



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

BIODEGRADACIÓN DE ENVASES ELABORADOS A BASE
DE FÉCULA DE MAÍZ, PAPA, CAÑA DE AZÚCAR,
PAPEL Y OXO-BIODEGRADABLES.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

HERNÁNDEZ TOMAS KARINA

DIRECTORA DE TESIS

BIÓL. MARÍA DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA

CIENCIAS AMBIENTALES

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA



MÉXICO D.F.

MAYO, 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

| | Páginas |
|--|---------|
| I. RESUMEN | 11 |
| II. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2.1 CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS EN MÉXICO | 12 |
| 2.2 DEGRADACIÓN DE LOS PLÁSTICOS | 13 |
| 2.3 PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS | 14 |
| III. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 3.1 INDUSTRIA DE LOS PLÁSTICOS Y MATERIA PRIMA | 16 |
| 3.2 PLÁSTICOS | 16 |
| 3.2.1 Características de los plásticos | 16 |
| 3.2.2 Polímero y polimerización | 18 |
| 3.3 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS | 19 |
| 3.3.1 Polímeros termoplásticos | 20 |
| 3.3.2 Polímeros termoestables o termofijos | 21 |
| 3.3.3 Elastómeros | 22 |
| 3.3.4 Aditivos y su clasificación | 23 |
| 3.4 TIPOS DE PLÁSTICOS (CÓDIGO INTERNACIONAL DE IDENTIFICACIÓN DE RESINA) | 24 |
| 3.4.1 Estructura química de los tipos de plásticos | 25 |
| 3.4.2 Tipos de degradación de los plásticos | 28 |
| 3.5 PLÁSTICO BIODEGRADABLE | 31 |
| 3.6 OXO-BIODEGRADABLES | 31 |
| 3.7 BIOPLÁSTICOS | 32 |
| 3.7.1 Clasificación de biopolímeros | 33 |
| 3.7.2 Almidón | 34 |

| | |
|--|-----|
| 3.7.3 Ácido poliláctico (PLA) | 35 |
| 3.7.4 Polihidroxicanoatos (PHAs) | 38 |
| 3.8 BIODEGRADABILIDAD | 40 |
| IV. JUSTIFICACIÓN | 41 |
| V. OBJETIVOS | 42 |
| VI. HIPÓTESIS | 42 |
| VII. METODOLOGÍA | 43 |
| 7.1 FASE DE CAMPO | 43 |
| 7.2 FASE DE LABORATORIO | 43 |
| 7.2.1 Material utilizado para el experimento de degradación de materiales en diferentes suelos | 44 |
| 7.2.2 Material utilizado para el experimento de degradación de materiales en composta | 47 |
| 7.2.3 Material utilizado para evaluar la degradación de los materiales en agua | 51 |
| 7.4 FASE DE GABINETE | 52 |
| VIII. RESULTADOS | 53 |
| 8.1 TRATAMIENTO, SUELO ÁCIDO | 53 |
| 8.2 TRATAMIENTO, SUELO NEUTRO | 58 |
| 8.3 TRATAMIENTO, SUELO BÁSICO | 63 |
| 8.4 TRATAMIENTO, COMPOSTA 1 TESTIGO | 68 |
| 8.5 TRATAMIENTO, COMPOSTA 2 CONEJAZA | 74 |
| 8.6 TRATAMIENTO, COMPOSTA 3 BORREGAZA | 80 |
| IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 86 |
| X. CONCLUSIONES | 98 |
| XI. RECOMENDACIONES | 99 |
| XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 100 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| NÚMERO DE FIGURA | TÍTULO | Páginas |
|------------------|---|---------|
| 1. | Moléculas lineales de enlaces débiles (Bilurbina y Liesa, 1990) | 20 |
| 2. | Moléculas ramificadas (Bilurbina y Liesa, 1990) | 21 |
| 3. | Moléculas reticuladas (Bilurbina y Liesa, 1990) | 22 |
| 4. | Código Internacional de Identificación de los plásticos (Gent y Mutter, 2010) | 24 |
| 5. | Estructura química del Polietilentereftalato (PET) (Rubín, 1998; Driver, 1982) | 25 |
| 6. | Estructura química del Polietileno de alta densidad (HDPE) (Rubin, 1998; Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982) | 25 |
| 7. | Estructura química del Policloruro de vinilo (PVC) (Rubin, 1998; Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982) | 26 |
| 8. | Estructura química del Polietileno de baja densidad (LDPE) (Rubin, 1998; Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982) | 26 |
| 9. | Estructura química del Polipropileno (PP) (Rubin, 1998; Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982) | 27 |
| 10. | Estructura química del Poliestireno (PS) (Rubin, 1998; Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982) | 27 |
| 11. | Estructura química del almidón, amilosa (izquierda) y amilopectina (derecha) (Chiou, <i>et. al.</i> , 2005) | 35 |
| 12. | Estructura química del ácido poliláctico (PLA) (Alfaro-Aranda, 2009) | 35 |
| 13. | Catálisis y polimerización termolítica de apertura de anillo láctido (izquierda) para polilactida (derecha) (Södergård y Stolt, 2002) | 36 |
| 14. | Estereoisómeros del ácido láctico (Alfaro-Aranda, 2009) | 36 |
| 15. | Estructura química general de los polihidroxialcanoatos (PHA) (Alfaro-Aranda, 2009) | 38 |
| 16. | Envases no biodegradables y biodegradables, cortado, pesado y sujetado con hilo nylon | 45 |
| 17. | Macetas rotuladas: macetas transparentes suelo ácido, macetas rojas suelo neutro y macetas negras suelo alcalino | 45 |
| 18. | Representación esquemática de experimento de degradación en suelo | 46 |
| 19. | Esquema de empleo de bandejas y tabla de madera para la elaboración del experimento de degradación en composta (vermicomposta) | 49 |

| | |
|---|----|
| 20. Esquema de enterramiento de los envases dentro del sustrato | 50 |
| 21. Ejemplo, frasco No. 2 (Vaso transparente, Biostandar) inmerso en agua corriente, lado derecho | 52 |
| 22. Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL", en suelo ácido | 53 |
| 23. Testigo B. Envase de Polipropileno (PP), en suelo ácido | 53 |
| 24. Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz), en suelo ácido | 53 |
| 25. Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz), en suelo ácido | 54 |
| 26. Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en suelo ácido | 54 |
| 27. Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en suelo ácido | 54 |
| 28. Material 5. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en suelo ácido | 55 |
| 29. Material 6. Tierra Natural. Cucharas (caña de azúcar), en suelo ácido | 55 |
| 30. Material 7. Jaguar. Platos (papel), en suelo ácido | 55 |
| 31. Material 8. Bolsa oxo-biodegradable, en suelo ácido | 56 |
| 32. Material 9. Bolsa 100% biodegradable DOR, en suelo ácido | 56 |
| 33. Material 10. Bolsa oxo-biodegradable Falcón, en suelo ácido | 56 |
| 34. Material 11. DELL (cartoncillo reciclable), en suelo ácido | 56 |
| 35. Material 12. Pluma biodegradable y compostable, en suelo ácido | 57 |
| 36. Material 13. Tapa de la pluma biodegradable y compostable, en suelo ácido | 57 |
| 37. Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL", en suelo neutro | 58 |
| 38. Testigo B. Envase de Polipropileno (PP), en suelo neutro | 58 |
| 39. Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz), en suelo neutro | 58 |
| 40. Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz), en suelo neutro | 59 |
| 41. Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en suelo neutro | 59 |
| 42. Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en suelo neutro | 59 |
| 43. Material 5. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en suelo neutro | 60 |
| 44. Material 6. Tierra Natural. Cucharas (caña de azúcar), en suelo neutro | 60 |
| 45. Material 7. Jaguar. Platos (papel), en suelo neutro | 60 |

| | |
|---|----|
| 46. Material 8. Bolsa oxo-biodegradable EPI, en suelo neutro | 61 |
| 47. Material 9. Bolsa 100% biodegradable DOR, en suelo neutro | 61 |
| 48. Material 10. Bolsa oxo-biodegradable Falcón, en suelo neutro | 61 |
| 49. Material 11. DELL (cartoncillo reciclable), en suelo neutro | 61 |
| 50. Material 12. Pluma biodegradable y compostable, en suelo neutro | 62 |
| 51. Material 13. Tapa de pluma biodegradable y compostable, en suelo neutro | 62 |
| 52. Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL, en suelo básico | 63 |
| 53. Testigo B. Envase de Polipropileno (PP), en suelo básico | 63 |
| 54. Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz), en suelo básico | 63 |
| 55. Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz), en suelo básico | 64 |
| 56. Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en suelo básico | 64 |
| 57. Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en suelo básico | 64 |
| 58. Material 5. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en suelo básico | 64 |
| 59. Material 6. Tierra Natural. Cucharas (caña de azúcar), en suelo básico | 65 |
| 60. Material 7. Jaguar. Platos (papel), en suelo básico | 65 |
| 61. Material 8. Bolsa oxo-biodegradable EPI, en suelo básico | 65 |
| 62. Material 9. Bolsa 100% biodegradable DOR, en suelo básico | 66 |
| 63. Material 10. Bolsa oxo-biodegradable Falcón, en suelo básico | 66 |
| 64. Material 11. DELL (cartoncillo reciclable), en suelo básico | 66 |
| 65. Material 12. Pluma biodegradable y compostable, en suelo básico | 67 |
| 66. Material 13. Tapa de la pluma biodegradable y compostable, en suelo básico | 67 |
| 67. Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL" y B. Cucharas de plástico, en vermicomposta 1 | 68 |
| 68. Testigos C. Envase de polipropileno (PP) y D. Bolsa de poli papel, en vermicomposta 1 | 68 |
| 69. Material 1. Biostandar, Platos (Fécula de maíz), en vermicomposta 1 | 68 |
| 70. Material 2. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en vermicomposta 1 | 68 |
| 71. Material 3. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en vermicomposta 1 | 69 |

| | |
|--|---------|
| 72. Material 4. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en vermicomposta 1 |69 |
| 73. Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz), en vermicomposta 1 | ..69 |
| 74. Material 6. Tierra Natural. Vaso Ecotainer formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado, en vermicomposta 1 |69 |
| 75. Material 7. Tierra Natural. Cucharas (Fécula de maíz), en vermicomposta 1 |70 |
| 76. Material 8. Tierra Natural. Bolsa oxo-biodegradable, en vermicomposta 1 |70 |
| 77. Material 9. Tierra Natural. Tenedores y cucharas (caña de azúcar), en vermicomposta 1 |71 |
| 78. Material 10. Tierra Natural. Bolsa 100% biodegradable, en vermicomposta 1 |71 |
| 79. Material 11. Jaguar. Platos (papel), en vermicomposta 1 |71 |
| 80. Material 12. Bolsa oxobiodegradable EPI, en vermicomposta 1 |72 |
| 81. Material 13. Bolsa oxobiodegradable Falcón, en vermicomposta 1 |72 |
| 82. Material 14. Bolsa 100% oxobiodegradable, DOR, en vermicomposta 1 |72 |
| 83. Material 15. Inboplast, bolsa reciclada, en vermicomposta 1 |72 |
| 84. Material 16. DELL (cartoncillo reciclable), en vermicomposta 1 |72 |
| 85. Material 17. Pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 1 |73 |
| 86. Material 18. Tapa de la pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 1 | ..73 |
| 87. Testigos A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL" y B. Cucharas de plástico, en vermicomposta 2 |74 |
| 88. Testigos C. Envase de polipropileno (PP) y D. Bolsa de poli papel, en vermicomposta 2 |74 |
| 89. Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz), en vermicomposta 2 |74 |
| 90. Material 2. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en vermicomposta 2 |74 |
| 91. Material 3. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en vermicomposta 2 |75 |
| 92. Material 4. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en vermicomposta 2 |75 |
| 93. Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz), en vermicomposta 2 | ..75 |
| 94. Material 6. Tierra Natural. Vaso Ecotainer formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado, en vermicomposta 2 |75 |

| | |
|---|-------------|
| 95. Material 7. Tierra Natural. Cucharas (Fécula de maíz), en vermicomposta 2 |76 |
| 96. Material 8. Tierra Natural. Bolsa oxobiodegradable, en vermicomposta 2 |76 |
| 97. Material 9. Tierra Natural. Tenedores y cucharas (caña de azúcar), en vermicomposta 2 |77 |
| 98. Material 10. Tierra Natural. Bolsa 100% biodegradable, en vermicomposta 2 |77 |
| 99. Material 11. Jaguar. Platos (papel), en vermicomposta 2 |77 |
| 100. Material 12. Bolsa oxobiodegradable EPI, en vermicomposta 2 |77 |
| 101. Material 13. Bolsa oxobiodegradable Falcón, en vermicomposta 2 |78 |
| 102. Material 14. Bolsa 100% oxobiodegradable DOR, en vermicomposta 2 |78 |
| 103. Material 15. Inboplast, bolsa reciclable, en vermicomposta 2 |78 |
| 104. Material 16. DELL (cartoncillo reciclable), en vermicomposta 2 |78 |
| 105. Material 17. Pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 2 |79 |
| 106. Material 18. Tapa de pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 2 |79 |
| 107. Testigos A. Envase de Poliestireno (PS) “UNICEL” y B. Cucharas de plástico, en vermicomposta 3 |80 |
| 108. Testigos C. Envase de polipropileno (PP) y D Bolsa de poli papel, en vermicomposta 3 |80 |
| 109. Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz), en vermicomposta 3 |80 |
| 110. Material 2. Biostandar. Vaso transparente (PLA), en vermicomposta 3 |80 |
| 111. Material 3. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa), en vermicomposta 3 |81 |
| 112. Material 4. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar), en vermicomposta 3 |81 |
| 113. Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz), en vermicomposta 3 | .81 |
| 114. Material 6. Tierra Natural. Vaso Ecotainer formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado, en vermicomposta 3 |81 |
| 115. Material 7. Tierra Natural. Cucharas (Fécula de maíz), en vermicomposta 3 |82 |
| 116. Material 8. Tierra Natural. Bolsa oxo-biodegradable, en vermicomposta 3 |82 |
| 117. Material 9. Tierra Natural. Tenedores y cucharas (caña de azúcar), en vermicomposta 3 |82 |

| | |
|---|----|
| 118. Material 10. Tierra Natural. Bolsa 100% biodegradable, en vermicomposta 3 | 83 |
| 119. Material 11. Jaguar. Platos (papel), en vermicomposta 3 | 83 |
| 120. Material 12. Bolsa oxo-biodegradable, en vermicomposta 3 | 83 |
| 121. Material 13. Bolsa oxo-biodegradable EPI, Falcón, en vermicomposta | 83 |
| 122. Material 14. Bolsa 100% oxo-biodegradable, DOR, en vermicomposta 3 | 84 |
| 123. Material 15. Inoplast, bolsa reciclable, en vermicomposta 3 | 84 |
| 124. Material 16. DELL (cartoncillo reciclable), en vermicomposta 3 | 84 |
| 125. Material 17. Pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 3 | 84 |
| 126. Material 18. Tapa de pluma biodegradable y compostable, en vermicomposta 3 | 85 |
| 127. Biodegradación de envases en suelo ácido | 88 |
| 128. Se observa biodegradación ascendente de envases en experimento en suelo neutro. | 88 |
| 129. Biodegradación ascendente de envases en suelo alcalino | 89 |
| 130 Biodegradación entre los diferentes tipos de suelo a los 180 días de envases con mayor degradación | 89 |
| 131. Biodegradación de envases en vermicomposta 1 | 92 |
| 132. Biodegradación de envases en vermicomposta 2 | 92 |
| 133. Biodegradación de envases en vermicomposta 3 | 93 |
| 134. Comparación entre las compostas de los envases que presentaron degradación. Números corresponden al Código de Identificación de envases | 93 |
| 135. Velocidad de degradación en suelo | 94 |
| 136. Velocidad de degradación en composta | 96 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación de aditivos | 23 |
| Cuadro 2. Lista de microorganismos reportados como degradadores de diferentes tipos de plásticos (Shah, <i>et. al.</i> , 2008) | 30 |
| Cuadro 3. Tiempo y condiciones de degradación de productos biodegradables y oxo-biodegradables | 40 |
| Cuadro 4. Envases no biodegradables y biodegradables utilizados en experimento de degradación en suelo | 44 |
| Cuadro 5. Envases biodegradables y no biodegradables utilizados para el experimento de degradación en vermicomposta | 47 |
| Cuadro 6. Envases no biodegradables y biodegradables para experimento de degradación en agua | 51 |
| Cuadro 7. Velocidad de degradación en suelo | 94 |
| Cuadro 8. Velocidad de degradación en composta | 96 |

I. RESUMEN

Los productos (vasos, platos, bolsas y cubiertos) a base de fécula de maíz, papa, fibra de caña de azúcar, papel y bolsas oxo-biodegradables fueron sometidos a diferentes condiciones de degradación, en suelo: ácido, neutro y alcalino; en composta y en agua. Se evaluó la biodegradación a partir de la reducción de área en porcentaje y velocidad de degradación a partir del área degradada, en un tiempo de 180 días dividido en cuatro períodos de 45 días, esto de acuerdo al tiempo teórico programable de degradación de 6 semanas o 42 días mínimo a 6 meses o 180 días máximo. Se comparó la degradación y velocidad de la misma con envases testigos de Poliestireno, Polipropileno y Polietileno contra bioenvases y tratamientos. Obteniendo para envases testigos de origen petroquímico nula degradación en todos los tratamientos. Los bioenvases degradaron, sin embargo, en cubiertos biodegradables no hubo reducción de área pero sí transformación en superficie, solamente en suelo neutro, ácido, y en composta. Únicamente el producto oxo-biodegradable EPI con DTPA® (Aditivos Plásticos Totalmente degradables) degradó mecánicamente en composta. La velocidad de degradación en suelo fue favorable en suelo neutro, debido al pH del mismo que propicia el desarrollo de una mayor diversidad de microorganismos, como hongos, bacterias, protozoarios y nematodos, beneficiando la biodegradación de los bioenvases, seguida en suelo ácido y siendo muy baja en suelo alcalino. Obteniendo valores de velocidad ≤ 1 que reflejan degradación de tiempo teórica/ degradación de tiempo experimental, valor 1 significa tiempo de degradación teórica (180 días) cumplida en el tiempo de degradación experimental (180 días), mientras valores menor a 1, la velocidad es más lenta y el tiempo de degradación se prolonga por más tiempo. La velocidad de degradación en composta fue de **4** revelando que la velocidad fue cuatro veces mucho más rápida y el tiempo de degradación redujo hasta una cuarta parte, es decir, de 180 días a 45 días, para platos y vasos, de fécula de maíz-papa, fibra de caña de azúcar y papel. Y velocidad de **2** para cartoncillo DELL, que significa dos veces más rápida y en la mitad de tiempo (90 días). Para la bolsa oxo-biodegradable EPI y la tapa de pluma B. y C. los valores oscilan entre 0.42 y 0.99. Esto debido a una mayor matriz de microorganismos y organismos desarrollada en composta que en suelo. Siendo la velocidad de degradación en los tratamientos de la siguiente manera, composta>suelo neutro>suelo ácido>suelo alcalino. Mostrando así que dichos bioenvases ofrecen una alternativa a los problemas de disposición final de residuos que enfrentan los plásticos derivados del petróleo, así como el agotamiento de los recursos de hidrocarburos que concierne sobre las emisiones durante la incineración, además de causar daños por enredo e ingestión peligrosa de plásticos por parte de peces, aves y animales terrestres. Por tanto la importancia de los valores de velocidad de degradación obtenidos como propuesta de indicadores de degradación, ya que actualmente no existen estudios similares que revelen valores significativos.

II. INTRODUCCIÓN

2.1 CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS EN MÉXICO.

Dado el desarrollo económico e industrial, en México, se produce maquinaria, bienes de inversión y de consumo y como consecuencia de estos procesos, se generan residuos y desechos que en conjunto producen contaminación ambiental.

Hasta mediados del siglo XX la basura generada no representaba algún problema porque los desechos consistían principalmente en desechos biodegradables o reciclables, sin embargo al incorporarse compuestos plásticos a la vida cotidiana, una parte considerable de éstos comenzó a acumularse en el ambiente, debido a que no son degradados por microorganismos (Espín, 2007).

Residuos y desechos que estaban compuestos por varios materiales susceptibles a la recuperación para ingresar nuevamente a una cadena productiva, de tal manera que no representen un problema ni riesgo a la población y al ambiente. Composición de basura conformada por: desechos orgánicos 47%, papel 14%, plásticos 11%, materiales peligrosos 10%, metales 2%, vidrio 2% y otros 14 % (INARE, 2000).

