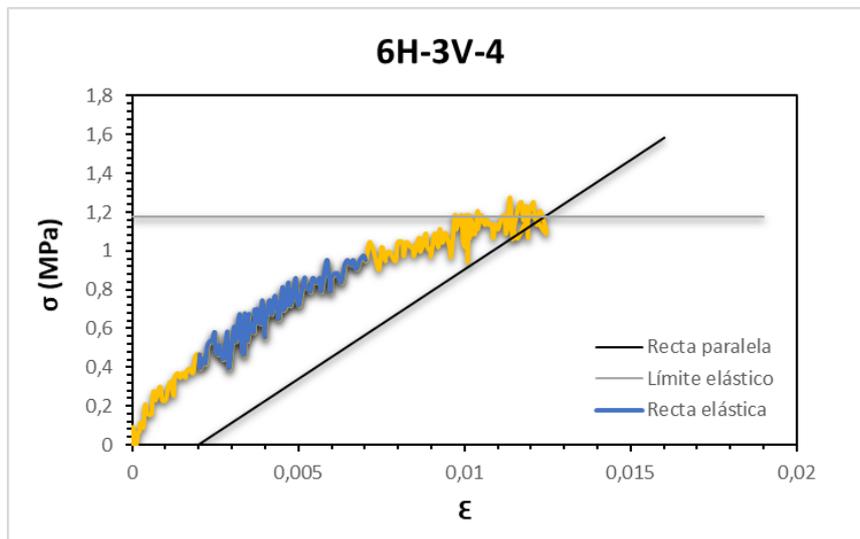
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-3	2,78	21,20	50	58,94

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
1,64	138,20	-	1,24



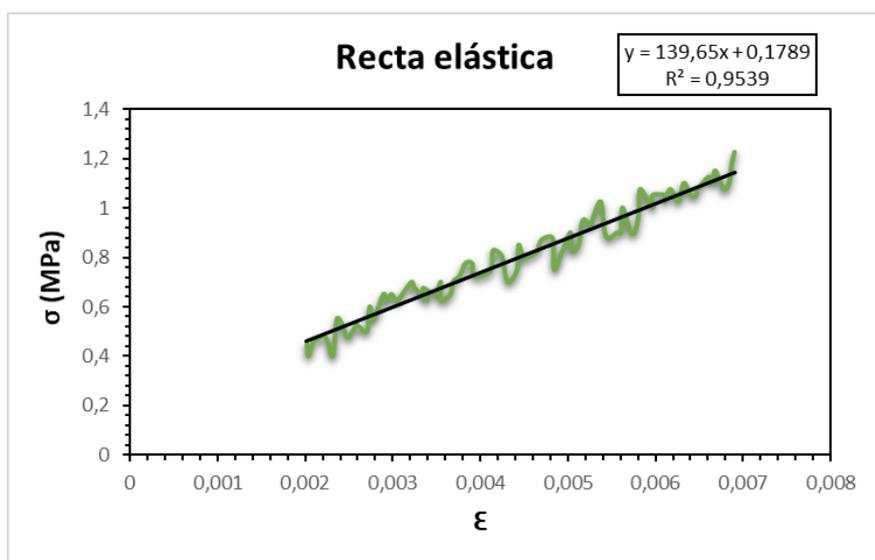
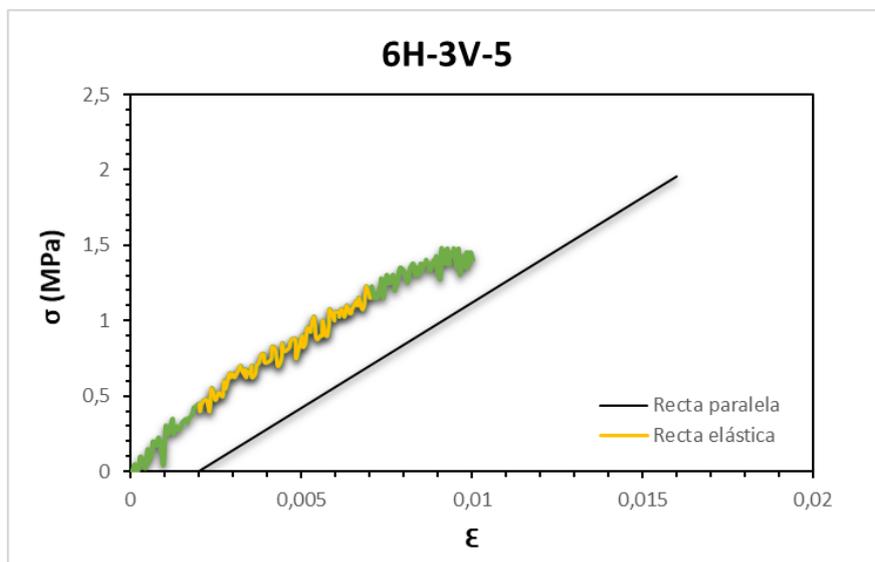
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3V-4	2,61	25,80	50	67,34