Aunque el porcentaje de plásticos (11%) es menor en comparación con los desechos orgánicos, y si bien sus características de peligrosidad de la mayoría de los envases plásticos no representan riesgo ambiental, sí son un problema porque no se degradan rápidamente, y por su volumen se acumulan y llegan a tener impacto sobre los cuerpos de agua, suelo (INE, 1998) y la fauna que muere por ingesta.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta nuestro país en materia ambiental es el consumo de plástico; de acuerdo con el Instituto Nacional de Recicladores, A.C. (INARE), en el año 1997 a 2000, el consumo aparente en México fue de 29 kg/habitante y para el 2005 se estimaba en 49 kg/habitante de plástico anualmente (Segura, 2007), de los cuales 8 kg son botellas de Politereftalato de etileno (PET), considerando que los residuos plásticos anuales son alrededor de 1, 121, 000 ton, recolectándose únicamente 12 % del plástico desechado.

2.2 DEGRADACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

La descomposición de los plásticos derivados del petróleo es muy lenta en contraste con la descomposición de productos orgánicos que tardan de 3 a 4 semanas aproximadamente; las telas de algodón tardan 5 meses; mientras que el plástico puede tardar hasta 500 años (Espín, 2007).

Por tanto se han desarrollado algunos plásticos biodegradables, pero hasta ahora ninguno ha demostrado ser completamente degradado en las condiciones requeridas de la mayoría de los vertederos de basura (INARE, 2000).

La “degradación” de los plásticos solamente genera partículas más pequeñas, denominados “microplásticos” que a pesar de ya no ser tan evidentes, se acumulan en los ecosistemas. Estudios recientes muestran la existencia de dichos fragmentos de plástico de tamaño inferior a 5 mm producto de la desfragmentación de plásticos más grandes, y se ha demostrado que se están acumulando en forma considerable en los mares.

Acumulándose de manera abundante en la arena de las playas y estuarios los microfragmentos de acrílico, polipropileno, polietileno, poliamida (Nylon), poliéster, polimetacrilato, etc. siendo la distribución variable de estos plásticos en mares (de 3-5 kg/km³), con máximos de hasta 30 kg/ km³. Cantidad que va en aumento cada año.

Los residuos plásticos en los mares más allá de un problema estético es un peligro para los organismos marinos que sufren daños por ingestión y atragantamiento. Ya que tanto en aves como mamíferos se han encontrado fragmentos de plásticos en sus estómagos que incluso han causado su muerte.

Debido a que los plásticos acumulan compuestos químicos tóxicos como los bifenilos policlorados, el diclorodifenildicloroetano y los nonilfenoles, los cuales no son solubles en agua, se adhieren y acumulan en los plásticos. Se ha demostrado que organismos marinos planctónicos, animales filtradores y aquellos que se alimentan de detritus ingieren estos plásticos quedando éstos atrapados en sus tejidos (Espín, 2007).

2.3 PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS.

La problemática causada por los plásticos derivados del petróleo es debido a su uso indiscriminado, su resistencia al ambiente y su lenta “degradación”, lo que ha llevado a la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de producción para generar plásticos biodegradables y se pueden encontrar; resistentes a ácidos, a temperaturas mayores de 200°C (ideales para hornear), programables para degradarse en 6 semanas o en 6 meses, con silicatos para dar una textura vidriosa, con nanopartículas, hechos de residuos de industrias, de agua de desecho, de suero lácteo, de tubérculos, de bacterias (ej. los polihidroxialcanoatos “PHAs” que son poliésteres naturales), de proteínas, con atmósferas modificadas, hidrobiodegradables, y oxobiodegradables (Alfaro, 2009; Espín, 2007).

Si bien el aumento en costo de un material biodegradable va de un 9 a 15%, para los oxobiodegradables que a pesar de que requiere un aditivo durante la fabricación del envase, no refleja aumento significativo en el costo final. Posteriormente se cree que se hará más rentable el uso de envases biodegradables en la industria conforme se globalice su uso (Alfaro, 2009).

El proceso de degradación para los plásticos biodegradables consiste en dos métodos, la fotodegradación donde por efecto de la luz UV sufren degradación, y posteriormente con el tiempo y el calor se lleva a cabo el proceso de oxidación hasta reducir el peso molecular del plástico, permitiendo que el carbono e hidrógeno contenidos sean consumidos por bacterias y hongos (Alfaro, 2009).

Una característica importante de estos es el polímero utilizado para su fabricación, que no contienen cloro-orgánico a diferencia del PVC, además la maquinaria utilizada para fabricarlos es la misma para el polietileno de alta densidad (HDPE) y baja densidad (LDPE), así como del polipropileno (PP) y por lo tanto no se requiere de una inversión en maquinaria.

El presente trabajo comprobará la biodegradación de los envases así como los oxo-biodegradables elaborados a partir de fécula de maíz, papa, fibra de caña de azúcar, bajo diferentes tratamientos (tres sustratos con diferente pH, en agua y en vermicompostas), y sean efectivamente biodegradables, observando el área degradada periódicamente.

III. MARCO TEÓRICO

En 1838 el químico francés Regnault polimerizó por primera vez el cloruro de vinilo mediante la luz solar y pocos años después se polimerizaron el estireno, el isopreno y el acrilato de metilo. Desarrollándose rápidamente la industria del caucho con ocasión al descubrimiento de la vulcanización en 1839 por Goodyear (Bilurbina y Liesa, 1990).

Dando paso a la industria moderna del plástico en Estados Unidos gracias a la introducción del nitrato de celulosa o nitrocelulosa por Jhon Wesley e I. S. Hyatt en 1870, siendo el primer plástico denominado celuloide introducido al mercado, cuatro décadas después se requirieron para la creación de 18 polímeros, junto con maquinaria de procesamiento para que se integraran estos elementos y surgiera en 1945 la industria del plástico (Rubín, 1998; Driver, 1982).

En 1908 se introdujeron los plásticos totalmente sintéticos. El Dr. Leo Baekeland desarrolló un material fenólico que se vendió con el nombre comercial de baquelita, material que se convirtió en un plástico muy comercial por sus diversos usos, sin embargo, no se sabía su composición química. El concepto de polímero comenzó a ser aceptado al final de la década de 1920-30 (Driver, 1982).

La variedad de plásticos surgió después de darse a conocer por primera vez el polietileno de baja densidad, al finalizar la segunda guerra mundial, material que hasta ese entonces se mantenía en secreto. Surgiendo el plástico como material de diseño y construcción, compitiendo contra el acero, vidrio, madera, aluminio entre otros (Rubín, 1998).

A principios de 1970 comienza el desarrollo de los biomateriales. Siendo en este año celebrado el primer día internacional de la Tierra, en donde se convoca al desarrollo de un símbolo para el significado del reciclaje. No fue hasta 2005 que el diseño del envasado es medioambientalista como especialidad, se toma importancia sobre los materiales biodegradables y compostables. Del 2000-2005 el aumento en el consumo de alimentos orgánicos es del 94% en países europeos (Alfaro-Aranda, 2009).

3.1 INDUSTRIA DE LOS PLÁSTICOS Y MATERIA PRIMA.

Los sectores principales de la industria son los proveedores de resinas, constructores de maquinaria y procesadoras; con los proveedores de petróleo que entregan la materia prima en un extremo y los mercados que toman el producto terminado en el otro.

Los materiales básicos para fabricar los plásticos se obtienen a partir del petróleo crudo, carbón y gas natural, mediante una serie de procesos químicos (Shah, *et. al.*, 2008; Klimchuk y Krasovec, 2006) Siendo las materias primas necesarias para la producción de los distintos plásticos el metano, etileno, propileno, benceno, acetileno, naftaleno, tolueno y xileno (Rubín, 1998).

Aunque la naturaleza también sintetiza polímeros naturales tales como la celulosa, algunas proteínas, el caucho, el alquitrán y las resinas (Driver, 1982).

3.2 PLÁSTICOS.

La palabra plástico proviene de la palabra griega “*Plastikos*” y del latín “*Plasticus*” que significa capaz de ser moldeado en diferentes formas, término que expresa la principal propiedad de moldear fácilmente y no a un material en sí. Los plásticos están formados por largas cadenas de moléculas llamadas polímeros, obtenidas por síntesis química (Klimchuk y Krasovec, 2006; Shah, *et. al.*, 2008).

3.2.1 Características de los plásticos.

Estos materiales se caracterizan por ser sustancias sólidas a temperatura ambiente, viscosa, elástica o quebradiza, y algunas pueden formar películas o fibras. Producidos a partir de materiales sintéticos derivados del petróleo, carbón de hulla, del gas natural y de compuestos orgánicos (Bilurbina y Liesa, 1990).

Siendo éstos de alto peso molecular sintetizados a partir de compuestos de bajo peso molecular y a través de la modificación química de materiales naturales de alto peso molecular (principalmente celulosa) (Rafael, 2010).

Características de los plásticos.

- *Plasticidad*: Moldea fácilmente.
- *Conductividad eléctrica*. Baja conductividad eléctrica.
- *Conductividad térmica*. Mal conductor del calor (muy buenos aislantes)
- *Cristalinidad*. No cristalizan por completo como los metales debido a la dificultad de orientar todas las porciones de cada cadena del polímero.
- *Resistencia química y atmosférica*. Resistencia al ataque de ácidos, sin que estos alteren sus propiedades y a las condiciones atmosféricas (sol, viento, lluvia, salitre, etc.)
- *Resistencia* a diversos factores biológicos.
- *Resistencia mecánica*. A nivel estructural, los plásticos no resisten bien las torsiones y flexiones, aunque se pueden usar en mecanismos que no requieran grandes esfuerzos mecánicos. Hay plásticos que resisten bien las compresiones.
- *Densidad* : Son poco densos (livianos)
- *Elasticidad* : Son muy elásticos
- *Resistencia al desgaste por rozamiento*: Aunque algunos plásticos si son resistentes al roce, en general en la mayoría, éste provoca un desgaste rápido.
- *Dureza*: Aunque algunos son duros, en general, los plásticos se rayan con facilidad.
- *Temperatura de fusión*. En el caso de los plásticos es muy baja, por lo que su resistencia al calor es baja también.
- *Variedad, forma, color, textura, apariencia*: Existen miles de variaciones y cada año se producen nuevos plásticos. Al ser fáciles de trabajar, se pueden conseguir múltiples formas, algunas muy complicadas, además de darles la textura y color final deseados, lo que los hace extraordinariamente polivalentes.
- *Reciclado*: Los plásticos se pueden reciclar con facilidad.
- *Transparencia*. La transparencia de los plásticos sin carga es una función de la cristalinidad. Dando la apariencia que va de transparencia excelente, blancos hasta opacos.

La característica principal esta dada en relación a la resistencia/densidad de la cual emerge la propiedad de aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y solventes (Bilurbina y Liesa 1990; Driver, 1982; Espín, 2007; Rafael, 2010).

3.2.2 Polímero y polimerización.

Un polímero (también denominado a menudo resina) es una macromolécula formada por la unión de muchas moléculas más pequeñas llamadas monómera. El tipo de monómeros, la forma en la que se acomodan y la longitud de la cadena es lo que le da a un polímero sus características particulares. Tanto el punto de fusión como la resistencia son proporcionales al tamaño de las moléculas (Driver, 1982).

Proveedores de resina transforman el monómero en polímero, es decir, un monómero de etileno se convierte en Polietileno; el de estireno en Poliestireno; el de cloruro de vinilo en policloruro de vinilo, etc. (Rubín, 1998).

Propiedad que favoreció el incremento en la producción y consumo de plásticos a una velocidad muy superior a cualquier otro material en volumen, dejando atrás a la era del hierro y entrando a la del plástico. El carácter de una era esta definida por el material mas usado en la manufactura (Rafael, 2010; Rubín, 1998).

Polimerización.

Obteniendo de dichos procesos un compuesto macromolecular orgánico al cual podrán añadirse otras sustancias o materias, consideradas aditivos. La unión de las moléculas de monómeros para constituir las cadenas de polímeros pueden realizarse por dos métodos: adición, se realiza mediante un iniciador que puede ser un radical libre o un grupo iónico, el iniciador atrae uno de los electrones de un doble enlace del monómero, dejando libre el otro electrón, que se fija a otra molécula del monómero por el mismo procedimiento, originándose así una molécula más grande, uniéndose así a través de enlaces químicos covalentes; y la condensación, produce una reacción entre los grupos funcionales presentes, eliminándose una molécula pequeña, generalmente agua, formándose un dímero, las moléculas de este vuelven a reaccionar de la misma forma dando un polímero compuesto por cuatro dímeros y así sucesivamente. Por lo que las cadenas de este proceso tienden a ser ramificadas y no lineales, obteniéndose un compuesto macromolecular orgánico al cual podrán añadirse otras sustancias o materias, consideradas aditivos (Bilurbina y Liesa, 1990; Pelayo, 2009).

3.3 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS.

Los polímeros se clasifican de acuerdo a cuatro criterios:

- Su origen: naturales y sintéticos.
- Su estructura molecular: homopolímeros, copolímeros, terpolímeros, tetrapolímeros, pentapolímeros y multipolímeros.
- Su configuración de las cadenas: atácticos, isotácticos y sindiotácticos (Stevens, 1999).
- Su comportamiento frente al calor: termoplásticos, termofijos o también llamados termoestables y elastómeros.

De acuerdo al acomodo de las macromoléculas son de tres tipos: lineales, ramificadas y reticuladas. Teniendo en cuenta esta distribución de entrelazado de las macromoléculas, se clasifican a los plásticos en tres grandes grupos: polímeros termoplásticos, polímeros termoestables ó termofijos y elastómeros (Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982; Rubín, 1998).

3.3.1 Polímeros termoplásticos.

Son materiales en el cual su elaboración se efectúa en condiciones en las que son conformables plásticamente, se pueden ablandar con el calor y volver a su estado inicial al enfriarse o fundirse para formar otros productos una y otra vez. Compuesto por moléculas lineales y bidimensionales con pocos o nulos enlaces entrecruzados de enlaces débiles: fuerzas de Vann der Waals, atracciones dipolo-dipolo y puentes de hidrógeno Fig. 1 (Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982; Raymond, *et al.*, 1998; Rubín, 1998;).

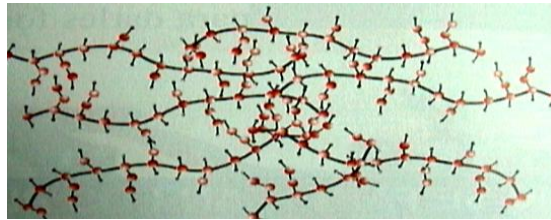


Fig. 1 Moléculas lineales de enlaces débiles (Bilurbina y Liesa, 1990).

Las características de los termoplásticos se conservan, sin embargo, después de varias transformaciones se empiezan a degradar, por lo que su producción se efectúa mezclando un pequeño porcentaje de plástico reciclado con plástico nuevo (Rodríguez-Tarango, 2001). Son los más utilizados en la industria de los envases y embalaje.

Bajo esta denominación se engloban todos los polímeros que se obtienen por polimerización de olefinas, compuestos de dobles enlaces de la familia de los hidrocarburos, teniendo bajo esta denominación al polietileno de baja densidad (LDPE), al Polietileno de alta densidad (HDPE), Poliestireno (PS), el Polipropileno (PP) y el PET (Bilurbina y Liesa, 1990).

Polímeros bajo dicha denominación y algunos ejemplos:

- Nylon (poliamida) → Hilo de pescar, cepillo de dientes, camisas, cuerdas de guitarra, chaleco antibalas, paracaídas, bolsas de aire para automóvil y medias.
- Poliestireno → Aislantes, Juguetes, cubierta de computadoras y electrodomésticos.
- Polietileno → Contenedores, bolsas de embalaje, juguetes y aislantes para cables eléctricos.
- Poliéster → Botellas de agua, envases para productos de limpieza como el champú así como para alimentos, y fibras textiles.

Un punto importante acerca de los termoplásticos de acuerdo a Weber en 2000 alude que estos son biodegradables, mientras que los polímeros termofijos no lo son.

3.3.2 Polímeros termoestables o termofijos.

Los polímeros termoestables se definen como aquellos que al curar producen polímeros insolubles y que no funden al aplicarles calor, es decir, una vez teniendo el producto ya fabricado, no puede ser reutilizada la resina directamente como los termoplásticos al estar compuesto por moléculas tridimensionales que no pueden moldearse por calentamiento (Fig.2) (Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982; Raymond, *et al.*, 1998; Rubín, 1998; Weber, 2000).

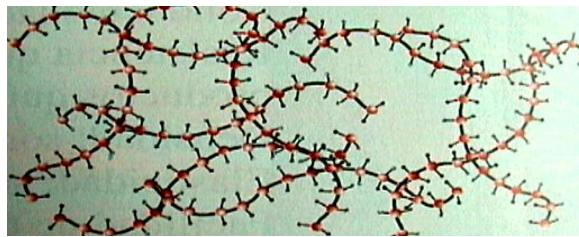


Fig. 2 Moléculas ramificadas (Bilurbina y Liesa, 1990)

La química de estos polímeros es esencialmente igual a la de los termoplásticos, la diferencia se encuentra en que los monómeros cuentan con más centros activos, lo que da lugar a polímeros tridimensionales entrecruzados. Inicialmente compuesto por moléculas lineales que al calentarse forman irreversiblemente una red de enlaces cruzados, unidas por enlaces químicos más fuertes, dando como producto final un compuesto más duro, fuerte y resistente al calor que un termoplástico (Driver, 1982; Bilurbina y Liesa, 1990).

Polímero termoestable y usos:

- Policloruro de vinilo (PVC) → Tubería, envases, impermeables y juguetes (muñecas, pelotas, etc.).
- Baquelita (fenolformaldehído) → Mangos, bolígrafos y enchufes.
- Resina de poliéster → Piscinas, recubrimientos y sumideros.
- Melamina
- Urea
- Espumas de poliuretano

3.3.3 Elastómeros.

Los elastómeros son polímeros amorfos formados por cadenas moleculares que se mantienen unidas por medio de unos cuantos enlaces químicos llamados entrecruzamientos, permitiéndoles moverse entre los puntos de unión y les confiere la propiedad de elasticidad. El calor hace que estos materiales se vuelvan muy elásticos, pero no se funden (Bilurbina y Liesa, 1990; Driver, 1982).

El proceso por el que se introduce una red de enlaces cruzados en un elastómero, se conoce con el nombre de vulcanización (calentamiento del caucho con azufre) formando macromoléculas ligeramente reticuladas (Fig. 3), una reticulación cada 100 a 200 átomos de carbono y con segmentos moleculares largos y voluminosos; dicho proceso es equivalente al de curado utilizado en los termoestables (Bilurbina y Liesa, 1990; Raymond, *et al.*, 1998).

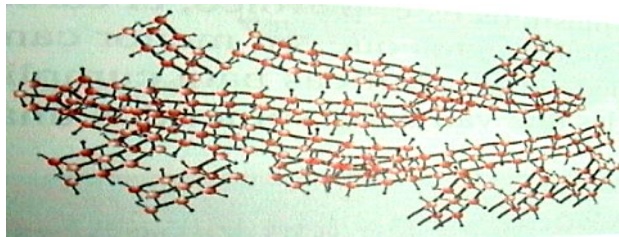


Fig.3 Moléculas reticuladas (Bilurbina y Liesa, 1990)

Son polímeros de gran elasticidad y muy adherentes. Ejemplo de polímeros elastómeros:

- Caucho natural
- Caucho sintético → Suelas de zapatos, mangueras, ruedas, neumáticos guantes.
- Neopreno → Apoyos de vigas, trajes, fundas, máscaras.
- Elastómeros de silicona.

3.3.4 Aditivos y su clasificación.

Los aditivos son compuestos o cargas que se adicionan casi a la mayoría de los polímeros para modificar las propiedades físicas o químicas del mismo, lo cual las hace más versátiles en su utilización, ya sea en el proceso de formación del elemento plástico, así como en el producto final de este material. Existen dos tipos de aditivos; los básicos y los complementarios.

Los aditivos básicos son requeridos para la formación del polímero, como son los estabilizadores térmicos, los lubricantes, etc., en tanto los complementarios son aquellos que se adicionan con la finalidad de proveer características especiales al polímero tales como: modificadores de impacto, estabilizadores UV, retardantes a la flama, pigmentos, entre los principales (Rodríguez- Tarango, 2001; Pelayo, 2009). Clasificándose a los aditivos en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Clasificación de aditivos.

| | |
|---|------------------------------------|
| ➤ Cargas: inorgánicas y orgánicas. | ➤ Agentes espumantes. |
| ➤ Modificadores de impacto. | ➤ Agentes deslizantes. |
| ➤ Modificadores de flujo. | ➤ Agentes antiadherentes. |
| ➤ Estabilizadores al calor, a radiaciones UV. | ➤ Agentes antiestáticos |
| ➤ Lubricantes. | ➤ Agentes acopladores. |
| ➤ Antioxidantes. | ➤ Agentes preservativos o biocidas |
| ➤ Agentes desmoldantes. | ➤ Colorantes |
| ➤ Agentes antiespumantes. | ➤ Emulsificantes. |
| ➤ Agentes aclaradores. | ➤ Plastificantes. |
| ➤ Supresores de humo. | ➤ Retardantes a la flama. |

3.4 TIPOS DE PLÁSTICOS (CÓDIGO INTERNACIONAL DE IDENTIFICACIÓN RESINA).

Para identificar el tipo de plástico en los productos, aunque no en todos, cuentan con un número (el código Internacional de identificación de resina), que trata del Sistema de codificación desarrollado en 1988 por la Sociedad Industrial de los plásticos, con sede en los Estados Unidos, facilitando así el reciclaje de dichos empaques.

Sin embargo, no es obligatorio para los fabricantes incluir dicho número en sus artículos, pero se ha convertido en algo relativamente estandarizado en la producción de ciertos tipos de plásticos de distribución mundial.

Es importante conocer el código de determinado producto ya que informa acerca de las características del material en cuestión. Existen siete códigos para plásticos que se presentan a continuación proporcionando el nombre de las resinas (Fig. 4), material base para la producción del plástico (Gent y Mutter, 2010).

Código Internacional de Identificación de los plásticos:

1.- Polietilentereftalato (**PET** ó **PETE**)

2.- Polietileno de alta densidad (**PEAD** ó **HDPE**)

3.- Policloruro de vinilo (**vinil** ó **PVC**)

4.- Polietileno de baja densidad (**PEBD** ó **LDPE**)

5.- Polipropileno (**PP**)

6.- Poliestireno (**PS**)

7.-Otros (Mezcla de los polímeros anteriores u otros).



Fig. 4 Código Internacional de identificación de los plásticos (Gent y Mutter, 2010).

3.4.1 Estructura química de los tipos de plásticos.

PET (Politereftalato de etileno)

Usos típicos y peligros de dichos plásticos.

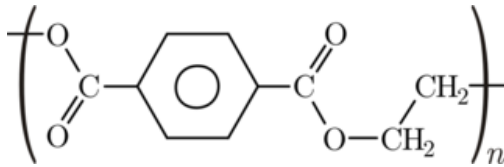


Fig.5 Estructura química del PET
(Rubín, 1998; Driver, 1982)

Fibras y películas, cuerdas para neumáticos, líneas para cañas de pescar, y diversas botellas (Driver, 1982).

Desprende trióxido de antimonio y dietilfalato (DEHP). La larga exposición al primero provoca irritación en la piel y en vías respiratorias, en mujeres presenta problemas en el ciclo menstrual y abortos. Mientras más tiempo permanece el líquido en este tipo de contenedor mayor será la concentración de trióxido de antimonio.

El DEHP es un interruptor endócrino imitando a los estrógenos, llegando a ocasionar ciertos tipos de cáncer, afecta al hígado, riñones, bazo, formación de huesos y peso corporal.

Prohibido en Europa en 1999 en la fabricación de juguetes para niños <3años (Gent y Metter, 2010).

HDPE (Polietileno de alta densidad)

Botellas u empaques opacos (ej.

para leche, jugo, agua, cloro, detergente, shampoo, bolsas para basura, yogurt, margarina, cajas de cereal, etc.), aislamiento de cables, juguetes moldeados, artículos del hogar, tubería y película para empaque.

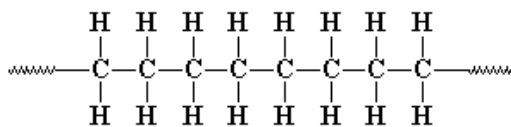


Fig. 6 Estructura química del HDPE
(Rubín, 1998; Driver, 1982;
Bilurbina y Liesa, 1990)

Es considerado un plástico "seguro" (Driver, 1982; Gent y Metter, 2010).

PVC (Policloruro de vinilo)

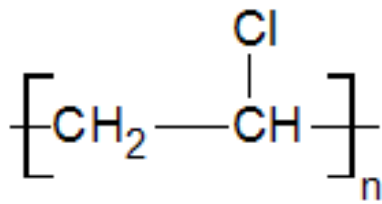


Fig. 7 Estructura química del PVC
(Rubín, 1998; Driver, 1982;
Bilurbina y Liesa, 1990)

Utilizado en juguetes, empaques transparentes para comida, así como botellas para apretar, algunas otras para shampoo, contenedores de aceite comestible y crema de cacahuete, detergentes y productos de limpieza para ventanas, cortinas de baño, sondas médicas, y varios productos para construcción (ej. Tubos).

Considerado como el más dañino, desprende dietilftalato (DEHP) ó butil benzil ftalato (BBzP) ambos son interruptores endócrinos teniendo los mismos efectos ya mencionados en el caso del PET. Prohibido en Europa (1999) y permitido en E.U y Cánada (Gent y Metter, 2010).

La quema constante de PVC ha producido compuestos contaminantes como las dioxinas y los furanos (Shah, *et. al.*, 2008; Ojumi, *et. al.*, 2004).

LDPE (Polietileno de baja densidad)

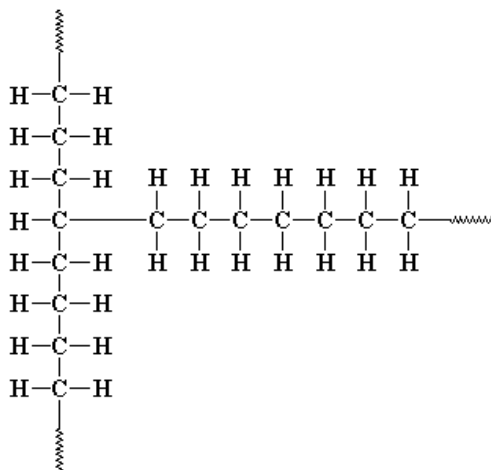


Fig. 8 Estructura química de LDPE (Rubín,
1998; Driver, 1982; Bilurbina y Liesa, 1990)

Película para empaque (para frutas, verduras, lavado en seco), bolsas para pan, comida congelada, botellas para apretar (miel, mostaza), artículos del hogar, juguetes, recubrimientos de cables.

Es considerado un plástico “seguro” (Driver, 1982; Gent y Metter, 2010).

PP (Polipropileno)

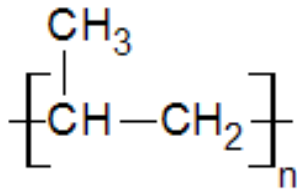


Fig. 9 Estructura química del PP
(Rubín, 1998; Driver, 1982;
Bilurbina y Liesa, 1990)

Fibras, películas, artículos del hogar, recubrimiento de cables, transportación, aparatos domésticos, instrumental médico. Utilizado específicamente en botellas de salsa de tomate, botes para yogurt y margarina, botellas para medicinas y jarabes, popotes, algunos contenedores opacos y botellas para bebés.

Es considerado un plástico “seguro” (Driver, 1982; Gent y Metter, 2010).

PS (Poliestireno)

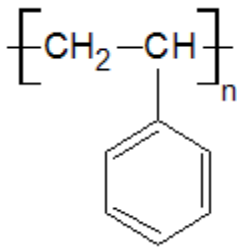


Fig. 10 Estructura química del PS
(Rubín, 1998; Driver,
1982; Bilurbina y Liesa, 1990)

Empaques, artículos del hogar, juguetes, aparatos domésticos, guarniciones para iluminación, espuma. Específicamente en contenedores de unicef, empaques para huevos, platos desechables, cubiertos de plástico, cajas para CD, etc.

Desprende estireno, que es un interruptor endócrino que imita a la hormona femenina estrógeno y tiene el potencial de causar problemas en la reproducción y el desarrollo.

La larga exposición a este tipo de material ocasiona defectos en el cerebro y en el sistema nervioso, produce consecuencias adversas en células de la sangre, hígado, riñones y estómago detectado en estudios realizados en animales.

También está presente en el humo del cigarro, emisión de gases a partir de materiales de construcción, gases de automóviles, incluso en agua potable. Ya que el estireno emigra significativamente de contenedores de poliestireno a sus contenidos cuando alimentos con aceite son calentados en ellos (Driver, 1982; Gent y Metter, 2010).

3.4.2 Tipos de degradación de los plásticos.

Existen diferentes maneras de clasificar los tipos de degradación de acuerdo con los factores que intervienen, tales como son (INE, 1998):

- * Degradación ambiental. Considera al polímero sometido a la influencia de los elementos naturales o bien toma en cuenta los efectos del uso o las condiciones de aplicación sobre su vida útil. Los polímeros sujetos a exposiciones a la atmósfera se degradan de manera diferente, dependiendo de su composición.
- * Degradación acelerada. Consiste en someter al material polimérico a condiciones climatológicas diferentes a las cuales fue diseñado, lo que va a repercutir en su tiempo de vida útil.
- * Degradación física. Engloba a todos los fenómenos que interaccionan con los polímeros sin modificar la estructura química de los mismos. En este tipo de envejecimiento se consideran dos fenómenos: uno que implica transferencia de masa y otro en el que no la transfiere.
- * Degradación química. Implica la modificación estructural del material polimérico expuesto a determinadas condiciones como puede ser la luz, la temperatura en presencia o ausencia de oxígeno, los disolventes y los diferentes tipos de radiación.
- * Degradación térmica. Es aquella que se origina por los efectos térmicos. Se caracteriza por la ruptura de enlaces químicos y, una vez que los enlaces químicos empiezan a romperse, se crean cadenas reactivas y radicales libres. Puede ser por dos vías: depolimerización y reacciones de sustitución de cadenas.
- * Degradación mecánica. Comprende los fenómenos de fractura así como los cambios químicos inducidos por esfuerzos mecánicos. Generalmente se refiere a efectos macroscópicos debido a la influencia de esfuerzos cortantes, además de las rupturas de las cadenas del polímero.
- * Degradación por inducción de luz o fotodegradación. La fotodegradación es el proceso por el cual la luz solar afecta a las sustancias poliméricas y otros compuestos orgánicos, reduciendo

el peso molecular de los mismos, provocando que éstos pierdan sus propiedades físicas y mecánicas de manera irreversible, lo que se manifiesta en: decoloración, formación de grieta y ampollas sobre la superficie fragilidad, pérdida de propiedades de resistencia e incremento en la conductividad eléctrica, entre otros efectos.

- * Degradación biológica (Biodegradación). Es un tipo de degradación química fuertemente relacionada con un ataque microbiano, debido a que este produce una gran variedad de enzimas capaces de reaccionar con polímeros naturales y sintéticos.

Por tanto la importancia del uso de los antioxidantes como aditivos, que resultan muy útiles para proteger a los polímeros de la degradación térmica que se presenta principalmente durante la polimerización y el proceso de las resinas plásticas, y especialmente en el caso del reciclado de dichos materiales.

Los estabilizadores de luz UV se emplean en los productos plásticos para alargar su vida útil, la cual causa graves daños en la estructura del polímero y por lo tanto en sus propiedades físico-mecánicas (Sánchez, 1992).

De acuerdo a Shah, *et al.*, en 2008 enlista los diferentes microorganismos reportados como degradadores de diferentes tipos de plásticos que se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Lista de microorganismos reportados como degradadores de diferentes tipos de plásticos. (Shah, et. al., 2008)

| | |
|--|--|
| Plásticos sintéticos | |
| Poliétileno (PE). | <i>Brevibacillus borstelensis</i> , <i>Rhodococcus ruber</i> , <i>Penicillium simplicissimum</i> YK. |
| Poliuretano (PUT). | <i>Comamonas acidovorans</i> TB-35, <i>Curvularia senegalensis</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Cladosporium</i> sp., <i>Pseudomonas choloraphis</i> . |
| Cloruro de polivinilo (PVC). | <i>Pseudomonas putida</i> AJ, <i>Ochrobactrum</i> TD, <i>Pseudomonas fluorescens</i> B-22, <i>Aspergillus niger</i> van, Tieghem F-1119. |
| Plastificador del PVC. | <i>Aerobasidium pullulans</i> . |
| BTA-copolíéster. | <i>Thermomonospora fusca</i> . |
| Plásticos naturales. | |
| Poli (3-hidroxi-butirato-co-3-mercaptopropionato) (PHB-MP). | <i>Schlegelella thermodepolymerans</i> , <i>Pseudomonas indica</i> K2. |
| Poli (3-hidroxi-butirato) (PHB). | <i>Pseudomonas lemoignei</i> , <i>Alcaligenes faecalis</i> , <i>Schlegelella thermodepolymerans</i> . |
| Poli (3-hidroxi-butirato) Poli (3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato) (PHB-PHB-HV). | <i>Streptomyces</i> sp. SNG9 |
| Poli(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-propionato) (PHB-HP) | <i>Ralstonia pikettii</i> T1, <i>Acidovorans</i> sp. TP4 |
| Poli (3-hidroxi-butirato) Poli (3 hidroxi-propionato) Poli(4-hidroxi-butirato) poli(etilensuccinato) poli (etilene adipato) (PHB-PHP-PHB-PES-PEA). | <i>Alcaligenes faecalis</i> , <i>Pseudomonas stutzeri</i> , <i>Comamonas acidovorans</i> . |
| Poli (3-hidroxi-butirato-co-3- hidroxi-valerato) (PHB-HV). | <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium acetobutylicum</i> . |
| Policaprolactona (PCL). | <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium acetobutylicum</i> , <i>Fusarium solani</i> . |
| Acido poliláctico (PLA). | <i>Penicillium roqueforti</i> , <i>Amycolatopsis</i> sp. <i>Bacillus brevis</i> , <i>Rhizopus delemer</i> . |
| Mezcla de polímeros | |
| Almidón/polietileno. | <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium funiculosum</i> , <i>Phanerochaete chysosporium</i> . |
| Almidón/polyester. | <i>Streptomyces</i> , <i>Phanerochaete chysosporium</i> . |

3.5 PLÁSTICO BIODEGRADABLE.

El estudio de los plásticos biodegradables comenzó a partir de los años 70's, con el estudio del almidón y por los 80's se empezó a buscar plásticos, que pudieran ser diseñados y se hicieran susceptibles al ataque microbiológico con la finalidad de ser biodegradables en un ambiente microbiano activo (Tharanathan, 2003).

Sin embargo el término plástico biodegradable suele utilizarse por los productores de plásticos especialmente con una base petroquímica modificada que parece biodegradarse, este tipo de plásticos pueden ser contemplados como plásticos degradables o plástico fotodegradable ya que el proceso no se inicia por la acción microbiana. De acuerdo a este aspecto Segura, *et al.*, 2007 clasifican a los plásticos biodegradables de la siguiente manera:

- * Fotodegradables (oxobiodegradable).
- * Semi-biodegradables.
- * Biodegradables sintéticos.
- * Biodegradables naturales (Bioplástico).

3.6 OXO-BIODEGRADABLES.

Los polímeros oxo-biodegradables son aquellos que en lugar de tener una larga cadena ininterrumpida de hidrocarburos, tienen sales metálicas cada cierto número de monómeros. Activada por el calor y la luz solar (fotodegradación) se lleva a cabo una reacción entre la sal metálica y el oxígeno, que deja un espacio en la estructura molecular del polímero, así en lugar de una larga cadena resistente, queden varias cadenas cortas que serán digeridas y descompuestas más fácilmente por los microorganismos, que transformarán al hidrocarburo restante en agua, CO₂ y biomasa.

La adición de una sal cambia el comportamiento del plástico y su degradación comienza inmediatamente después de ser fabricado y este expuesto a la luz, calor o estrés. Los polímeros oxo-biodegradables utilizan los mismos equipos que para la fabricación de productos plásticos convencionales, se biodegrada, pueden compostarse no es necesario ser enterrados para su degradación, son fuertes y versátiles, se elaboran a partir de subproductos de la refinación del aceite haciendo que sea más económico que productos a partir de almidón (Alfaro-Aranda, 2009).

3.7 BIOPLÁSTICOS.

Los bioplásticos son una forma de plásticos derivados de fuentes renovables de biomasa, tal como el aceite vegetal, almidón de maíz, almidón de guisante ó microbiota. Algunos, pero no todos los bioplásticos están diseñados para biodegradarse (CORDIS services, 2009; Hong, et. al., 2009).

Las características de los materiales de fuentes renovables para los bioplásticos deben ser similares a los plásticos convencionales. Los polihidroxialcanoatos (PHA), polilácticos, policaprolactonas, poliésteres alifáticos, polisacáridos y copolímeros o mezcla de ambos, han sido desarrollados satisfactoriamente durante los últimos años.

Por tanto se trata de polímeros biodegradables o biopolímeros, definidos como todos aquellos que después de su vida útil sufren cambios por microorganismos, transformándolos a través de dos vías: anaeróbica y aeróbica, en energía, CO₂, agua, metano, biomasa y componentes inorgánicos y pueden ser tanto de origen natural como sintetizados del petróleo (Mohanty, et. al., 2005). Los biopolímeros de recursos renovables son producidos a partir de biomasa para la industria del envase. Biomasa proveniente de cosechas como la remolacha, azucarera, papas, trigo o maíz.

Biopolímeros que pueden ser obtenidos por diferentes vías;

- Remolacha azucarera> ácido glucónico> ácido poliglucónico.
- Almidón> (fermentación)> ácido láctico> ácido poliláctico (PLA)
- Almidón> (fermentación)> bioetanol> eteno> polietileno.

La diferencia entre polímero y biopolímero es que los biopolímeros tienen una estructura muy bien definida, la composición exacta, y la secuencia en donde éstas unidades son organizadas es denominada estructura primaria, procedentes de fuentes naturales renovables. Asimismo después de biodegradarse no producen sustancias tóxicas ya que pueden ser producidos por sistemas biológicos como los microorganismos, plantas y animales, o ser sintetizados químicamente con un precursor biológico tal como azúcares, almidón, grasas o aceites naturales (Emerging food R&D report, 2003). La mayoría de los biopolímeros son desdoblados para dar diferentes formas compactas que determinarán su función biológica, a diferencia de los polímeros sintéticos los cuales poseen estructuras al azar (Alfaro-Aranda, 2009).

Aunque la desventaja de los biopolímeros en cuanto a las películas formadas con estos, son sensibles a la humedad relativa del aire (efecto higroscópico) y tienen una resistencia mecánica limitada comparada con las películas sintéticas, sin embargo la solución está en hacer mezclas de biopolímeros con polímeros sintéticos y se ha demostrado científicamente que los biopolímeros se biodegradan (Mendieta-Taboada, *et. al.*, 2008).

Los bioplásticos biodegradables son utilizados como envases desechables (ej. Platos, cubiertos, vasos, tazones, bolsas, etc.), que pueden convertirse en composta, junto con los alimentos o los residuos verdes, los cuales tienen un cierto uso en Europa, sin embargo, representan el 60% del mercado de materiales biodegradables. Japón también ha sido pionera en bioplásticos, incorporándolos a la electrónica y automóviles. El objetivo del bioplástico es similar al ciclo de la vida de la biomasa que incluye la conservación de recursos fósiles, agua y producción de CO₂ (www.bioplastics.com; Alfaro-Aranda, 2009).

3.7.1 Clasificación de biopolímeros.

De acuerdo a la Unión Europea (UE) y Weber en 2000 se han clasificado estos materiales según su origen y método de producción;

- * Categoría 1. Polímeros directamente extraídos o removidos de biomasa. Tal como son: los polisacáridos como el almidón (papa, maíz, trigo, arroz) y derivados (gomas, guar, pectina, quitina, celulosa, algodón, madera, etc.); las proteínas [caseína, suero de leche, colágeno/gelatina, zeína (proteína de maíz), soya y gluten]; y los lípidos (triglicéridos entrecruzados).
- * Categoría 2. Polímeros producidos por síntesis química clásica, utilizando monómeros de fuentes renovables (por ejemplo los monómeros de ácido láctico producto de la fermentación de carbohidratos, y otros poliésteres).
- * Categoría 3. Polímeros producidos por microorganismos o bacterias genéticamente modificadas. Actualmente el polímero más utilizado es el polihidroxicanoato (PHA), mientras el desarrollo con bacterias celulósicas está en proceso.