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,28	113,24	1,18	1,25



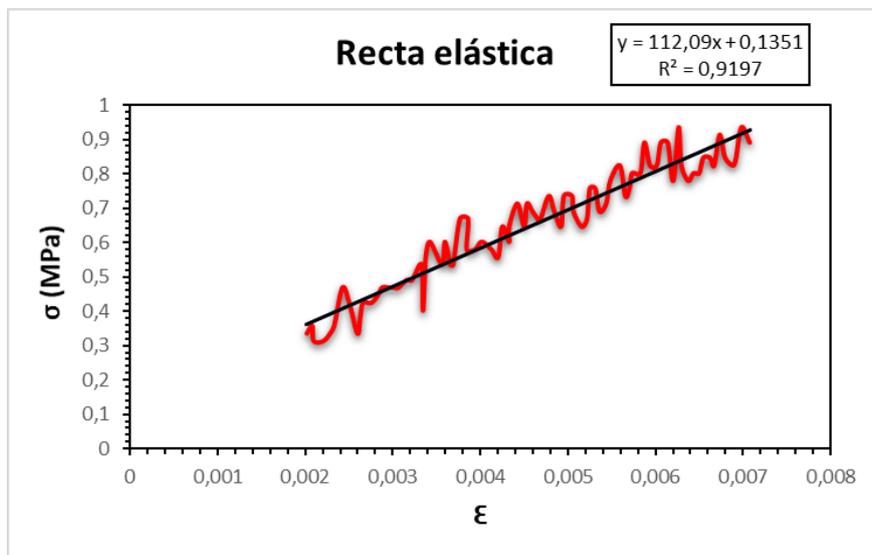
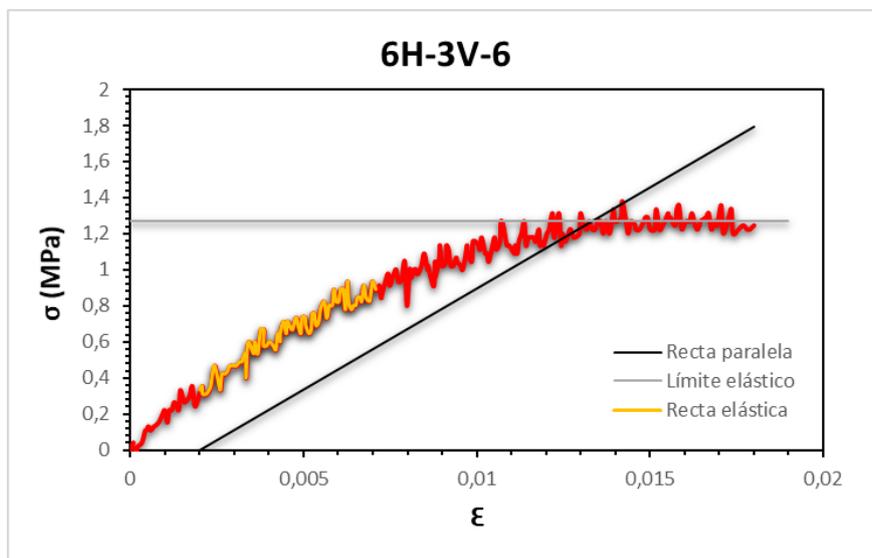
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-5	2,50	25,00	50	62,50

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,48	139,65	-	1,00



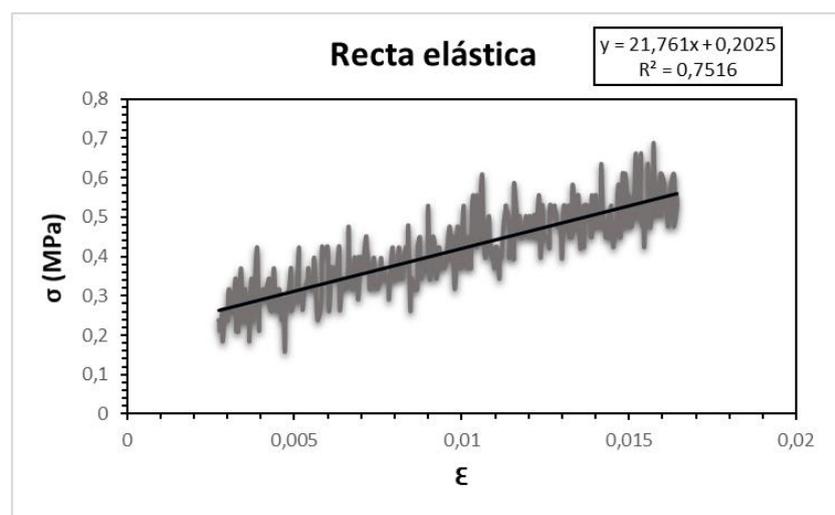
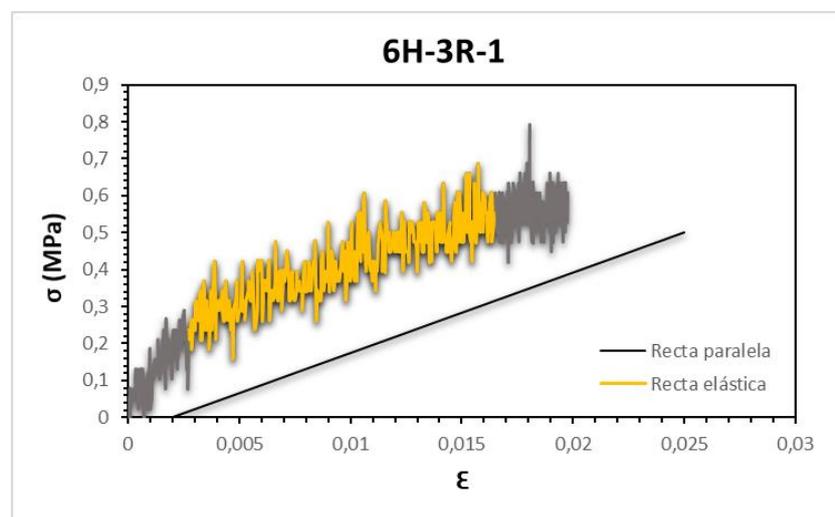
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3V-6	2,84	24,70	50	70,15