Las características de los biopolímeros de la categoría 1, es que son hidrofóbicos por naturaleza, y algunos de éstos forman cristales causando problemas en el procesamiento y/o desempeño al fabricar los envases, pero todos forman excelentes barreras contra gases.

En la categoría 2 según la clasificación Weber en 2000, el ácido poliláctico abarca toda esta categoría, siendo un polímero potencial para comercializarse a gran escala para la producción de envases biodegradables. De la misma manera en la categoría 3 se hace mayor énfasis en el estudio de los polihidroxialcanoatos (PHA's).

La innovación en el desarrollo de materiales de biopolímeros, la preservación de materiales a base de petróleo, la completa degradación biológica, la reducción en el volumen de residuos y compostabilidad, la reducción de las emisiones de CO₂ en la atmósfera, además del incremento en el uso de recursos agrícolas para la producción de nuevos materiales "verdes", son razones de gran interés actual. Los polímeros biodegradables ofrecen una posible solución a los problemas de disposición final de residuos que enfrentan los plásticos derivados del petróleo (Mohanty, *et. al.*, 2005).

3.7.2. Almidón.

Los biopolímeros forman parte de las células de todos los organismos, para que puedan ser útiles en la producción de plásticos tienen que ser modificados. Y el mejor recurso renovable conocido capaz de fabricar plástico biodegradable es de almidón y celulosa. Los cuales no son plásticos en su forma nativa.

El almidón es uno de los materiales biodegradables menos costosos disponibles en el mundo del mercado actualmente, su estructura química está compuesta por una mezcla de amilosa lineal (poli- α -1, 4-D-glucopiranoside) y amilopectina (poli- α -1, 4-D-glucopiranoside y α -1, 6-D-glucopiranoside) (Fig. 11).

Los polímeros a base de almidón son extraídos de semillas de cereales como maíz, arroz, trigo, de tubérculos (papas) y raíces (tapioca), donde los almidones de éstos son químicamente similares, la diferencia es la proporción de polisacáridos de amilosa y amilopectina (Mohanty, *et. al.*, 2005).

El almidón se hace termoplástico cuando se somete a los gránulos del mismo a calentamiento en medio acuoso (agua y/o polialcoholes), que resulta en su gelatinización, la cual ocurre a partir de la

hinchazón irreversible de los gránulos. Aunque puede ser plastificado por dicho método los productos a base de almidón son susceptibles a la humedad, son más quebradizos, especialmente después de su tiempo de vida útil, en comparación con los plásticos derivados de petróleo (Chiou, *et. al.*, 2005).

Para obtener productos comercialmente aceptables, el almidón tiene que ser modificado y obtener un almidón termoplástico-TPS(referencia) mezclado con otros materiales para mejorar sus propiedades físicas y minimizar su sensibilidad al agua, además de ser evaluados con respecto a su resistencia y biodegradabilidad en diferentes condiciones ambientales, incluyendo composta, suelo y en residuos sólidos municipales (Chiou, *et. al.*, 2005). Mientras el almidón termoplástico no modificado es principalmente usado en espumas solubles compostables, en desarrollo de bandejas e incluso como remplazo del Poliestireno (PS) (Mohanty, *et. al.*, 2005).

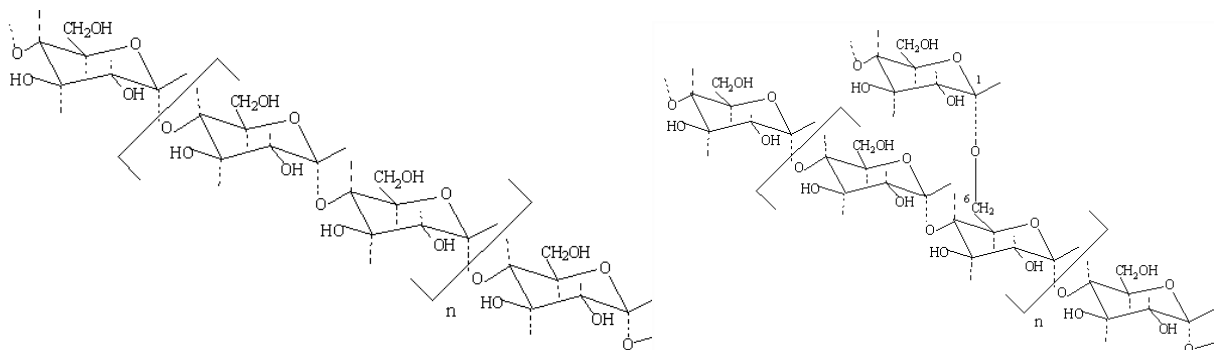


Fig. 11 Estructura química del almidón, amilosa (izquierda) y amilopectina (derecha) (Chiou, *et. al.*, 2005).

3.7.3 Ácido poliláctico (PLA).

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero formado por una molécula de lactida procedente de la fermentación de carbohidratos, tales como: almidón de maíz en los Estados Unidos, de tapioca (raíces) y almidón de papa en gran parte de Asia y caña de azúcar en el resto del mundo. La manufactura del poliéster de ácido láctico fue innovada en 1932 por Carothers y desarrollada a futuro por Dupont y Ethicon y su uso en aplicaciones biomédicas comenzó hacia 1970 (Mohanty, *et. al.*, 2005; Södergård y Stolt, 2002).

El nombre de "ácido poliláctico" (Fig. 12) debe utilizarse con precaución, no se ajusta a las nomenclaturas estándar (como la IUPAC) y que podría dar lugar a la ambigüedad PLA no es un poliácido (poli electrólito), sino más bien es un poliéster (Södergård y Stolt, 2002).

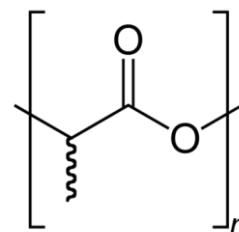


Fig. 12 Estructura química del Ácido Poliláctico PLA (Alfaro, 2009)

El PLA es procesado en un termoplástico rígido que puede ser cristalino o totalmente amorfo, siendo el único polímero versátil como el PET y comportarse en parte como el PP, con la ventaja de manufacturarse, obteniendo productos como películas transparentes, fibras, botellas, y por sus características organolépticas puede estar en contacto con la comida y tener aplicaciones de embalaje sin embargo por su alto costo de producción sólo se enfoca en aplicaciones biomédicas y suturas (Mohanty, *et. al.*, 2005).

El PLA se obtiene a partir de la conversión del ácido láctico a su dímero deshidratado, el proceso comienza cuando se produce ácido láctico por fermentación de dextrosa, siguiendo una reacción continua de condensación del L-ácido láctico, obteniendo L-lactida siendo ésta el prepolímero de bajo peso molecular, posteriormente se rompe el anillo de L-lactida, el cual se polimeriza hasta obtener un polímero de alto peso molecular (PLA) (Fig. 13). Si se mezcla con caprolactona, se obtienen películas para envase de alta calidad (Mohanty, *et. al.*, 2005) (Tharanathan, 2003; Södergård y Stolt, 2002).

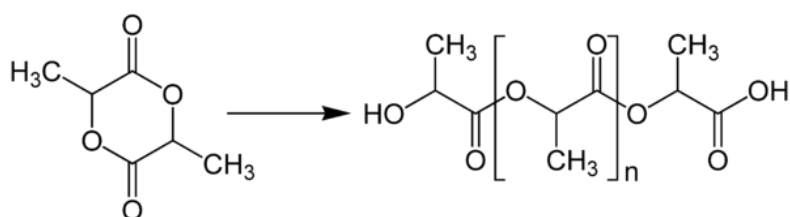


Fig. 13 Catálisis y polimerización termolítica de apertura del anillo láctido (izquierda) para polilactida (derecha) (Södergård y Stolt, 2002).

Las propiedades del PLA están ligadas con la relación entre sus dos mesoformas (L y D) del monómero del ácido láctico (Fig. 14). Debido a la naturaleza quiral del ácido láctico, existen varias formas distintas de polilactida como: poli-L-láctico (PLLA), producto resultante a partir de la polimerización de L-láctico. PLLA tiene una cristalinidad de alrededor del 37%, una temperatura de transición vítrea entre 60-65 ° C, una temperatura de fusión entre 173-178 ° C y un módulo de elasticidad entre 2.7-16 GPa (Södergård y Stolt, 2002).

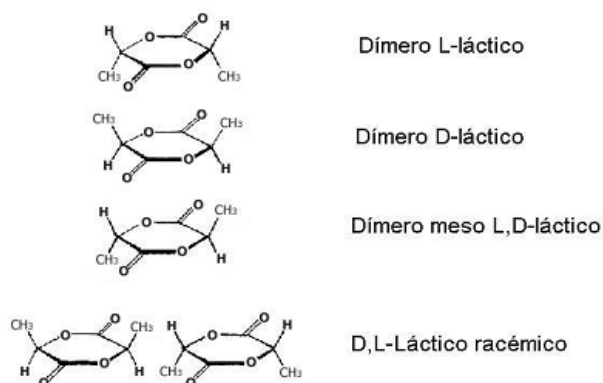


Figura 14. Estereoisómeros del ácido láctico (Alfaro-Aranda, 2009).

Utilizando el 100% de L-PLA resulta un material con un punto de fusión muy elevado y de alta cristalinidad, sin embargo sí se hace una mezcla entre D y L-PLA, se tendrá un polímero amorfo con una temperatura de transición (T_g) de 60°C que sería muy bajo para algunos propósitos utilizados en envases. Pero si se mezcla un 90/10% D/L copolímero resultará un material que puede ser polimerizado por fusión, fácilmente procesable, con un alto potencial en el envasado (Weber, 2000).

La desventaja del PLA es su baja barrera contra gases y su comportamiento quebradizo (Alfaro-Aranda, 2009), por lo que se han desarrollado mezclas de películas para reducir tal comportamiento y modificado para tener mejores propiedades mecánicas (mayor barrera contra gases y transparencia del mismo).

Principalmente sus aplicaciones son biomédicas como suturas, medios de diálisis y dispositivos de suministro de medicamentos, si bien se está evaluando como material para ingeniería de tejidos, embalaje, vajilla desechable, fibras, y con uso potencial para tapicería, ropa desechable, productos de higiene, es el más costoso en comparación a los plásticos convencionales, no obstante su precio ha ido disminuyendo a medida que aumenta la producción, por otro lado la demanda de maíz va en aumento tanto por el uso del mismo para bioetanol y dependientes de los productos básicos de maíz, incluyendo el PLA (Södergård y Stolt, 2002).

El PLA es una alternativa sostenible contra los productos derivados de petroquímicos, desde la lactida de la que se produce en última instancia puede ser derivada de la fermentación de subproductos agrícolas como el almidón de maíz o de otras sustancias ricas en carbohidratos como el azúcar o el trigo (Royte, 2006).

Es un polímero biodegradable en el ambiente, no libera sustancias tóxicas y eventualmente se transforma en CO_2 y agua, actualmente contribuye a la reducción de los gases de efecto invernadero porque el CO_2 generado durante su biodegradación es balanceado en cantidad igual y capturado desde la atmósfera durante el crecimiento de las plantas, en contraste con los polímeros de base petroquímica que contribuyen a las emisiones de componentes orgánicos volátiles y la generación de CO_2 cuando son incinerados.

Además el PLA puede ser naturalmente compostado en humus, CO_2 y agua, ocurriendo una degradación completa solo en pocas semanas bajo condiciones típicas de composta (Mohanty, *et. al.*, 2005).

se alimenta en exceso pero en forma desbalanceada, es decir, la bacteria, en vez de multiplicarse, “engorda” produciendo PHA de reserva.

La clasificación de los PHA's puede clasificarse en tres tipos:

- * Cadena lateral de monómero corta (3-5 átomos de carbono)
- * Cadena media (6-14 átomos de carbono)
- * Cadena larga (más de 14 átomos de carbono)

Esta longitud se refiere al tamaño de la cadena lateral de cada monómero y no al tamaño del polímero, que puede llegar a ser de 200, 000 a 3 millones de Daltones generalmente. Longitud que determinará el punto de fusión y la cristalinidad del bioplástico, así como el tipo de bacteria que se emplee y las condiciones bajo las cuales se le cultiva y determinar la composición química de PHA producido, especialmente la fuente de carbono de la bacteria.

Para la degradación del polímero PHA primero actúa una enzima, la depolimerasa, la cual rompe en monómeros (hidroxialcanoatos) tales moléculas que las bacterias pueden asimilar en su metabolismo. Las bacterias que degradan al PHA son generalmente gram negativas, actinobacterias y hongos.

Dicha degradación se realiza fuera de la célula bacteriana, así estos microorganismos pueden utilizar los PHA's que otras bacterias productoras dejan al morir, o los desechos que provengan de otros productos de bioplásticos (Espín, 2007; Segura, *et. al.*, 2007).

En 1980, ICI Zeneca comercializó PHA's producido por fermentación bacteriana bajo el nombre comercial de Biopol®, mientras que el PHB y el copolímero poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV) son producidos por Monsanto y vendido bajo el nombre comercial de Biopol. Los poliésteres bacterianos originalmente fueron enfocados para poliofelinas con base de aceite para películas, botellas y contenedores plásticos.

En 1990 se manufacturaron con Biopol botellas para shampoo en Alemania por *Wella AG Darmstad*.

Los polímeros de PHBV son altamente cristalinos con características similares al polipropileno (PP), desarrollados y comercializados como candidato ideal para la sustitución de materiales poliméricos no biodegradables para aplicaciones comerciales.

Actualmente remplazar materiales a base de petróleo resulta difícil una por costo y la otra por la perspectiva de resistencia, no es necesario sustituir el 100% de materiales de base de petróleo inmediatamente, una solución viable es combinar las características y beneficios de los materiales a base de petróleo con los recursos naturales y producir materiales útiles teniendo el requisito de costo-resistencia (Mohanty, *et. al.*, 2005).

3.8 BIODegradABILIDAD.

La biodegradabilidad es el resultado de la degradación a partir de la susceptibilidad por acción de microorganismos, en la biodegradación aeróbica los microorganismos tales como bacterias y hongos consumen el material orgánico, convirtiendo el carbono en parte de biomasa celular y otra parte en CO₂ y el hidrógeno en moléculas de agua (www.epi-global.com).

La biodegradabilidad no es sólo una función de origen sino también de la estructura química del polímero y de las condiciones de degradación en el medio ambiente. El ácido poliláctico PLA y los polihidroxicanoatos son biopoliésteres con base de recursos naturales mientras que Policaprolactona PCL y poliésteres aromáticos alifáticos, son poliésteres biodegradables a base de petróleo, en cambio algunas resinas, bioresinas termoestables derivadas de biorecursos pueden ser no biodegradables. Los plásticos biodegradables a partir de poliésteres son principalmente usados en aplicaciones de embalaje (Mohanty, *et. al.*, 2005).

El presente trabajo seleccionó envases bioplásticos: vasos, platos, cucharas y cubiertos a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel, y oxo-biodegradables, teniendo las marcas, Biostandar, Tierra Natural, Jaguar y Dell. Productos biodegradables con fibras de celulosa de residuos agrícolas o plantas de ciclo de vida corta como, la caña de azúcar y maíz, en el cuadro 3 se muestra el tiempo y condición de degradación para dichos productos.

Cuadro 3. Tiempo y condiciones de degradación de productos biodegradables y oxo-biodegradables.

| Producto | Tiempo de degradación | Condiciones |
|----------------------------------|-----------------------|-------------|
| Plato, caña de azúcar | 90 días | Ambiente |
| Vaso, fécula de maíz, | 180 días | Composta |
| Bolsa, fécula de maíz | 180 días | Composta |
| Cubiertos, maíz y caña de azúcar | 180 días | Composta |
| Oxobiodegradable | 42 días a 2 años | Ambiente |

www.tierranatural.net

3.7.4 Polihidroxicanoatos (PHAs).

Los polihidroxicanoatos (PHAs) son polímeros naturales producidos por fermentación bacteriana, son poliésteres biodegradables (Mohanty, *et. al.*, 2005) conformados por unidades o monómeros de hidroxiácidos polimerizados en forma lineal (Weber, 2000). Los PHA's, son polímeros de poliésteres alifáticos lineales compuestos de monómeros de ácidos grasos 3-hidroxi y ácido poliláctico Fig. 15 (Khardenavis, *et. al.*, 2007).

Dichos polímeros son sintetizados en el cuerpo de la bacteria al alimentarse con glucosa (Mohanty *et. al.*, 2005), las bacterias producen los PHA's como una forma de reserva de nutrientes y energía que son capaces de degradarlos eventualmente para utilizarlos (Espín, 2007). Por lo tanto son una alternativa como biopolímeros para bioplásticos, por sus propiedades físicas semejantes a las de los plásticos derivados del petróleo y al ser obtenidos de recursos renovables.

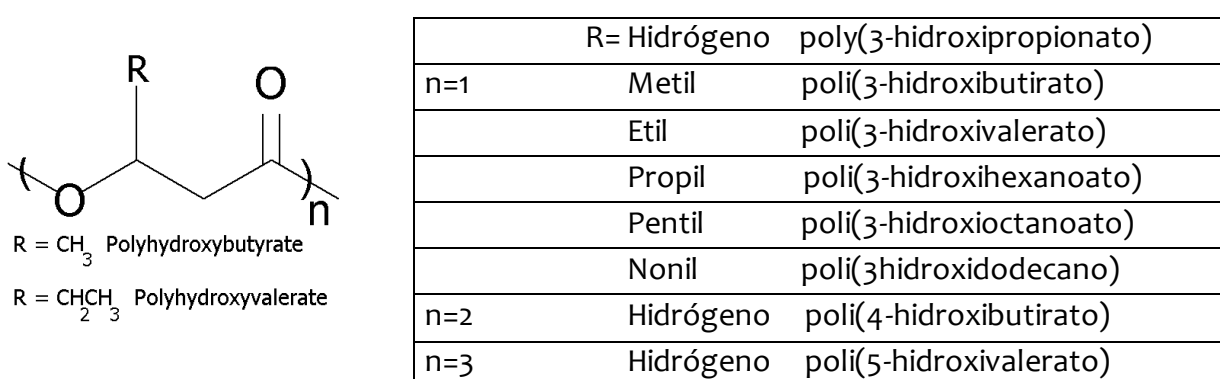


Fig. 15 Estructura química general de los polihidroxicanoatos (PHA) (Alfaro-Aranda, 2009).

El primer Polihidroxicanoato descubierto fue el Polihidroxiбутирато (PHB) cuando el microbiólogo Maurice Lemoigne en 1926 descubrió que el *Bacillus megaterium* producía un PHA denominado PHB (polihidroxiбутирато), aparentemente en respuesta a condiciones de estrés fisiológico. Se han reportado más de 300 especies productoras de PHA's. Estas bacterias las producen a partir de sustratos orgánicos, como: carbohidratos (glucosa, sacarosa), aceites, alcoholes, ácidos orgánicos, hidrocarburos y los acumulan en grandes cantidades dentro de la misma célula bacteriana en forma de gránulos (Mohanty, *et. al.*, 2005; Espín, 2007; Steinbüchel y Stolt, 2002).

Estos gránulos llegan a constituir hasta un 90% de la biomasa bacteriana, tratándose de un proceso análogo a la acumulación de grasa de reserva en animales. Las bacterias producen más PHA cuando

IV. JUSTIFICACIÓN

La persistencia de los materiales plásticos en el medio ambiente, la falta de sitios de disposición final de residuos, el agotamiento de los recursos del petróleo, que concierne sobre las emisiones durante la incineración, asimismo el entrapamiento e ingestión peligrosa de dichos materiales por parte de peces, aves y animales terrestres que son dañados por dichos materiales y la alteración en la calidad estética de las ciudades y bosques han llevado al desarrollo de plásticos biodegradables (Mohanty, *et. al.* 2005).

Además se ha demostrado que algunos monómeros utilizados en la fabricación de plásticos producen sustancias tóxicas para la salud humana, para el suelo, el agua y animales.

Por tanto la necesidad que ha surgido por introducir nuevos envases a partir de recursos renovables, a diferencia de los plásticos convencionales derivados del petróleo, es de suma importancia poner a prueba a los diferentes tipos de envases biodegradables en el tiempo de degradación programable tanto en suelo, agua y composta, con la finalidad de determinar, comparar y evaluar la biodegradación y velocidad de degradación.

V. OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar la biodegradación de productos a base de fécula de maíz, papa, fibra de caña de azúcar, papel así como bolsas oxo-biodegradables.

Objetivos particulares.

Estudiar y determinar el proceso de biodegradación de los bioenvases cuantificando el porcentaje de área biodegradada en suelo, composta y agua.

Determinar la velocidad de biodegradación de los envases elaborados a partir de fécula de maíz, papa, fibra de caña de azúcar, papel reciclado y oxo-biodegradables en suelo, composta y agua.

Comparar la velocidad de biodegradación en los tres tipos de suelo: ácido, neutro y alcalino; en composta y en agua, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas.

Proponer los valores de velocidad de degradación como indicadores del proceso de degradación.

VI. HIPÓTESIS

La biodegradabilidad de los bioplásticos está en función del origen, la estructura química y de las condiciones de degradación en el medio ambiente (temperatura, humedad, pH, número y tipo de microorganismos), someter dichos envases a diferentes condiciones afectará la velocidad de biodegradación, de acuerdo a los tratamientos que se han propuesto será mayor en: vermicomposta>suelo ácido>suelo neutro>suelo alcalino>agua.

VII. METODOLOGÍA

7.1 FASE DE CAMPO.

Degradación de bioplásticos en diferentes tipos de suelo.

Para la degradación en suelo se tomaron muestras simples de los siguientes lugares: Santo Tomás Ajusco (Longitud 99°12'47.052''O, latitud 19°12'26.259''N), Delegación Tlalpan, San Pedro Atocpan (longitud 99°02'55.037''O, latitud 19°12'09.611''), Delegación Milpa Alta y del Parque Cuitláhuac, Delegación Iztapalapa (longitud 99°02'00'' O, latitud 19°22'00'' N), se registró el pH real *in situ* con tiras reactivas, fueron envasados en bolsas de polietileno, rotulados y se trasladaron al Laboratorio de Contaminación Atmosférica, de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México para su pre-tratamiento y análisis.

7.2 FASE DE LABORATORIO.

Las muestras simples de suelo se secaron a temperatura ambiente para su uso como sustrato para el experimento. Los sustratos fueron clasificados de acuerdo al pH obtenido en campo como; Santo Tomás Ajusco, Delegación Tlalpan con pH ácido, San Pedro Atocpan, Delegación Milpa Alta con pH neutro y Parque Cuitláhuac, Delegación Iztapalapa con pH alcalino.

7.2.1 Material utilizado para el experimento de degradación de materiales en diferentes suelos.

Se seleccionaron envases biodegradables y no biodegradables a partir de una búsqueda de mercado, consiguiendo las siguientes marcas para productos biodegradables; Tierra Natural y Biostandar, y oxobiodegradables EPI, DOR y Falcón. Envases designados con un código de identificación con letra A ó B para los testigos no biodegradables y con número del 1 al 13 para bioplásticos y oxobiodegradables, en el Cuadro 4 se enlistan los códigos de identificación, envase y componente a trabajar:

Cuadro 4. Envases no biodegradables y biodegradables utilizados en experimento de degradación en suelo.

| Código de Identificación | Envase | Componente |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Testigo A | Vaso | Poliestireno "UNICEL" |
| Testigo B | Vaso | Polipropileno |
| 1 | Platos, Biostandar | Fécula de maíz |
| 2 | Cucharas, Biostandar | Fécula de maíz |
| 3 | Vaso transparente, Biostandar | PLA, fécula de maíz |
| 4 | Vaso, Biostandar | Fécula de maíz y papa |
| 5 | Platos, Tierra Natural | Caña de azúcar |
| 6 | Cucharas, Tierra Natural | Caña de azúcar |
| 7 | Platos, Jaguar | Papel |
| 8 | Bolsa, EPI | Oxo-biodegradable |
| 9 | Bolsa, DOR | Oxo-Biodegradable |
| 10 | Bolsa, Falcón | Oxo-biodegradable |
| 11 | Cartoncillo, DELL | Papel |
| 12 | Pluma | Biodegradable |
| 13 | Tapa de la pluma | Biodegradable |

De cada envase se tomaron muestras de 2x2 cm con área de 4 cm², se tuvo por triplicado, se registró el peso (g) en una balanza granataria E 909 OHAUS®, fueron sujetados con hilo nylon para una fácil manipulación (Fig. 16). Todos los materiales incluidos en el Cuadro 4 se usaron para cada uno de los experimentos; suelo ácido, suelo neutro y suelo alcalino.

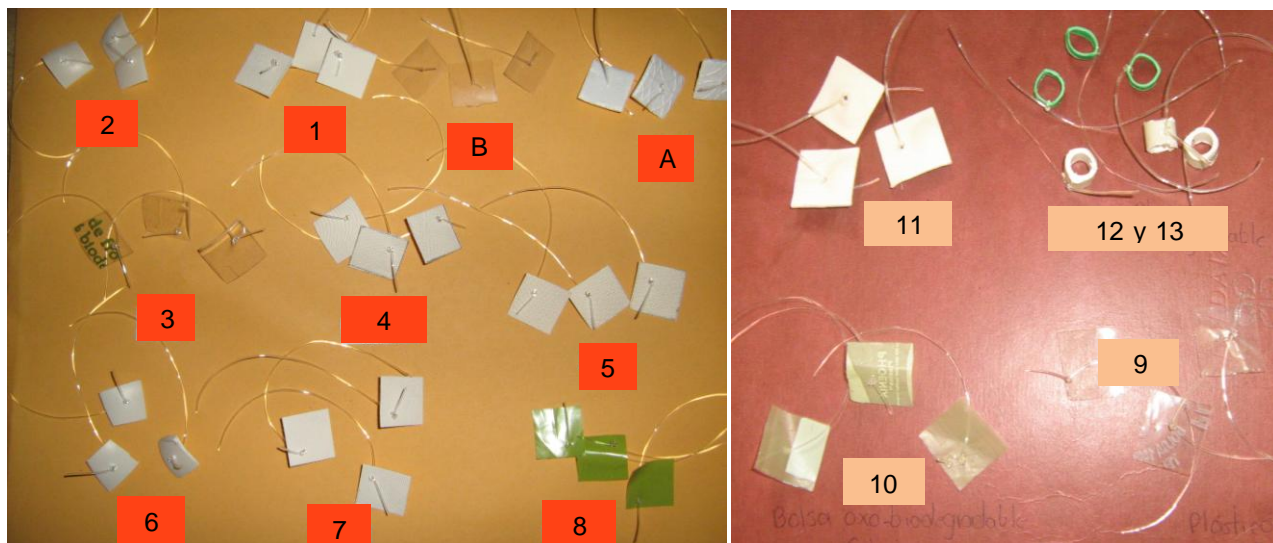


Fig. 16 Envases no biodegradables y biodegradables, cortado, pesado y sujetado con hilo nylon.

Para el experimento de degradación en suelo se emplearon 9 macetas transparentes para el experimento en suelo ácido, 9 macetas de color rojo para el experimento en suelo neutro y 9 macetas de color negro para el experimento en suelo alcalino, macetas de 8x10 cm de diámetro (Fig. 17), durante 180 días considerando el tiempo de degradación que indicaban algunos de los materiales que va de 6 semanas como mínimo hasta 6 meses. Las macetas fueron irrigadas con agua corriente 5 veces por semana a saturación.



Fig. 17 Macetas rotuladas: macetas transparentes del suelo ácido, macetas rojas del suelo neutro y macetas negras del suelo alcalino.

Los envases arreglados tal como en la Fig. 16, fueron enterrados en las macetas como se menciona anteriormente para cada tipo de suelo y se observa en el esquema de la Fig. 18. Enterrados a 3 cm debajo del nivel de las macetas respectivamente.

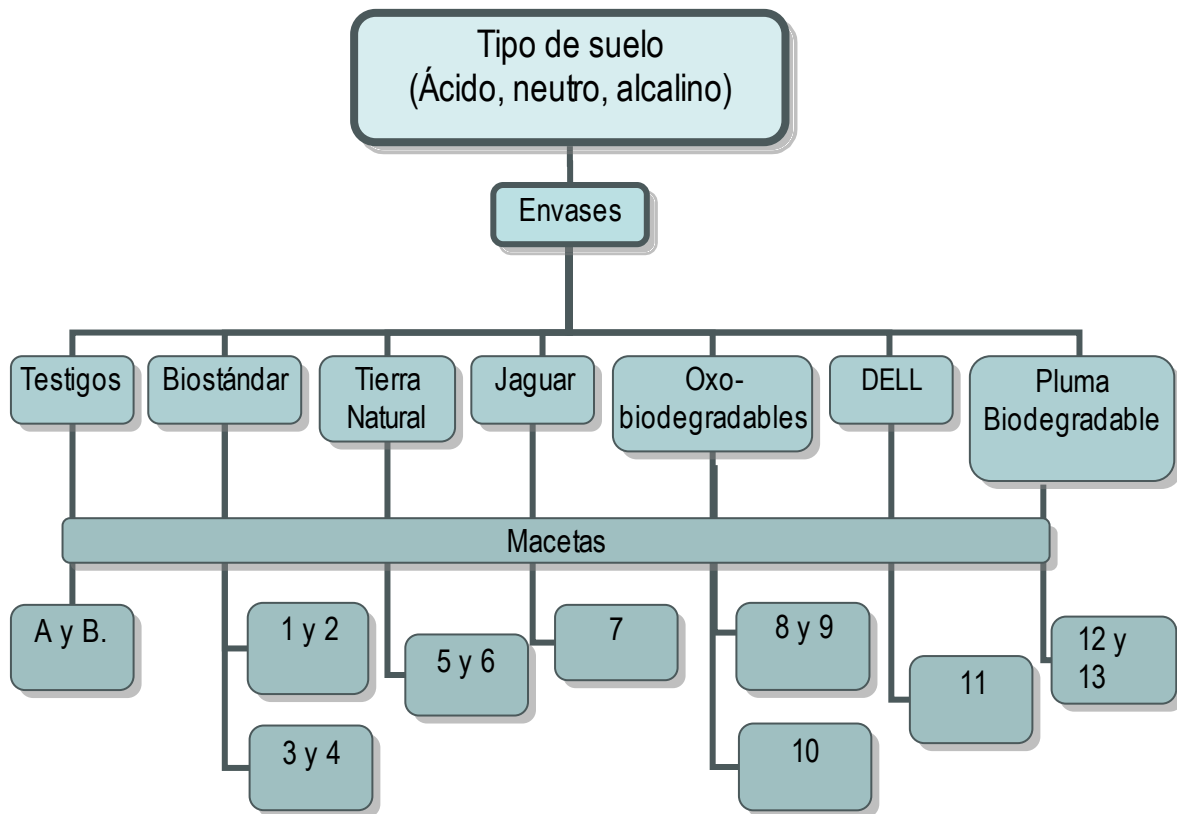


Fig. 18 Representación esquemática de experimento de degradación en suelo.

El seguimiento del proceso de degradación en suelo se hizo de la siguiente forma:

- Se realizaron cuatro exhumaciones de los envases cada 45 días para cada tipo de suelo.
- El seguimiento de la biodegradación se realizó con el Microscopio Digital Motic® DM 143, se observó el porcentaje de área biodegradada y en la cual se registró la imagen respectiva.
- Se midió con un Vernier Mauser INOX y se calculó el porcentaje de área biodegradada a partir de la reducción de perímetro.
- Los materiales fueron contrastados con los testigos respectivos.

7.2.2 Material utilizado para el experimento de degradación de materiales en composta.

Con la finalidad de evaluar la biodegradación se seleccionaron envases biodegradables y no biodegradables, obteniendo las siguientes marcas para productos biodegradables, Tierra Natural, Biostandar, y oxobiodegradables EPI, DOR y Falcón. Envases que se les designo con un código de identificación, con letras A, B, C y D para envases testigo y con número del 1 al 18 para bioplásticos y oxobiodegradables, en el Cuadro 5 se enlistan los códigos de identificación, envase y componente a trabajar:

Cuadro 5. Envases biodegradables y no biodegradables utilizados para el experimento de degradación en vermicomposta.

| Código de Identificación | Envase | Componente |
|--------------------------|--|--|
| Testigo A | Vaso | Poliestireno “UNICEL” |
| Testigo B | Cucharas | Polipropileno |
| Testigo C | Vaso | Polipropileno |
| Testigo D | Bolsa | Polietileno |
| 1 | Platos, Biostandar | Fécula de maíz |
| 2 | Vaso transparente, Biostandar | PLA, Fécula de maíz |
| 3 | Vaso, Biostandar | Fécula de maíz y papa |
| 4 | Platos, Tierra Natural | Caña de azúcar |
| 5 | Vaso transparente, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 6 | Vaso <i>ecotainer</i> , Tierra Natural | Interior de fécula de maíz y exterior de papel reciclado |
| 7 | Cucharas, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 8 | Bolsa, Tierra Natural | Oxobiodegradable |
| 9 | Tenedores y cucharas, Tierra N. | Caña de azúcar |
| 10 | Bolsa, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 11 | Platos, Jaguar | Papel |
| 12 | Bolsa, EPI | Oxo-biodegradable |
| 13 | Bolsa, Falcón | Oxo-biodegradable |
| 14 | Bolsa, DOR | Oxo-biodegradable |
| 15 | Bolsa reciclada, Inboplast | Polietileno |
| 16 | Cartoncillo, DELL | Papel |
| 17 | Pluma | Biodegradable |
| 18 | Tapa de la pluma | Biodegradable |

Se tomaron muestras de cada envase 3x3 cm para un área de 9 cm², se tuvo por triplicado, se registro el peso (g) en una balanza granataria E 909 OHAUS® y fueron sujetos con hilo nylon para una fácil manejo. Los envases contenidos en el Cuadro 5 se utilizaron para la degradación en vermicomposta, las cuales fueron tres, la primera adicionada con precomposta, la segunda con abono de conejo (conejaza) y la tercera con abono de borrego (borregaza).

Para el experimento se usaron bandejas plásticas de 25x32 cm, tres bandejas negras, tres bandejas blancas, tres tablas de madera de 24x30 cm, sustrato y lombriz roja californiana *Eisenia foetida*. En el siguiente esquema de la Fig. 19 se muestra el empleo del material para la degradación en vermicomposta de los envases.

1. Tabla de madera perforada con orificios que favoreció la aireación en el proceso de vermicomposteo.



2. Tabla de madera se acomodo a la mitad de la altura de la bandeja blanca.



3. Cama de periódico sobre madera que mantuvo una adecuada temperatura.

4. En la bandeja negra se coloco el sustrato, se enterraron los envases de acuerdo a la fig. 20 y se adicionaron 100 individuos de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*.



Eisenia foetida



5. La Bandeja negra se ajusto sobre la tabla dentro de la bandeja blanca, fueron rotuladas con número, número 1 para vermicomposta adicionada con precomposta, 2 suministrada con conejaza y 3 adicionada con borregaza.



Dos orificios hechos donde se recolecto el lixiviado producto de la degradación.

Fig. 19 Esquema de empleo de bandejas y tabla de madera para la elaboración del experimento de degradación vermicomposta.

El sustrato inicial para dicho experimento se elaboro a partir de residuos domésticos y abono de caballo en descomposición que sirvió de alimento para las lombrices y a las cuales se les alimento cada 20 días con precomposta (residuos orgánicos), conejaza y borregaza, pulverizada en proporción 3:1 con suelo, y regada con agua corriente constantemente para mantenerla húmeda.

Los envases fueron enterrados en el sustrato como se muestra a continuación en la Fig. 20 en cada tratamiento de degradación en composta.

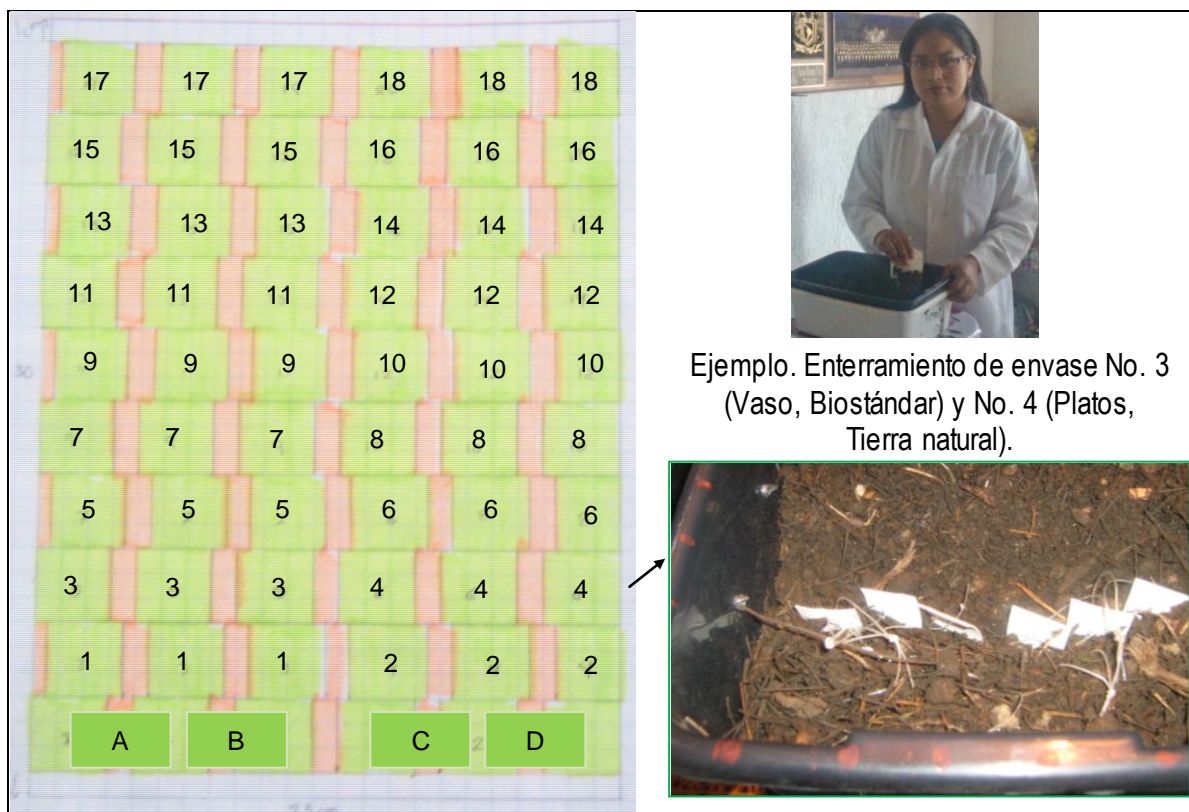


Fig. 20 Esquema de enterramiento de los envases dentro del sustrato.

El seguimiento del proceso de degradación en vermicomposta se ejecuto de la siguiente manera:

- Se realizaron cuatro exhumaciones de los envases cada 45 días.
- El seguimiento de la biodegradación se hizo con el Microscopio Digital Motic® DM 143, se observó el porcentaje de área biodegradada y se registró la imagen respectiva.
- Se midió con un Vernier Mauser INOX y se calculo el porcentaje de área biodegradada a partir de la disminución del perímetro.
- Los materiales fueron contrastados con los testigos respectivos.

7.2.3 Material utilizado para evaluar la degradación de los materiales en agua.

Se evaluó la degradación de los envases no biodegradables, biodegradables y oxo-biodegradables, envases que se encuentran en el Cuadro 6, designados con un código de identificación, con letras A, B, C y D para envases testigos no biodegradable y con número del 1 al 18 para bioplásticos y oxobiodegradables, en dicho cuadro también se muestra el tipo de envase y componente a trabajar.

Cuadro 6. Envases no biodegradables y biodegradables para experimento de degradación en agua.

| Código de Identificación | Envase | Componente |
|--------------------------|--|--|
| Testigo A | Vaso | Poliestireno “UNICEL” |
| Testigo B | Cucharas | Polipropileno |
| Testigo C | Vaso | Polipropileno |
| Testigo D | Bolsa | Polietileno |
| 1 | Platos, Biostandar | Fécula de maíz |
| 2 | Vaso transparente, Biostandar | PLA, Fécula de maíz |
| 3 | Vaso, Biostandar | Fécula de maíz y papa |
| 4 | Platos, Tierra Natural | Caña de azúcar |
| 5 | Vaso transparente, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 6 | Vaso <i>ecotainer</i> , Tierra Natural | Interior de fécula de maíz y exterior de papel reciclado |
| 7 | Cucharas, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 8 | Bolsa, Tierra Natural | Oxobiodegradable |
| 9 | Tenedores y cucharas, Tierra N. | Caña de azúcar |
| 10 | Bolsa, Tierra Natural | Fécula de maíz |
| 11 | Platos, Jaguar | Papel |
| 12 | Bolsa, EPI | Oxo-biodegradable |
| 13 | Bolsa, Falcón | Oxo-biodegradable |
| 14 | Bolsa, DOR | Oxo-biodegradable |
| 15 | Bolsa, Inboplast | Polietileno |
| 16 | Cartoncillo, DELL | Papel |
| 17 | Pluma | Biodegradable |
| 18 | Tapa de la pluma | Biodegradable |

De cada envase se tomo una muestra de 2x2 cm de lado para un área de 4 cm², se tuvo por triplicado, se registró el peso (g) en una balanza granataria E 909 OHAUS®.