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
1,38	112,09	1,27	1,80



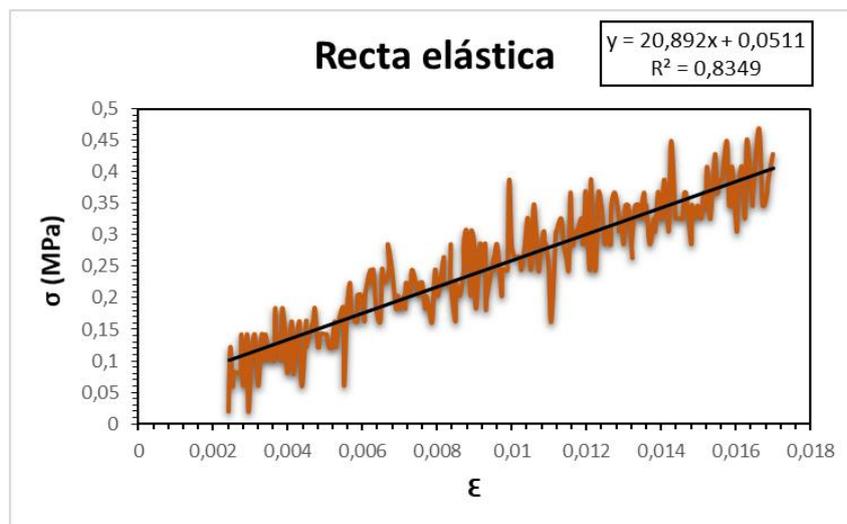
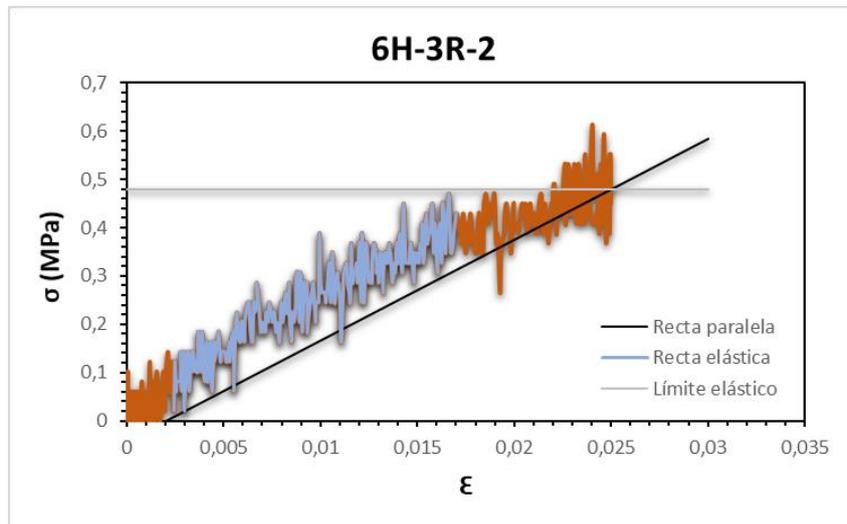
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-1	2,79	21,17	50	59,06

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,79	21,76	-	1,98



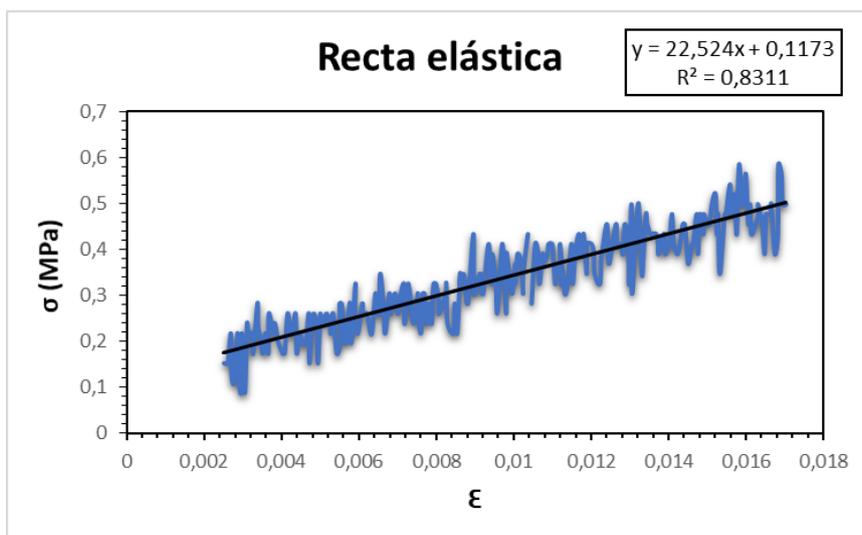
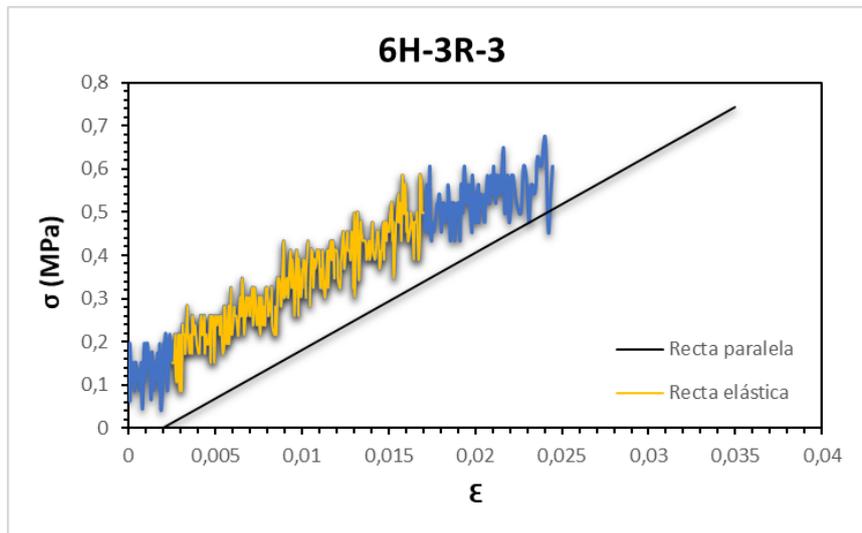
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-2	3,10	24,70	50	76,57