Se utilizaron frascos de vidrio, un frasco para cada envase, mismos que fueron rotulados de acuerdo al código de identificación del Cuadro 6 y se les añadió agua corriente como se muestra en la Fig. 21. Biodegradación que se observó constantemente hasta un período de 180 días.



Fig. 21 Ejemplo, frasco No. 2 (Vaso transparente, Biostandar) inmerso en agua corriente, lado derecho.

Seguimiento de la degradación de los envases en agua:



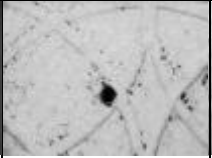

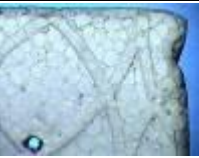
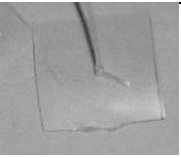

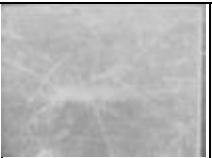










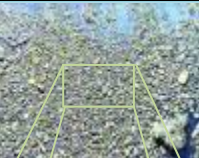

- Se observó constantemente el proceso de degradación en agua.
- Se realizó una exhumación al cumplirse los 180 días.
- Se observó el porcentaje de área biodegradada en el Microscopio Digital Motic® DM 143 y a través de cual se capturaron las respectivas imágenes de los envases.
- Se registró el porcentaje de área biodegradada con un Vernier Mauser INOX a través de la reducción del perímetro.



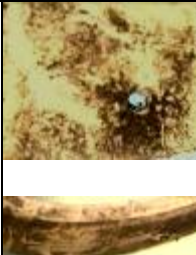
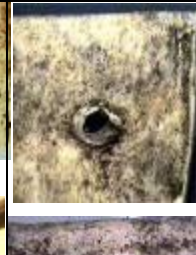
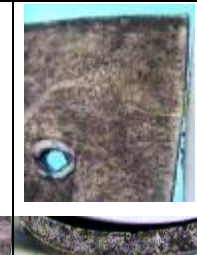







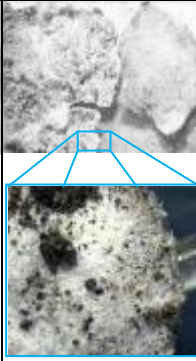

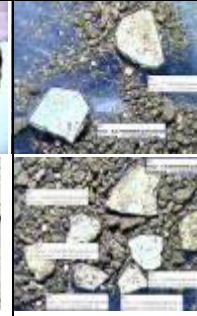
7.4 FASE DE GABINETE.




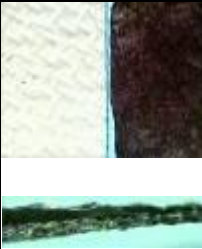






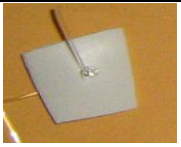









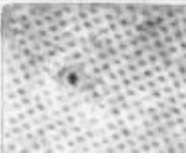







- Comparación del porcentaje de área de degradación de los envases empleados.
- Cálculo de la velocidad de degradación de envases a partir del área degradada para cada tratamiento.
- Comparación de la velocidad de degradación en suelo, composta y agua.




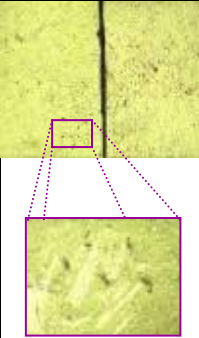
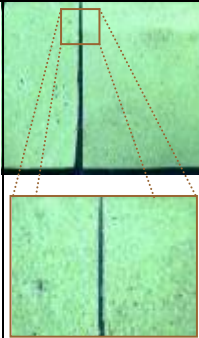









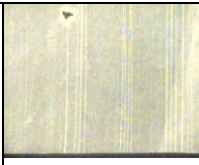




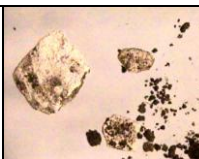
VIII. RESULTADOS













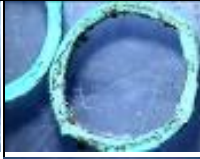



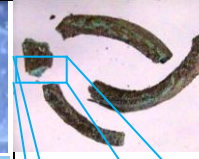
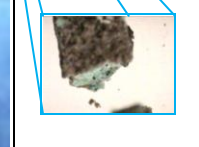
8.1 TRATAMIENTO, SUELO ÁCIDO.

| Materiales | Testigos sin tratamiento | EXHUMACIÓN | | | |
|--|---|---|---|--|--|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 22 Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Material intacto. | | | | |
| Fig. 23 Testigo B. Envase de Polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | El envase de PP no sufrió biodegradación durante y al final del tratamiento. Sólo apariencia opaca. | | | | |
| Fig. 24 Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz). |   Borde. |  |  Fragmentos.  Fibras.  Borde. |   |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 99.86% | 99.9% | 100% |
| | | Suelo adherido en superficie, inicio de biodegradación. | Quedan fragmentos donde se observan fibras y el borde grueso. | Sólo se presentan fragmentos de menor tamaño apenas apreciable. | Material completamente integrado al sustrato. BIODEGRADADO |
| | A partir de los 90 días se observa biodegradación del 99.86%. Se adhiere suelo sobre superficies y bordes, engrosándolos. El riego de agua constante sobre el sustrato hace que gradualmente se biodegrade el material. | | | | |


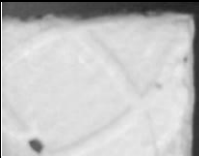

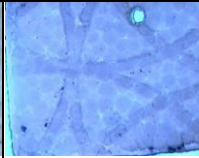
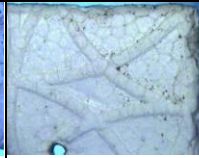




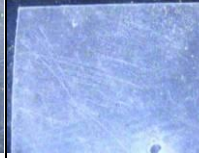

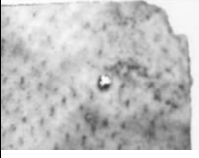
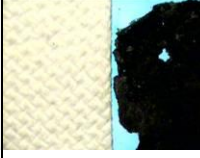

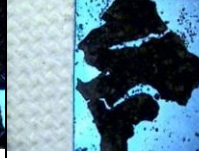



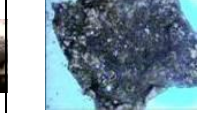
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|--|--|
| Fig. 25 Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz). |  |  |  Borde. |  Borde. |  Borde. |
| % Área degradada | Inicial | 0% Partículas de sustrato sobre superficie. | 0% Inicio de biodegradación, transformación en superficie parcialmente. | 0% Coloración naranja sobre superficie y borde parcialmente. | 0% Superficie del material corroído casi en su totalidad. |
| El producto no presentó cambio en el área, sin embargo la superficie sufrió transformación. | | | | | |
| Fig. 26 Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 27 Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa). |  |  |  Fibras. |  Fibras. |  Fragmentos. |
| % Área degradada | Inicial | 0% Suelo adherido a la superficie, inicio de biodegradación. | 85% Fragmentos de borde delgado, y mostrando fibras. | 95% Fragmentos más pequeños tanto de bordes gruesos y muy delgados. | 98% Integración casi por completo, fragmentos mucho más pequeños. |
| La biodegradación de este material fue notable a partir de los 90 días de tratamiento, incorporándose casi completamente hasta los 180 días con el 98% de área degradada quedando unos cuantos fragmentos muy pequeños. | | | | | |

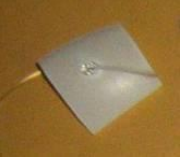

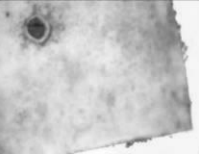










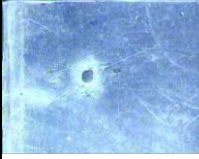


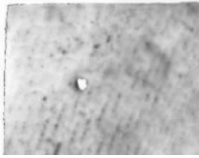
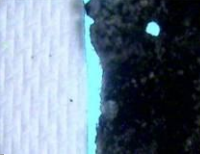

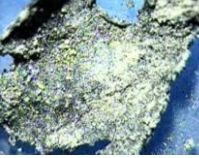


| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|---|--|---|---|
| Fig. 28 Material 5. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar). |  |  |  |  |  |
| |  Borde. | |  Borde. |  Borde. |  Fibras.  Borde. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Suelo adherido a superficie, inicio de biodegradación. | 10% Borde delgado. | 17% Borde más delgado comparado con el testigo. |
| | Material transformado en superficie y borde, con un porcentaje de área máximo de 17% | | | | |
| Fig. 29 Material 6. Tierra Natural. Cucharas (caña de azúcar). |  |  |  |  |  |
| |  Borde. | |  Borde. |  Borde. |  Borde. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Inicio de transformación en borde | 0% | 0% Superficie con transformación parcial. |
| | El producto presenta transformación parcial en superficie y borde, sin cambio en área ni borde. | | | | |
| Fig. 30 Material 7. Jaguar. Platos (papel). |  |  |  |  |  |
| |  Borde. | |  Borde. |  Borde. |  Bordes. |
| % Área degradada | Inicial | 0% Inicio de biodegradación sobre superficie. | 10% Material transformado en superficie y borde. | 30% Borde grueso por partículas de suelo y muy delgado sin éstas. | 37% Borde delgado comparado con testigo, fragmentación del material. |
| | La reducción del área máxima fue del 37% a los 180 días. | | | | |

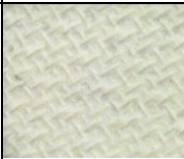

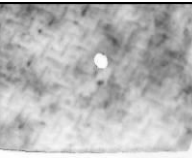
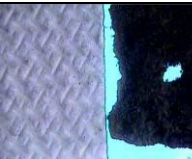



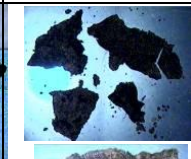


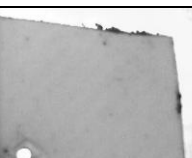


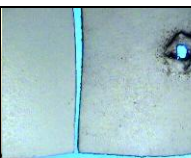



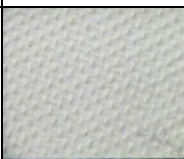
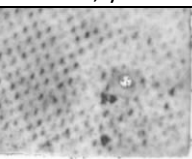
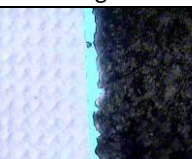

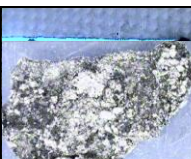
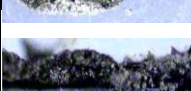
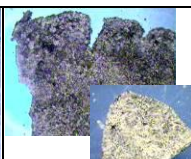
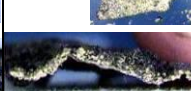
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|--|---|---|
| Fig. 31 Material 8. Bolsa oxo- biodegradable EPI |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% (Lado derecho, testigo) | 0% Testigo muestra una capa serosa fácil de remover. | 0% Frágil fragmentación al manejo. |
| Material intacto, fragmentación frágil al manejo. | | | | | |
| Fig. 32 Material 9. Bolsa oxo- biodegradable DOR |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 33 Material 10. Bolsa oxo- biodegradable Falcón |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Lado derecho, testigo | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 34 Material 11. DELL (cartoncillo). |  |  |  |  |  |
| | | Bordes. | Bordes. | Bordes. | |
| % Área degradada | Inicial | 0% Superficie y borde transformado. | 25% Continúa transformación. | 50% Borde delgado comparado con testigo y algunos fragmentos. | 99.5% |
| El producto redujo en área máxima del 99.5% a los 180 días de tratamiento, quedando sólo unos fragmentos. | | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|---|---|
| Fig. 35 Material 12. Pluma biodegradable y compostable. |  |   |   |   |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% Biodegradación inicial en superficie y borde. | 0% Transformación en superficie y borde. | 0% Mayor transformación, el grosor ha disminuido. | 0% |
| | Sin cambio en el área, sin embargo, durante y después del tratamiento hubo transformación en la superficie y borde, además de una reducción del grosor de 0.19mm a $0.17\pm 0.01\text{mm}$. | | | | |
| Fig. 36 Material 13. Tapa de la pluma biodegradable y compostable. |  |   |   |   |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% Sin alteración en la estructura. | 0% Fragmentación del material durante el manejo del 20%. | 17% Fragmentación quebradiza del 60% del producto, pero sin sufrir biodegradación. | 70% Quedan sólo fragmentos. |
| | Al final del tratamiento el producto perdió el 70% del área por fragmentación laminar del mismo. | | | | |


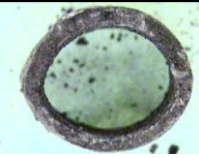

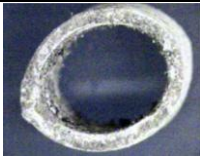

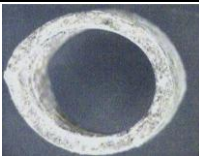
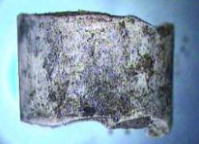



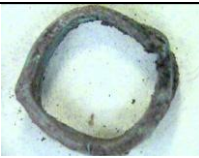

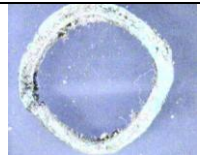
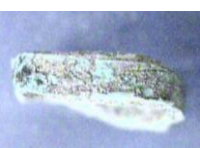
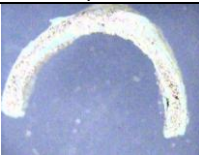

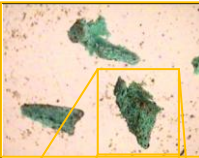

8.2 TRATAMIENTO, SUELO NEUTRO.

| Materiales | Testigos sin tratamiento | EXHUMACIÓN | | | |
|---|---|--|--|---|---|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 37 Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Sin cambio en la estructura. | | | | | |
| Fig. 38 Testigo B. Envase de Polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 39 Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz). |  |  |  |  |  |
| |  | |  |  |  |
| | Borde. | | Borde. | Bordes. | Bordes. |
| % Área degradada | Inicial | 0.5 % Inicio de biodegradación, coloración naranja en ciertas zonas de la superficie. | 30% Borde grueso. | 55% Borde sin suelo y muy delgado, comparado con testigo. | 60% Material poco fragmentado. Superficies y bordes gruesos. |
| Material con una reducción de perímetro del 60% como máximo a los 180 días, borde grueso al final del tratamiento, y material poco fragmentado. | | | | | |



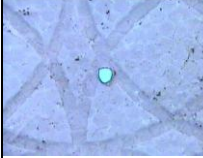



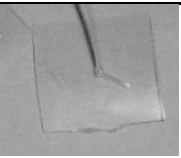

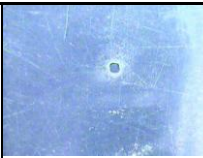
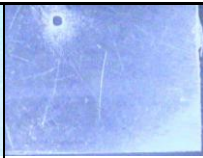
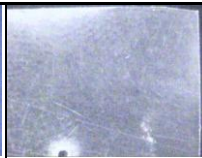


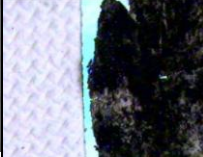

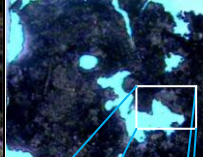


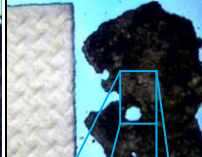


| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|--|---|--|--|--|
| Fig. 40 Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz). |   Borde. |  |   Borde. |   Borde. |   Borde. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Biodegradación parcial en superficie y borde, coloración naranja sobre ciertas partes de la misma. | 0% Mayor superficie y borde transformada. | 0% |
| El producto sufrió transformación en superficie y borde, durante y al final del tratamiento, pero sin reducción de área. | | | | | |
| Fig. 41 Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| El material no presento cambios en área. | | | | | |
| Fig. 42 Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa). |   Borde. |  |   Borde. |   Borde. |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Inicio de biodegradación en superficie | 25% Superficie y borde transformado. Borde grueso. | 55% Borde delgado, comparado con testigo. | 85% Material fragmentado. |
| La reducción de área alcanzada fue del 85% a los 180 días y fragmentado. | | | | | |




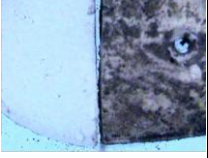
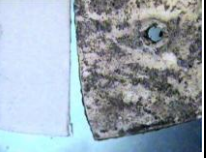


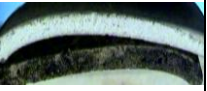
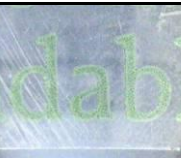
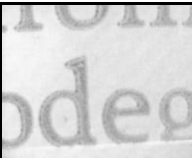




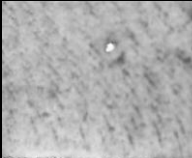


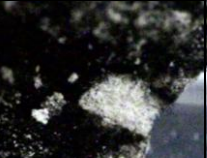




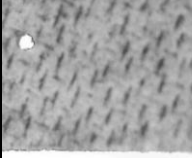

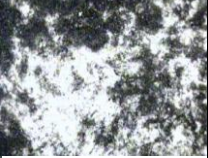
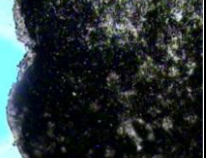
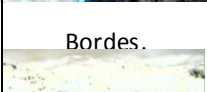
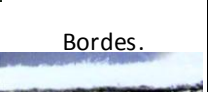

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|--|---|---|---|---|
| <p>Fig. 43</p> <p>Material 5. Tierra Natural.</p> <p>Platos (caña de azúcar).</p> |   <p>Borde.</p> |  |   <p>Borde.</p> |   <p>Bordes.</p> |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 28% | 50% | 82% |
| | | Superficie en inicio de transformación | | Borde delgado, comparado con testigo. | Fragmentos, borde delgado, comparado con testigo. |
| La biodegradación del material como máximo en reducción de área del 82% a los 180 días. | | | | | |
| <p>Fig. 44</p> <p>Material 6. Tierra Natural.</p> <p>Cucharas (caña de azúcar).</p> |  |  |   <p>Bordes.</p> |   <p>Bordes.</p> |   <p>Bordes.</p> |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | | | Inicio de transformación en borde. | Transformación parcial en borde e inicio sobre superficie, disminuye el grosor. |
| Sin cambio en perímetro, biodegradación parcial en borde e inicio en superficie al final del tratamiento, y disminución de grosor de 0.18mm a 0.16±0.01mm. | | | | | |
| <p>Fig. 45</p> <p>Material 7. Jaguar.</p> <p>Platos (papel).</p> |  |  |   <p>Bordes.</p> |   <p>Bordes.</p> |   <p>Bordes.</p> |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 30% | 41% | 53% |
| | | Inicio de biodegradación sobre superficie. | Borde delgado, comparado con testigo. | Borde delgado. | |
| La reducción de área como máximo de 53% a los 180 días. | | | | | |




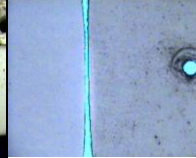
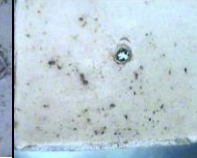




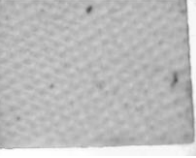

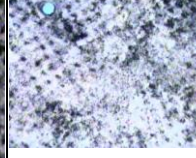

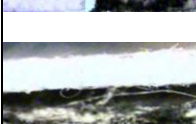

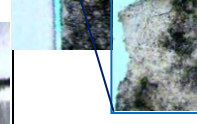


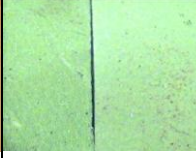
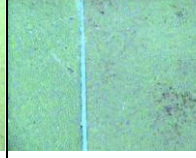
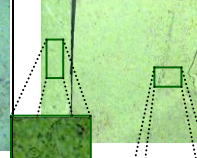
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|-----------------|---------------------|---|-------------------------|---|
| Fig. 46 Material 8. Bolsa oxo-biodegradable EPI | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Lado derecho, testigo. | 0% | 0% Fácil fragmentación al manejo. En testigo se observan fibras. |
| Sin alteración en la estructura. Pero en superficie del testigo expuesto al ambiente se observan fibras. | | | | | |
| Fig. 47 Material 9. Bolsa oxo-biodegradable DOR | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Sin cambio en la estructura. | | | | | |
| Fig. 48 Material 10. Bolsa oxo-biodegradable Falcón | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 49 Material 11. DELL (cartoncillo). | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 8% Borde grueso. | 37.5% Se observan fibras en la superficie. Borde delgado. | 41.7% Borde delgado. | 100% Biodegradado. |
| Material biodegradado por completo a los 180 días. | | | | | |






| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|--|---|---|---|---|
| Fig. 50 Material 12. Pluma biodegradable y compostable. |  |   |   |   |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Biodegradación inicial en borde y superficie. | 0% Trasformación parcial en borde e interior del producto. | 0% |
| Superficie y borde transformado pero sin cambio en área, el grosor inicial es de 0.16mm y final de 0.19mm debido al sustrato en superficie. | | | | | |
| Fig. 51 Material 13. Tapa de pluma biodegradable y compostable. |  |   |   |   |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Fragmentación quebradiza del 60% del producto durante el manejo. | 70% Producto totalmente fragmentado, pero sin cambio en la estructura por biodegradación. | 99% Quedan sólo fragmentos. |
| El material fue fragmentándose de manera laminar y gradual, con pérdida del mismo del 70% a partir de los 135 días y siendo del 99% a los 180 días. | | | | | |


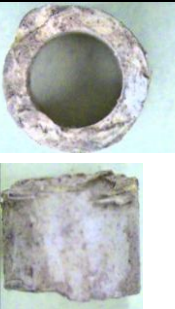
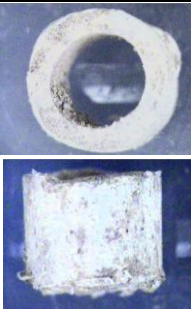
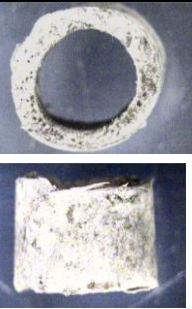



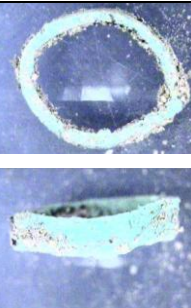


8.3 TRATAMIENTO, SUELO BÁSICO.

| Materiales | Testigos sin tratamiento | EXHUMACIÓN | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 52 Testigo A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |   |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0%. | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 53 Testigo B. Envase de Polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 54 Material 1. Biostandar. Platos (Fécula de maíz). |  |  |   |    |    |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 10% | 19% | 20% |
| | | Suelo adherido en superficie. | | Material fragmentado. | Borde grueso. Se muestran fibras de la superficie. |
| El material presento un porcentaje de reducción de área máximo del 20% a los 180 días. | | | | | |

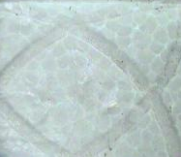
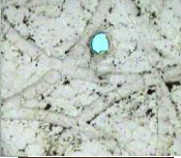
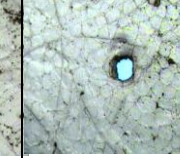
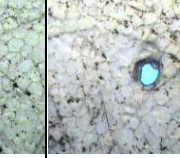











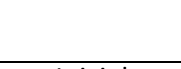






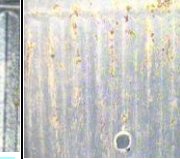
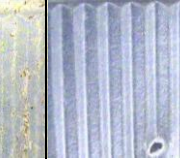
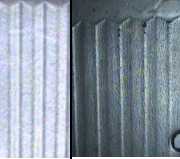
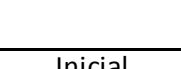
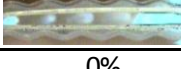
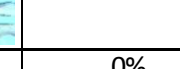




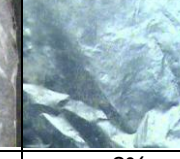
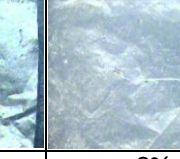
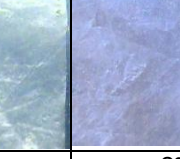
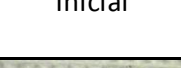
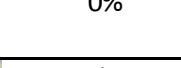
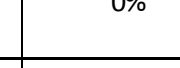
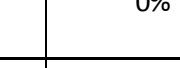
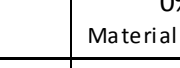





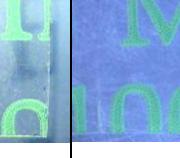


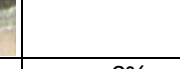


| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|---|--|---|---|
| Fig. 55 Material 2. Biostandar. Cucharas (Fécula de maíz). |  |  |  |  |  |
| | | |  |  |  |
| | | | Bordes. | Bordes. | Bordes. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Superficie y borde parcialmente transformada. | 0% Mayor superficie transformada. | 0% |
| La superficie y borde sufrieron transformación pero sin reducción en área. | | | | | |
| Fig. 56 Material 3. Biostandar. Vaso transparente (PLA). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada. | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Sin cambio en la estructura. | | | | | |
| Fig. 57 Material 4. Biostandar. Vaso (fécula de maíz y papa). |  |  |  |  |  |
| | | |  |  |  |
| | | | Bordes. | Bordes. | Bordes. |
| % Área degradada. | Inicial | 0% Suelo adherido a la superficie. | 7% Borde grueso. | 13% | 25% En superficie se observó algunas fibras. |
| La biodegradación fue menor del 25% al final del tratamiento. | | | | | |
| Fig. 58 Material 5. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar). |  |  |  |  |  |
| | | |  |  |  |
| | | | Bordes. | Bordes. | |
| % Área degradada. | Inicial | 0% Suelo adherido superficie. | 5% | 12.5% Borde grueso. | 14.3% Borde grueso. |
| La biodegradación es mucho más lenta, con reducción de área del 14.3 % a los 180 días. | | | | | |




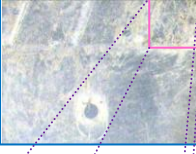




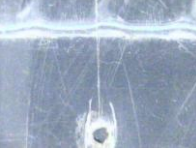


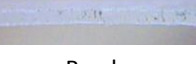

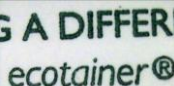









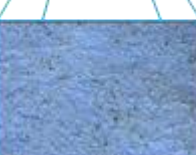
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|---|--|---|---|
| Fig. 59 Material 6. Tierra Natural. Cucharas (caña de azúcar). |  |  |  |  |  |
| | | |  |  |  |
| | | | Bordes. | Bordes. | Bordes. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Inicio de biodegradación en borde. | 0% Disminución del grosor. | 0% Disminución del grosor. |
| El material no sufrió cambio en reducción de área, pero sí reducción de grosor a los 135 días de 0.17mm a 0.16mm y de 0.16mm a 0.15mm a los 180 días en borde. | | | | | |
| Fig. 60 Material 7. Jaguar. Platos (papel). |  |  |  |  |  |
| | | |  |  |  |
| | | | Bordes. | Bordes. | Bordes. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Inicio de biodegradación. | 1.2% Borde delgado | 2.7% Borde delgado, se muestran algunas fibras. |
| El producto no presentó daño significativo durante y después del tratamiento, con una reducción del área como máximo del 2.7% a los 180 días. | | | | | |
| Fig. 61 Material 8. Bolsa oxo-biodegradable EPI |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% Lado derecho, testigo | 0% Fácil fragmentación durante el manejo. | 0% Fragmentación del material en menor proporción. |
| Sin reducción de área, sólo fácil fragmentación al manejo. | | | | | |




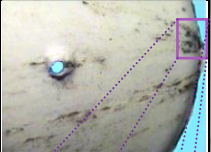

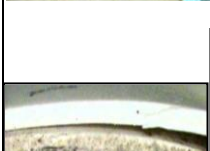
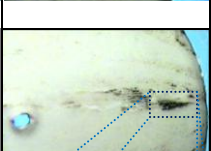
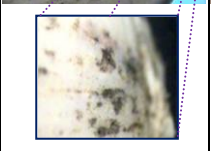

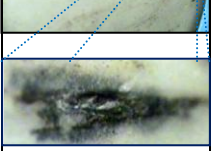


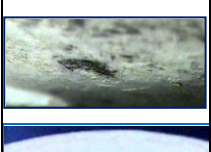
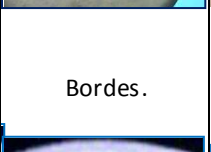
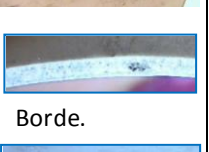
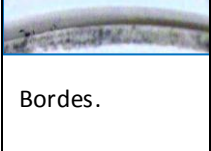
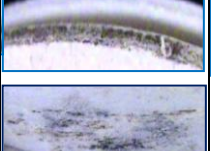
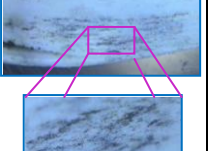



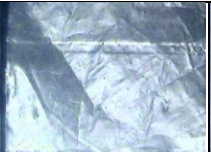

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|--|--|--|--|
| Fig. 62 Material 9. Bolsa oxo- biodegradable DOR |  |  |  |   |  |
| % Área degradada. | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 63 Material 10. Bolsa oxo- biodegradable Falcón |  |  |  |   |   |
| % Área degradada. | Inicial | 0% Lado derecho, testigo | 0% Despigmentación en leyenda | 0% | 0% |
| Sin reducción de área. | | | | | |
| Fig. 64 Material 11. DELL (cartoncillo). |  |   |   |   |   |
| % Área degradada. | Inicial | 2% coloración naranja sobre superficie. | 10% Suelo fino negro sobre superficie. | 21% Borde grueso. | 32.4% |
| Reducción de área máxima del 32.4% a los 180 días. | | | | | |




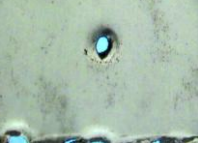











| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|--|---|--|--|
| Fig. 65 Material 12. Pluma biodegradable y compostable. |  |  |  |  |  |
| % Área degradada. | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Sin alteración en área pero transformación parcial sobre superficie. | | | | | |
| Fig. 66 Material 13. Tapa de la pluma biodegradable y compostable. |  |  |  |  |  |
| % Área degradada. | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0%. |
| Sin alteración en la estructura. | | | | | |


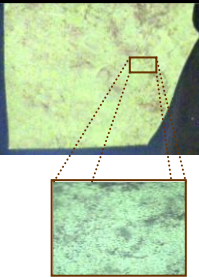
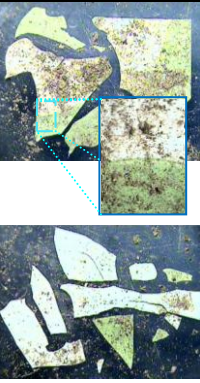
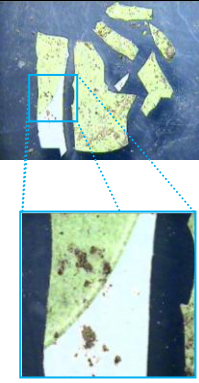






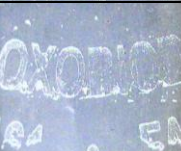


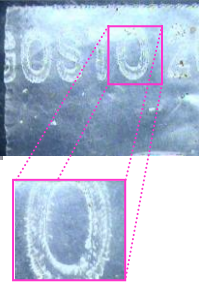







8.4 TRATAMIENTO, COMPOSTA 1 TESTIGO.






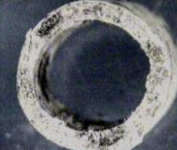
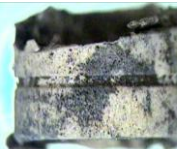
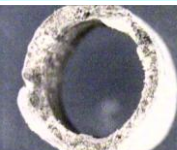

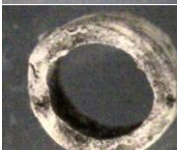








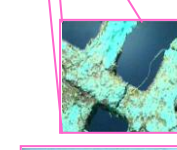




| Materiales | Testigos sin tratamiento | EXHUMACIÓN | | | |
|--|---|---|---|--|---|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 67 Testigos A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| B. Cucharas de plástico. |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | Material intacto. | | | |
| Fig. 68 Testigos C. Envase de polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| D. Bolsa de poli papel. |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | Material intacto. | | | |
| Fig. 69 Material 1. Biostandar, Platos (Fécula de maíz). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 70 Material 2. Biostandar, Vaso transparente (PLA). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | Material intacto. | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|--|--|
| Fig. 71 Material 3. Biostandar, Vaso (fécula de maíz y papa). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 72 Material 4. Tierra Natural, Platos (caña de azúcar). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 73 Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz). |  |    Bordes. |   |   Borde. |   Borde. |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 74 Material 6. Tierra Natural. Vaso <i>Ecotainer</i> formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado. |  Película interior. ↑  Capa exterior. ↓  | Capa interior.   Borde.  Fibras de la capa exterior de papel reciclado. | Capa interior. Fibras.   |   |   |


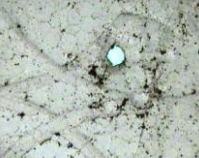
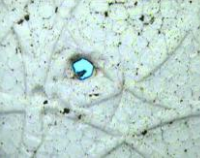










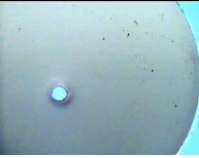



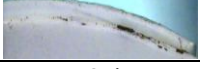




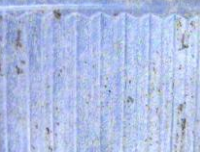


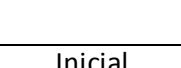

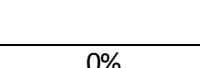





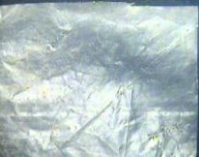

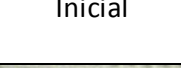
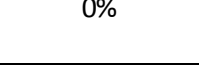
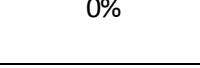
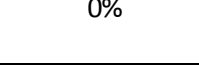
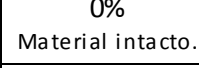









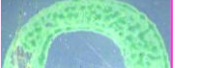

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|--|---|---|--|
| % Área degradada | Película interna de fécula de maíz | 0% Fragmentado. | 1% Se observan fibras. | 4.44% Mayormente fragmentado. | 59.5% Sólo cuatro fragmentos restantes |
| | Capa externa de papel | 82.12 % Se observan algunas fibras y borde. | 100% Biodegradada | | |
| La capa interior de fécula de maíz biodegradada en 59.5% a los 180 días y capa exterior de papel transformada al 100 % a los 90 días. | | | | | |
| Fig. 75 Material 7. Tierra Natural. Cucharas (Fécula de maíz). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  | |
| | |  |  |  | |
| | |  |  |  | |
| | |  |  |  | |
| | | | Bordes. | Borde. | |
| | | | Bordes. | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% Inicio de transformación parcial en superficie y borde. | 0% Transformación en superficie del producto, se observan algunas fibras. | 0% Mayor superficie transformada. | 0% Sólo biodegradación parcial sobre superficie y borde, se distinguen algunas fibras. |
| No hay reducción de área pero si transformación parcial en superficies. | | | | | |
| Fig. 76 Material 8. Tierra Natural. Bolsa oxo-biodegradable |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |





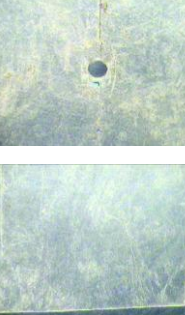
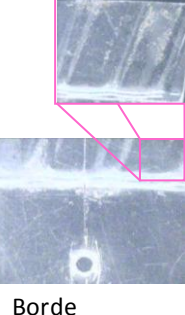


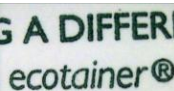

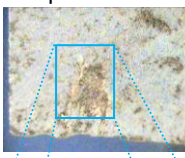


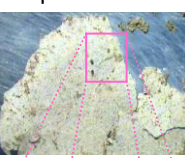


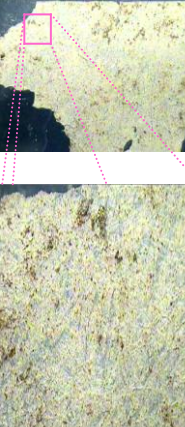
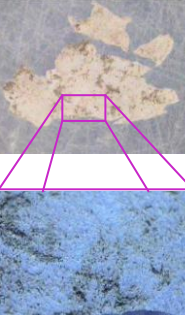
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|--|---|---|---|
| <p>Fig. 77</p> <p>Material 9. Tierra Natural.</p> <p>Tenedores y cucharas (caña de azúcar).</p> |  |  <p>Bordes.</p>  |   <p>Bordes.</p> |  <p>Borde.</p>  |   <p>Borde.</p> |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0%</p> <p>Transformación inicial sobre borde.</p> | <p>0%</p> <p>Se muestra una mayor superficie transformada.</p> | <p>0%</p> <p>Sin mayor transformación.</p> | <p>0%</p> |
| <p>Sin cambio en el área, transformación parcial en superficie.</p> | | | | | |
| <p>Fig. 78</p> <p>Material 10. Tierra Natural.</p> <p>Bolsa 100% biodegradable</p> |  |  |  |  |  |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> |
| <p>Material intacto.</p> | | | | | |
| <p>Fig. 79</p> <p>Material 11. Jaguar. Platos (papel).</p> |  | <p>Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO</p> | | | |


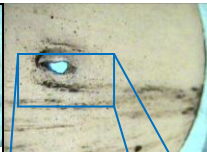
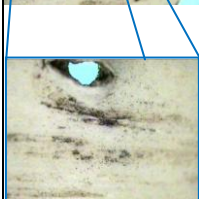

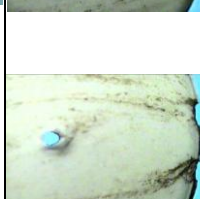
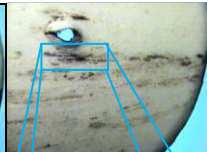
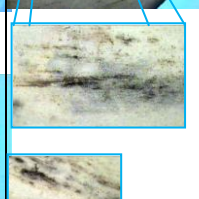
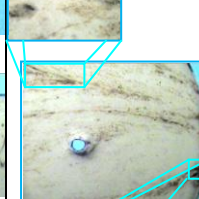

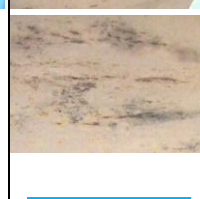
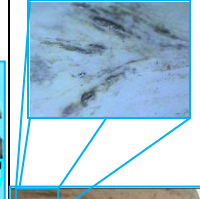


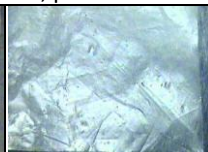
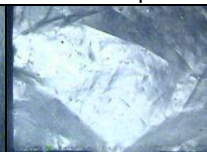
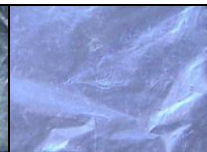
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|--|---|---|
| Fig. 80 Material 12. Bolsa oxo- biodegradable EPI |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Durante el manejo existe fácil fragmentación del producto. | 0% Producto fragmentado totalmente, despigmentado. | 0% | 88% Material fragmentado perdido en la composta y despigmentado. |
| Fácil fragmentación al manipular el material, hay pérdida del mismo del 88% a los 180 días. | | | | | |
| Fig. 81 Material 13. Bolsa oxo- biodegradable Falcón |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Sin cambio en el área pero despigmentado al final del tratamiento. | | | | | |
| Fig. 82 Material 14. Bolsa oxo- biodegradable DOR |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 83 Material 15. Inboplast, bolsa reciclada. |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto |
| Fig. 84 Material 16. DELL (cartoncillo reciclable). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |