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,61	20,89	0,48	2,50



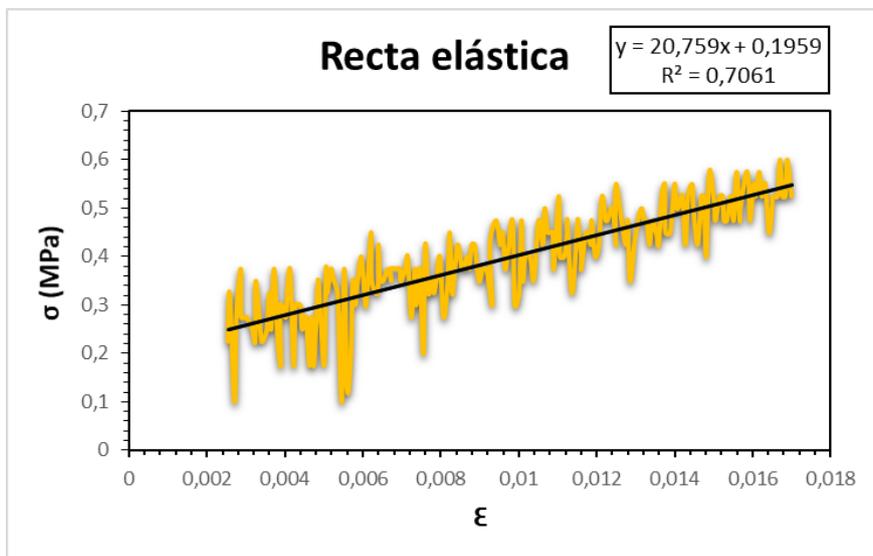
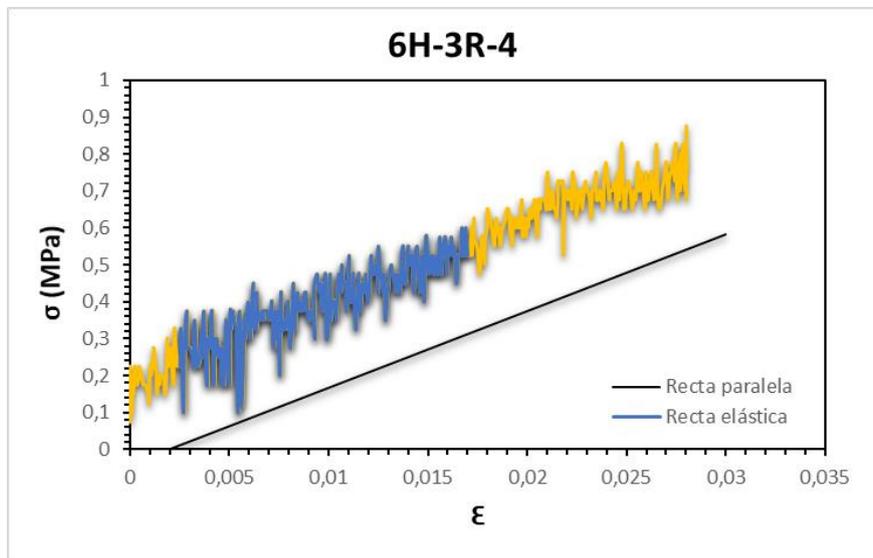
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-3	2,98	24,20	50	72,12

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,67	20,89	-	2,45



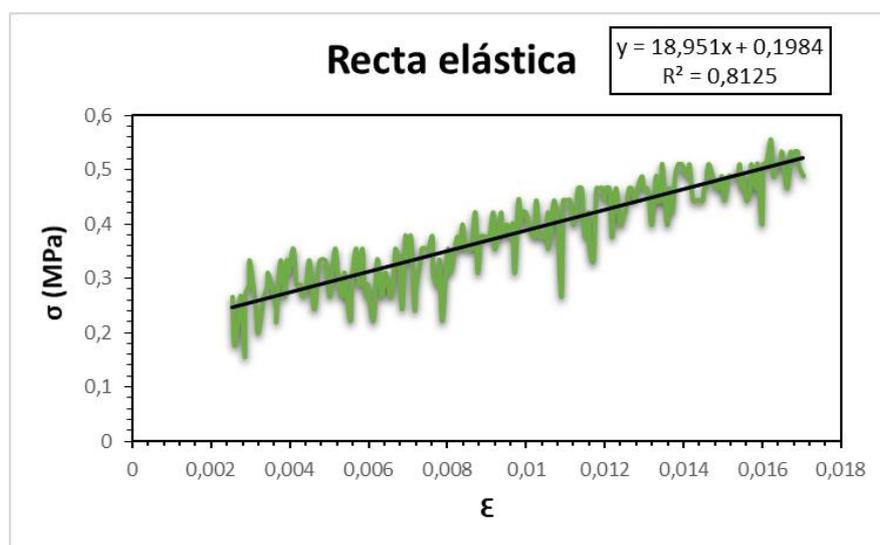
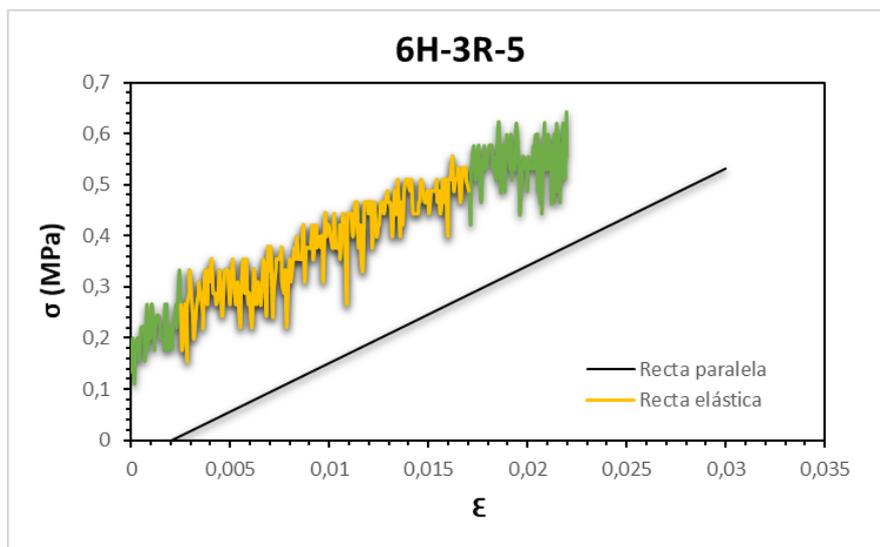
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3R-4	2,80	22,30	50	62,44

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,88	20,76	-	2,81



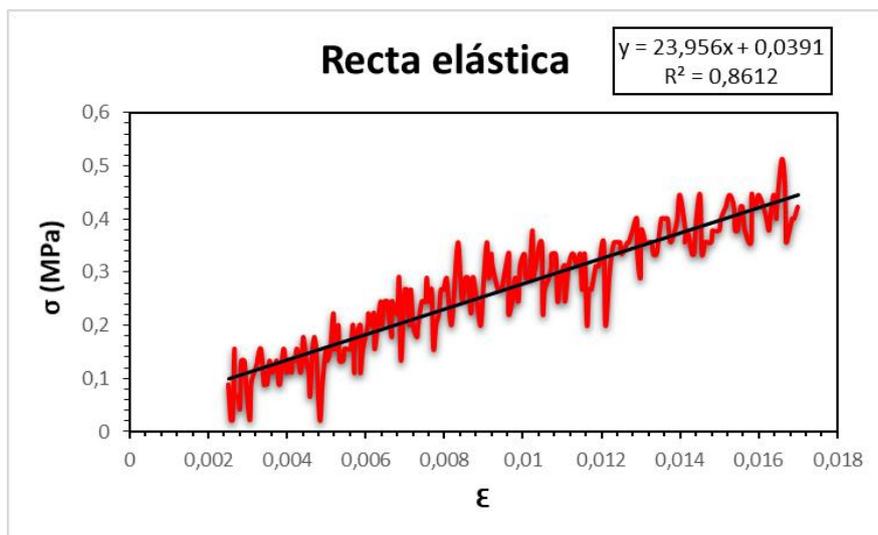
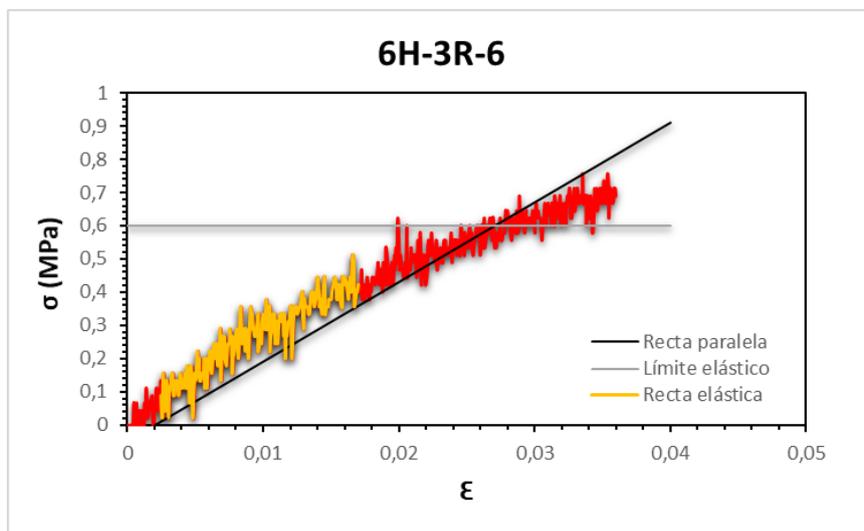
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-5	3,00	23,50	50	70,50

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,64	18,95	-	2,20



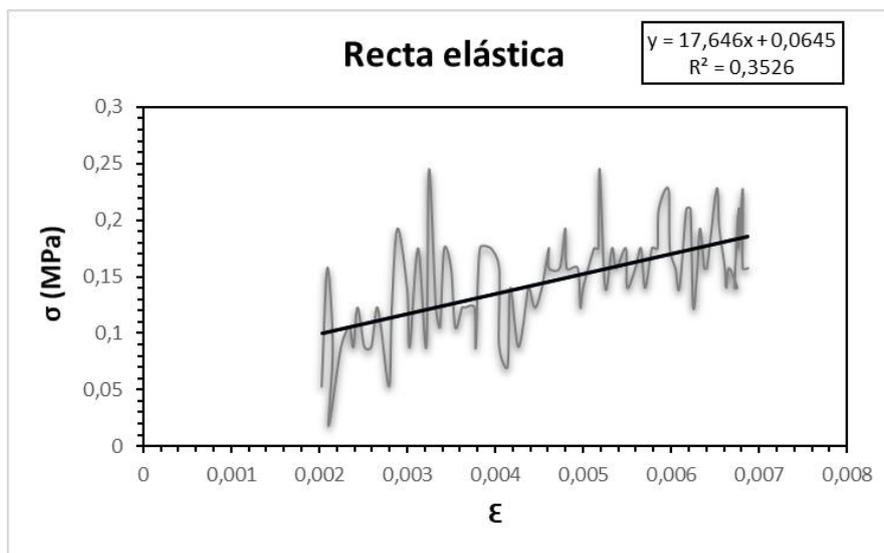
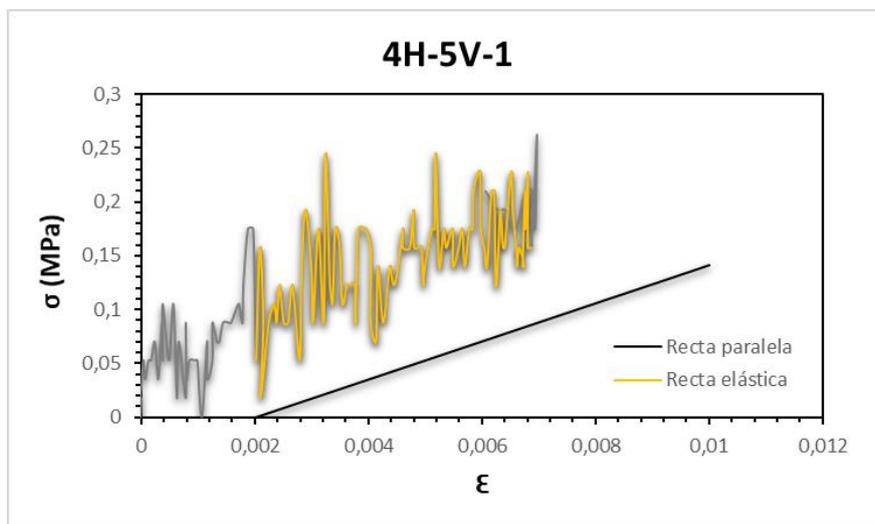
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
6H-3R-6	2,84	24,67	50	70,06

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,76	23,96	0,60	3,60



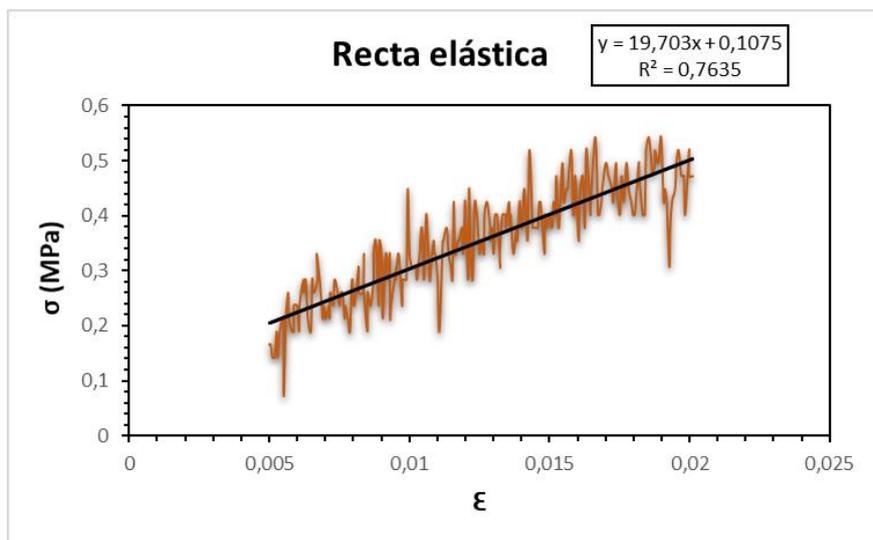
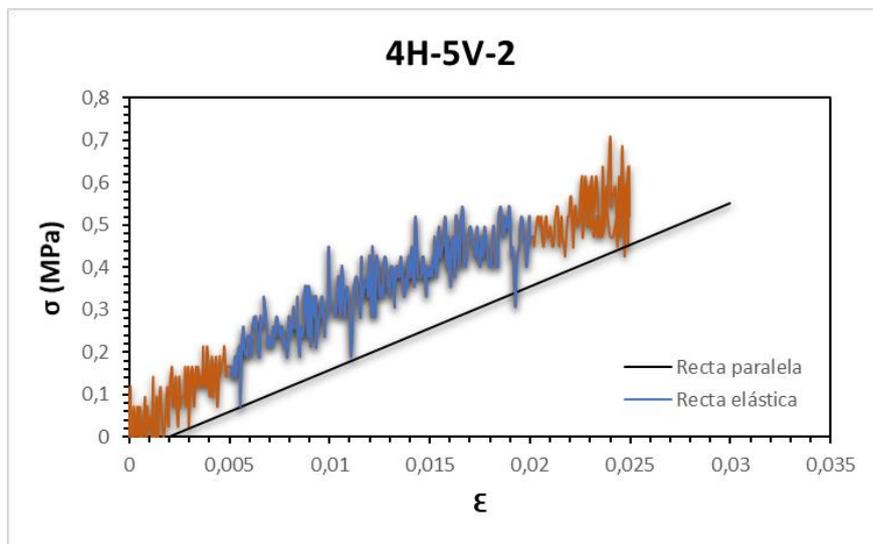
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
4H-5V-1	3,50	24,6	50	89,25

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,76	17,65	-	0,70



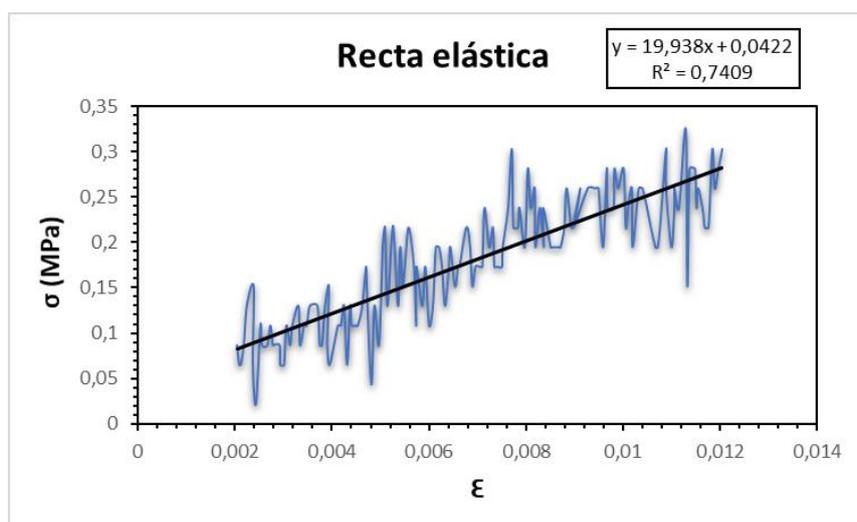
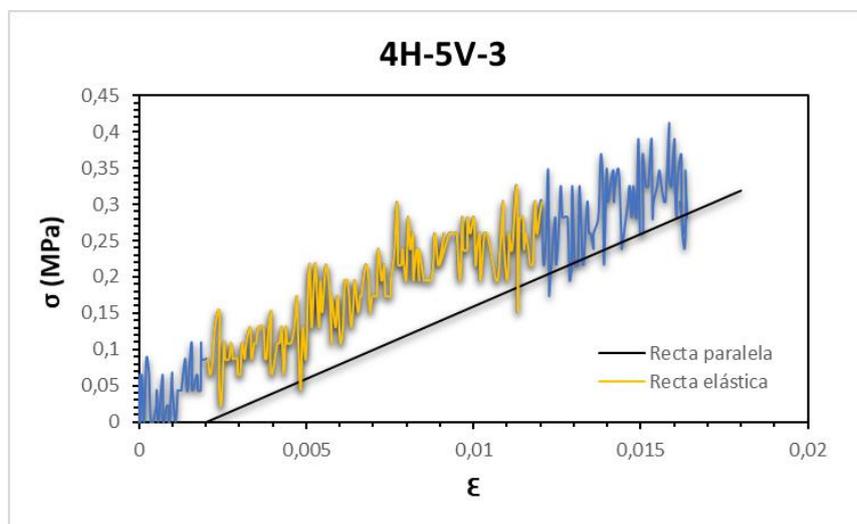
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
4H-5V-2	2,90	22,80	50	66,12

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,71	19,70	-	2,50



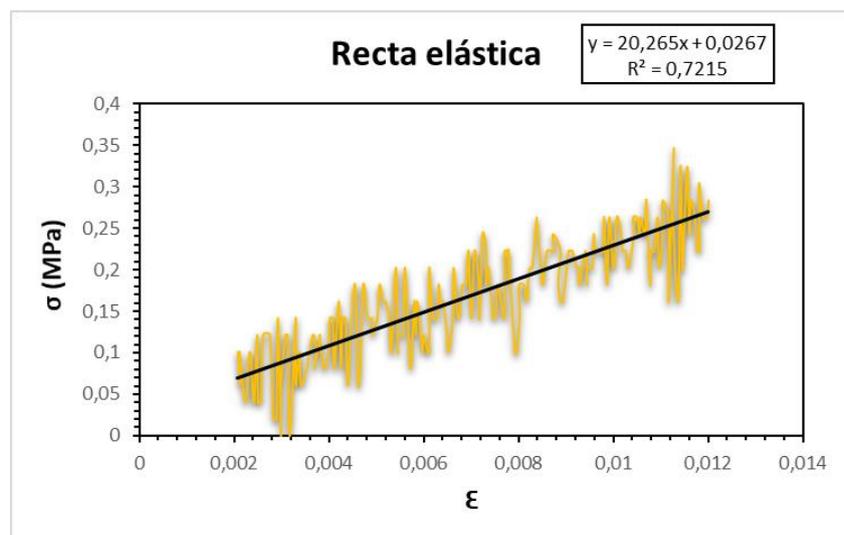
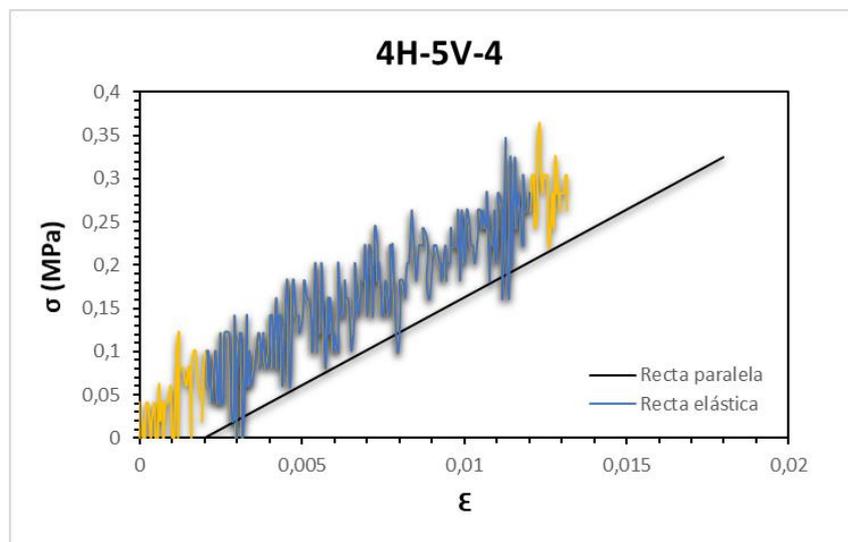
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
4H-5V-3	2,98	24,20	50	72,12

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,41	19,94	-	1,64



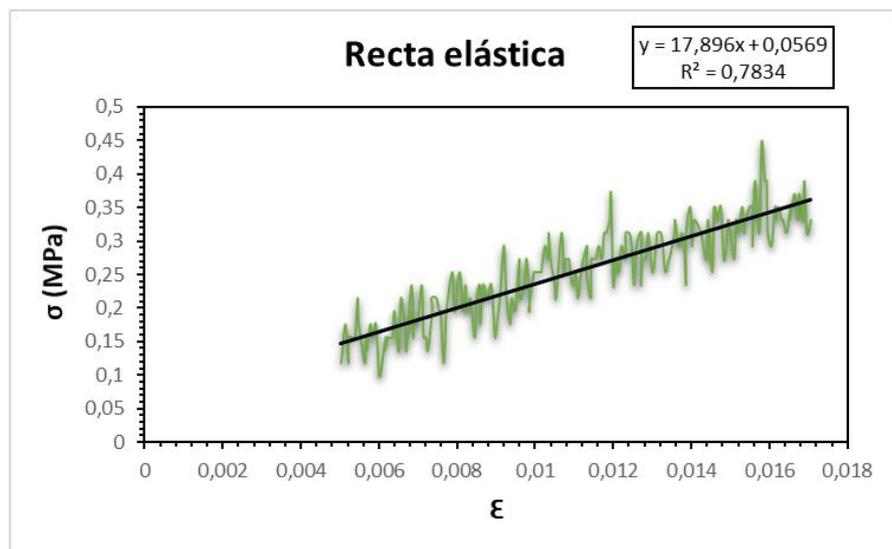
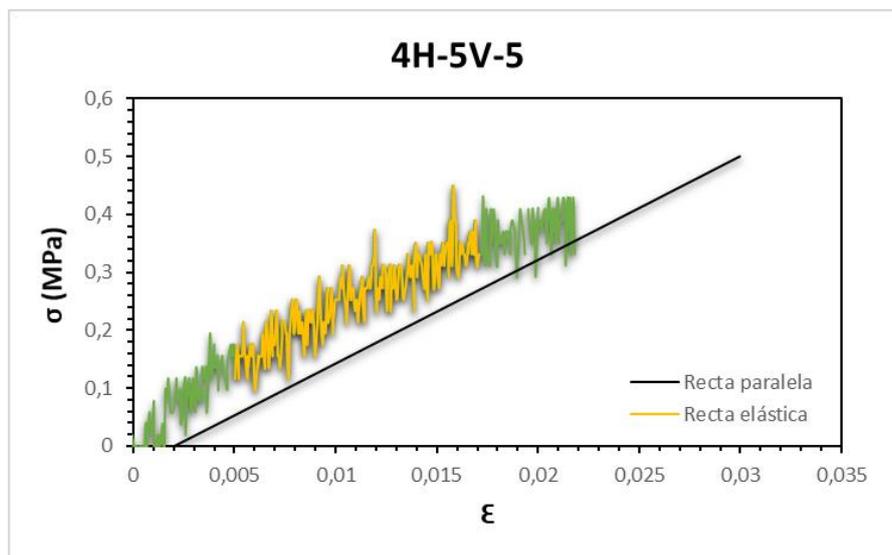
Identificación	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm	Área mm ²
4H-5V-4	2,93	26,30	50	77,06

Resultados			
RT (MPa)	E _t (MPa)	σ _y (MPa)	ε máx. (%)
0,36	20,27	-	1,32



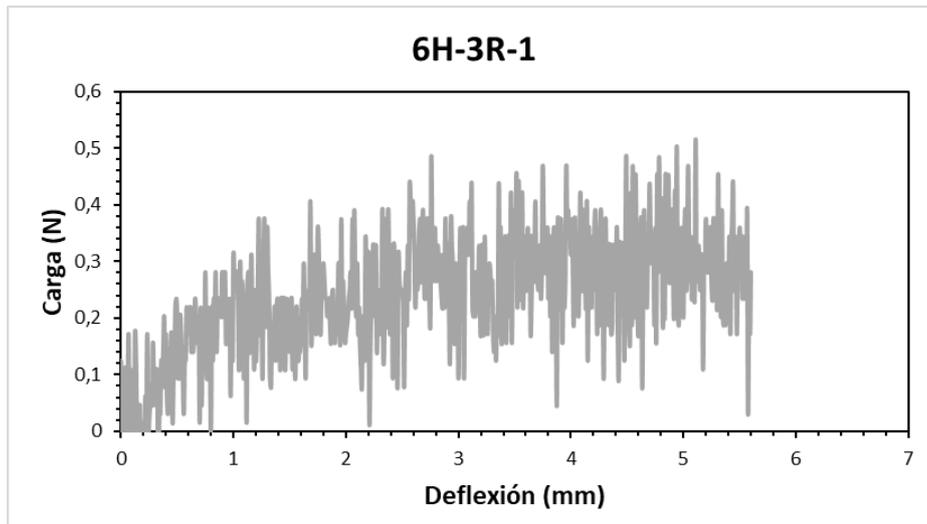
Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
4H-5V-5	3,23	24,80	50	80,10

Resultados			
RT (MPa)	E_t (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ máx. (%)
0,51	17,90	-	2,59

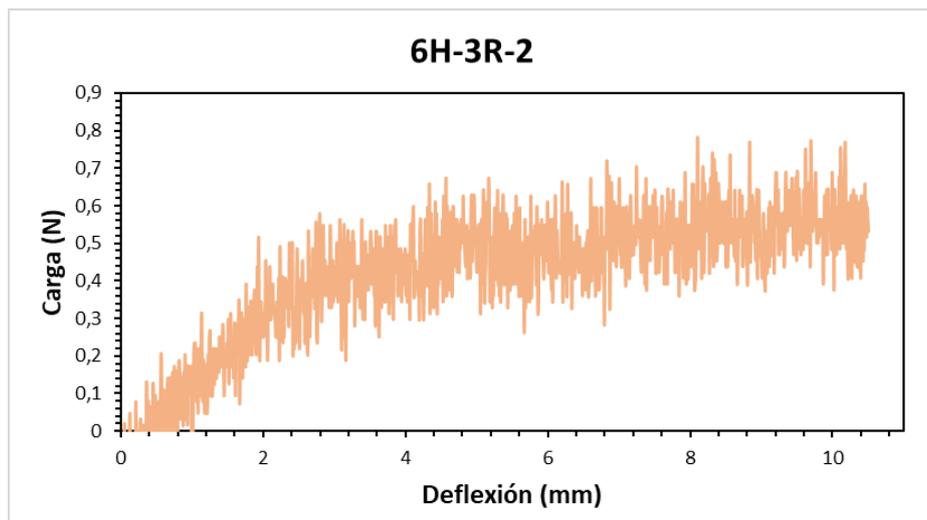


13.4. Anexo IV. Resultados específicos de las probetas tras los ensayos a flexión.

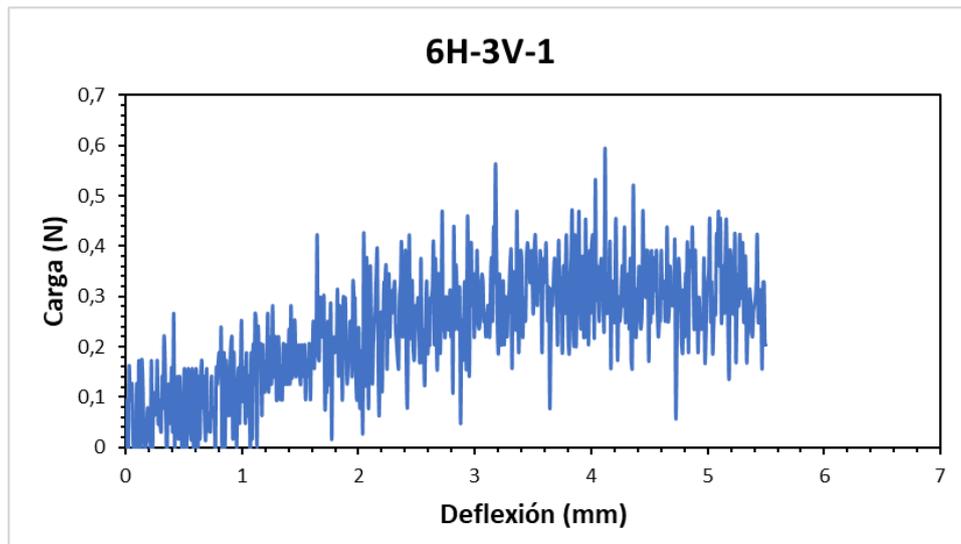
Identificación	Esesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-1	2,92	23,67	50	69,12



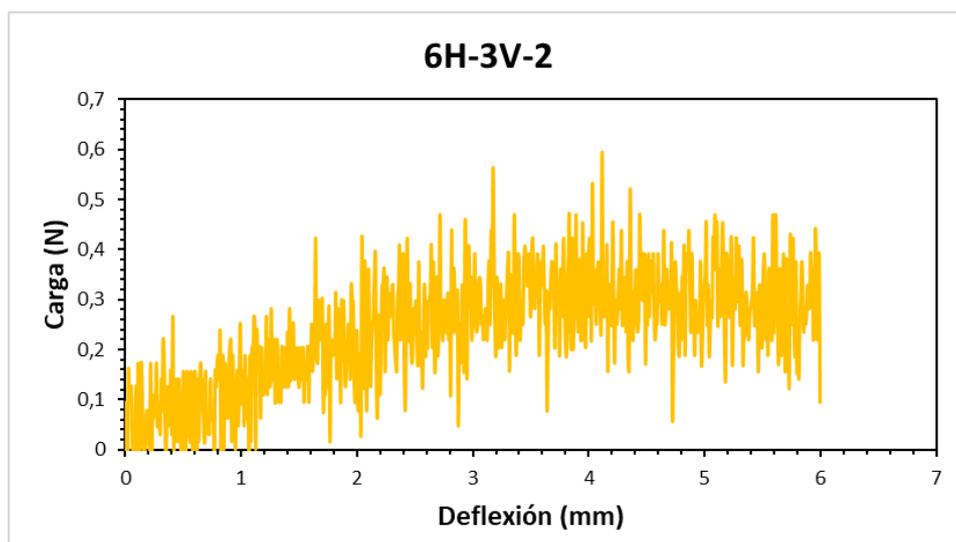
Identificación	Esesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3R-2	2,93	22,50	50	65,93



Identificación	Esesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-1	2,93	22,17	50	72,12



Identificación	Esesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
6H-3V-2	2,94	22,50	50	66,15



Identificación	Espesor	Anchura	Longitud calibrada	Área
	mm	mm	mm	mm ²
4H-5V-1	3,11	26,00	50	80,86