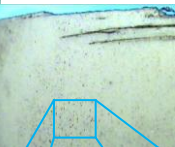

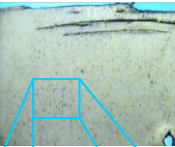
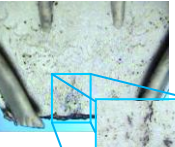
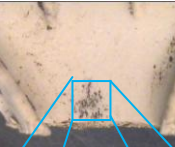








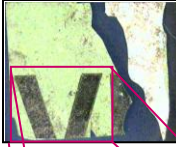
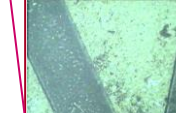
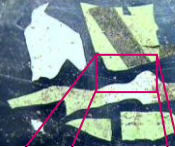

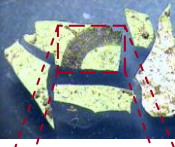


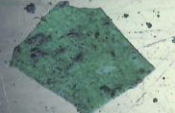
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|---|---|
| <p>Fig. 85</p> <p>Material 17. Pluma biodegradable y compostable.</p> |   |   |   |   |   |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0% Biodegradación inicial en superficie y borde.</p> | <p>0% Transformación sobre superficie donde se puede apreciar como la zona oscura apreciable en la imagen superior.</p> | <p>0% Sin más transformación.</p> | <p>0%</p> |
| <p>Se midió altura, diámetro externo e interno y grosor, y no fueron afectadas. Pero la superficie se ve transformada al igual que borde a los 90 días.</p> | | | | | |
| <p>Fig. 86</p> <p>Material 18. Tapa de la pluma biodegradable y compostable.</p> |   |   |    |    |    |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0% Sin alteración en la estructura.</p> | <p>0% Fragmentación quebradiza del 60% del producto durante el tratamiento y al manejo.</p> | <p>30% Sólo mayor fragmentación del producto en partes más pequeñas.</p> | <p>72% Pérdida por fragmentación laminar del material.</p> |
| <p>Se midió: altura, diámetro externo e interno y grosor, y se vieron afectados a los 90 días ya que 60% sufrió fragmentación laminar misma que fue aumentando a los 135 días en partes mucho más pequeñas, llegando a perderse el 72% del producto a los 180 días.</p> | | | | | |

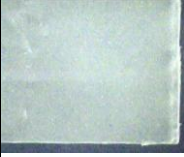










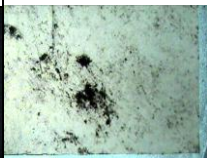






8.5 TRATAMIENTO, COMPOSTA 2 CONEJAZA.


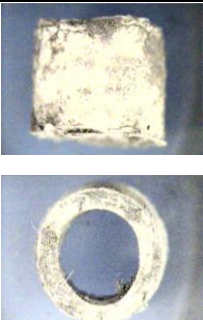
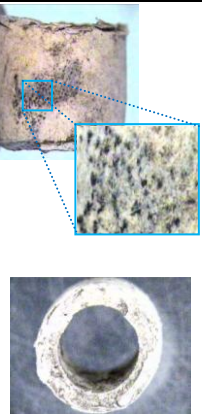
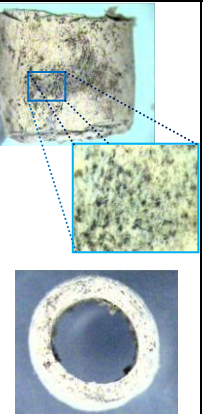
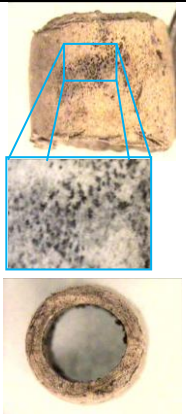
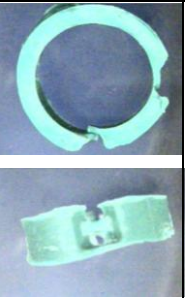

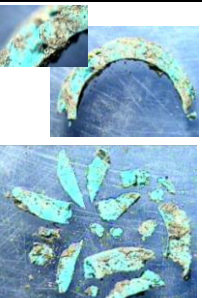
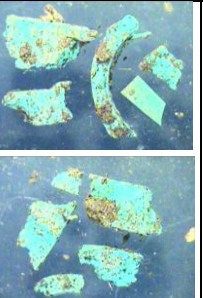

| Materiales | Testigos sin tratamiento | EXHUMACIÓN | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 87 Testigos A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| B. Cucharas de plástico. |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 88 C. Envase de polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| D. Bolsa de poli papel. |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 89 Material 1. Biostandar, Platos (Fécula de maíz). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 90 Material 2. Biostandar, Vaso transparente (PLA) |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Despigmentación en leyenda a partir de los 135 días pero si reducción de área. | | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|--|---|--|---|---|
| Fig. 91 Material 3. Biostandar, Vaso (fécula de maíz y papa). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 92 Material 4. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar). |  | Producto integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 93 Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz). |  |  |  |  Borde |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 94 Material 6. Tierra Natural. Vaso <i>Ecotainer</i> formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado. |  Capa interior. ↑  Capa exterior ↓  | Capa exterior   Bordes.  | Capa interior.   Fragmentos.  |  |  |



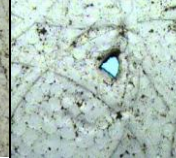
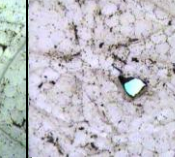
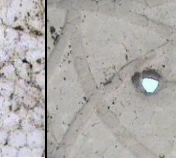






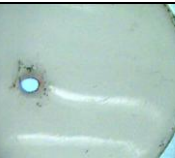
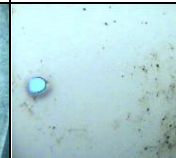
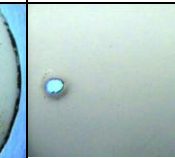
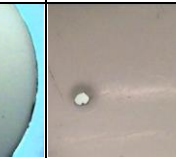
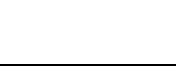


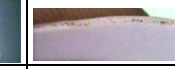




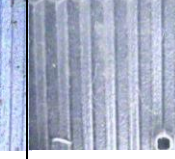

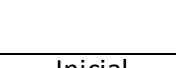

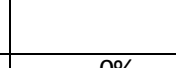



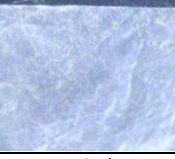
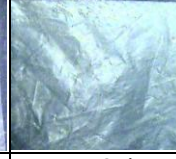
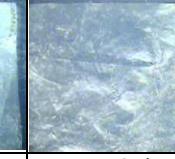
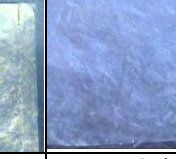





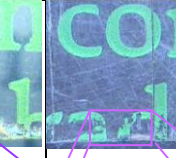




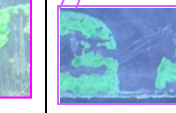
| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|---|--|--|--|
| % Área degradada | Película interna de fécula de maíz | 5% | 17% se aprecian fibras y transformación en la superficie (manchas oscuras). | 43.3% Se observan fibras. | 81.3% |
| | Capa externa de papel | 100% Biodegradada Se observan fibras restantes. | La capa interior de fécula de maíz transformada 81.3% a los 180 días y capa exterior de papel transformada al 100% a los 45 días. | | |
| Fig. 95 Material 7. Tierra Natural. Cucharas (Fécula de maíz). |  |   Bordes. |   Bordes. |    |    |
| % Área degradada | Inicial | 0% Transformación inicial en superficie y borde. | 0% Mayor transformación en superficies y bordes. | 0% Continúa transformación en superficie y borde. | 0% Transformación superficial pudiéndose observar fibras. |
| Sin reducción del área, pero transformación en superficies. | | | | | |
| Fig. 96 Material 8. Tierra Natural. Bolsa oxo-biodegradable |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |


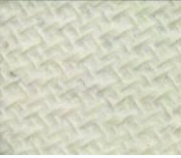


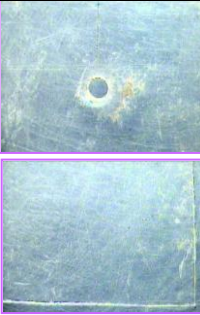
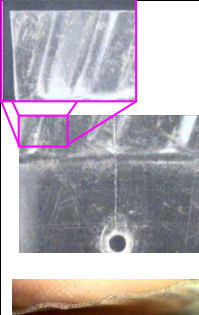


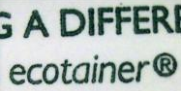








| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|--|--|
| <p>Fig. 97</p> <p>Material 9. Tierra Natural.</p> <p>Tenedores y cucharas (caña de azúcar).</p> |  |   Bordes. |   Bordes. |   Borde. |   Borde. |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0%</p> | <p>0% Transformación parcial en superficies.</p> | <p>0% Continúa transformación en superficie y borde.</p> | <p>0% Sólo transformación parcial en superficie y borde.</p> |
| Sin alteración en el área. | | | | | |
| <p>Fig. 98</p> <p>Material 10. Tierra Natural.</p> <p>Bolsa 100% biodegradable</p> |  |  |  |  |  |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0% Material intacto</p> |
| <p>Fig. 99</p> <p>Material 11. Jaguar. Platos (papel).</p> |  | <p>Integrado totalmente a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO</p> | | | |
| <p>Fig. 100</p> <p>Material 12. Bolsa oxo-biodegradable EPI</p> |  |   |   |   |   |

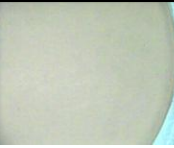

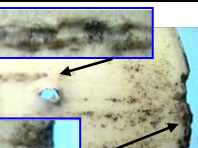
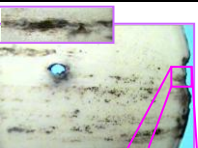


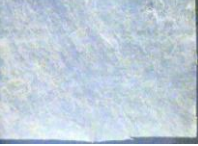
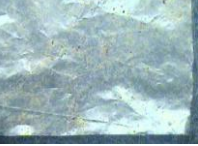
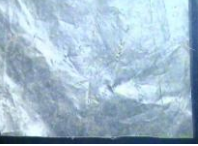






| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días | |
|---|--|---|--|---|---|--|
| % Área degradada | Inicial | 0% Frágil fragmetación al manejo. | 0% Totalmente fragmentado, despigmentado puntualmente. | 0% Despigmentado. | 96.4% El material ha fragmentado, se ha perdido en la composta | |
| | Presento frágil fragmetación al manejo durante el experimento llegando a perderse el 96.4% del material en la composta a los 180 días. | | | | | |
| Fig. 101 Material 13. Bolsa oxo- biodegradable Falcón |  |  |  |  |  | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% | |
| Material sin cambio en el área, despigmentado a los 180 días. | | | | | | |
| Fig. 102 Material 14. Bolsa oxo- biodegradable DOR |  |  |  |  |  | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto | |
| Fig. 103 Material 15. Inboplast, bolsa reciclable. |  |  |  |  |  | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto | |
| Fig. 104 Material 16. DELL (cartoncillo reciclable). |  |   Bordes. | Producto integrado por completo a los 90 días a la COMPOSTA. | | | |
| % Área degradada | Inicial | 68% Se observan fibras. Grosor del borde ha disminuido de 0.12 mm a 0.05 mm. | 100% BIODEGRADADO | | | |


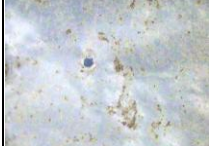












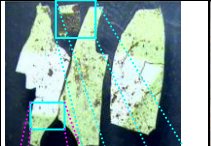


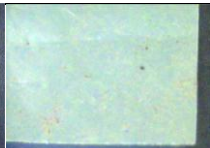



| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|--|--|---|--|--|
| <p>Fig. 104</p> <p>Material 17. Pluma biodegradable y compostable.</p> |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Inicio de biodegradación en superficie y borde. | 0% Transformación parcial en superficie y borde. | 0% Continúa transformación en superficie. | 0% |
| Se midió altura, diámetro externo e interno y grosor, las cuales no fueron afectadas. Pero la superficie se ve transformada al igual que borde a partir de los 90 días. | | | | | |
| <p>Fig. 105</p> <p>Material 18. Tapa de pluma biodegradable y compostable.</p> |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Sin alteración en la estructura. | 0% Fragmentación laminar de todo el producto, sin cambio en la estructura. | 60% Fragments restantes de 40% del producto. | 73% Pérdida por fragmentación laminar del material. |
| Se midió: altura, diámetro externo e interno y grosor, y se vieron afectados a partir de los 90 días, pérdida del producto del 73% en área. | | | | | |

8.6 TRATAMIENTO, COMPOSTA 3 BORREGAZA.



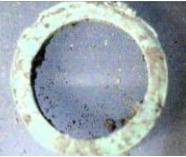


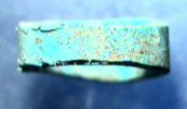




| Materiales | Testigos sin tratamiento. | EXHUMACIÓN | | | |
|--|--|---|---|--|---|
| | | Primera 45 días | Segunda 90 días | Tercera 135 días | Cuarta 180 días |
| Fig. 107 Testigos A. Envase de Poliestireno (PS) "UNICEL". |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| B. Cucharas de plástico. |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | | | | Material intacto. |
| Fig.108 Testigos C. Envase de polipropileno (PP). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| D. Bolsa de poli papel. |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | | | | Material intacto. |
| Fig. 109 Material 1. Biostandar, Platos (Fécula de maíz). |  | Producto integrado a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 110 Material 2. Biostandar, Vaso transparente (PLA). |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Sin cambio en el área. Despigmentación en leyenda a partir de los 135 días de tratamiento. | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|--|---|---|---|---|---|
| Fig. 111 Material 3. Biostandar, Vaso (fécula de maíz y papa). |  | Producto integrado a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 112 Material 4. Tierra Natural. Platos (caña de azúcar). |  | Producto integrado a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 113 Material 5. Tierra Natural. Vaso transparente (fécula de maíz). |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% Material intacto. |
| Fig. 114 Material 6. Tierra Natural. Vaso <i>Ecotainer</i> formado por dos materiales una capa interior de fécula de maíz y una capa exterior de papel reciclado. |  Capa interior ↑  Capa exterior ↓  |  Bordes.  |  Fibras.  |  |  Fibras.  |
| % Área degradada | Película interna de fécula de maíz Capa externa de papel | 4.2% 100% Biodegradada | 15% se observan fibras y transformación en superficie (manchas oscuras) | 15% Sólo material fragmentado. | 84.2% |
| La capa interior de fécula de maíz transformada 84.2% a los 180 días y capa exterior de papel transformada al 100% a los 45 días. | | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|---|---|---|---|---|
| <p>Fig. 115</p> <p>Material 7. Tierra Natural.</p> <p>Cucharas (Fécula de maíz).</p> |  |  <p>Bordes.</p> |  |  |  |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0% Inicio de biodegradación en superficie y en borde.</p> | <p>0% Continúa transformación en superficie y borde.</p> | <p>0% Mayor transformación en superficie y borde.</p> | <p>0%</p> |
| <p>Inicio de transformación sobre superficie y borde desde los 45 días, continuando dicha transformación hasta el final del tratamiento. Sin cambio en el área.</p> | | | | | |
| <p>Fig. 116</p> <p>Material 8. Tierra Natural.</p> <p>Bolsa oxo-biodegradable</p> |  |  |  |  |  |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0%</p> | <p>0% Material intacto</p> |
| <p>Fig. 117</p> <p>Material 9. Tierra Natural.</p> <p>Tenedores y cucharas (caña de azúcar).</p> |  |  <p>Superficie.</p> <p>Bordes.</p> |  <p>Superficies.</p> <p>Bordes.</p> |  |  |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|--|---|--|---|---|
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Durante y al final del tratamiento el producto sufrió transformación parcial en superficie y borde pero sin alteración en el área. | | | | |
| Fig. 118 Material 10. Tierra Natural. Bolsa 100% biodegradable |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto. | | | | | |
| Fig. 119 Material 11. Jaguar. Platos (papel). |  | Producto integrado a los 45 días a la COMPOSTA. 100% BIODEGRADADO | | | |
| Fig. 120 Material 12. Bolsa oxo-biodegradable EPI |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% Fácil fragmetación al manejo. | 0% Totalmente fragmentado, despigmentado en algunos puntos. | 0% Mayor fragmentación del producto. | 98.6% Material fragmentado se ha perdido en la composta |
| Frágil fragmentación del producto durante y después del proceso, decoloración a los 90 días, con pérdida del área a los 180 días del 98.6%. | | | | | |
| Fig. 121 Material 13. Bolsa oxo-biodegradable Falcón |  |  |  |  |  |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Material intacto, despigmentado a los 180 días de tratamiento. | | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|--|---|---|---|-----------------|
| Fig. 122 Material 14. Bolsa oxo- biodegradable DOR | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Material intacto | | | | |
| Fig. 123 Material 15. Inboplast, bolsa reciclable. | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Material intacto. | | | | |
| Fig. 124 Material 16. DELL (cartoncillo reciclable). | | | | | |
| | | Fibras. | | | |
| | | Bordes. | | | |
| | | Producto integrado totalmente a COMPOSTA. | | | |
| % Área degradada | Inicial | 79% Se observan fibras. Grosor del borde ha disminuido. | 100% BIODEGRADADO A los 90 días. | | |
| Fig. 125 Material 17. Pluma biodegradable y compostable. | | | | | |
| % Área degradada | Inicial | 0% Inicio de biodegradación en superficie y borde. | 0% Superficie y borde con transformación parcial. | 0% Continúa transformación en superficie y borde. | 0% |
| | Se midió altura, diámetro externo e interno y grosor, y no fueron afectadas. Sin embargo en superficie y borde hubo transformación a partir de los 90 días. | | | | |

| Materiales | Testigos | 45 días | 90 días | 135 días | 180 días |
|---|--|--|--|---|---|
| <p>Fig. 126</p> <p>Material 18. Tapa de pluma biodegradable y compostable.</p> |   |   |   |    |  |
| <p>% Área degradada</p> | <p>Inicial</p> | <p>0% Sin alteración.</p> | <p>0% Fragmentación quebradiza del 60% del producto. Sin cambio en la estructura.</p> | <p>32% Continúa fragmentación del producto en superficie. Y pérdida del mismo del 32%</p> | <p>42% Pérdida por fragmentación laminar del material.</p> |
| <p>Se midió: altura, diámetro externo e interno y grosor, y se vieron afectados a partir de los 90 días, pérdida del mismo del 42% a los 180 días..</p> | | | | | |

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Discusión de resultados para el experimento en los tres tipos de suelo.

Para los envases testigos A y B no fue alterada la estructura durante y al final del tratamiento en los tres tipos de suelo, los cuales se ven presentados en la Fig. 127, 128 y 129 respectivamente para cada suelo, debido a que no son biodegradables, dichos materiales sintetizados a partir de petróleo tardan hasta 500 años en sufrir cambios ya que son inertes y resistentes al medio ambiente de acuerdo a Bilurbina y Liesa 1990; Driver, 1982; Espín, 2007; Rafael, 2010.

En contraste con los envases con Código de Identificación 1, 4, 5, 7, 11 y 13 que pertenece a platos Biostandar de fécula de maíz, vaso Biostandar de fécula de maíz y papa, platos Tierra Natural de caña de azúcar, platos Jaguar de papel, empaque de cartón DELL y tapa de pluma biodegradable y compostable correspondientemente, se vieron modificadas durante y al final del tratamiento debido a la estructura a partir de polímero natural renovable, investigaciones de polímeros de almidón han sido enfocadas en diversas áreas incluyendo la utilización del almidón para espumas, composites, materiales de construcción, adhesivos y mezclas en el Departamento de Agricultura U.S.A, Chiou, en 2005; en la Fig. 130 se muestra el porcentaje de área degradada de dichos envases comparable entre los tres tipos de suelo alcanzada a los 180 días.

En la Fig. 130 se observa un alto porcentaje de degradación que va del 98 al 100% de área degradada en suelo ácido para los envases 1 y 4, dichos productos a base de almidón son completamente biodegradables asimismo tienen algunas propiedades físicas y mecánicas comparables con los polímeros sintéticos según Chiou, 2005, además de cumplir con el tiempo de degradación de 180 días, sin embargo, para los envases 5, 7 y 13, los dos primeros a base de caña de azúcar y papel, revelaron mayor porcentaje de área degradada en suelo neutro, en cambio en suelo alcalino la degradación fue menor al 35% para todos los envases (Fig. 129).

El envase 13 presentó cambios hasta los 135 días de tratamiento, con un 99% de área degradada en suelo neutro (Fig. 128), en suelo ácido con un porcentaje máximo del 70% (Fig. 127), material que se fue fragmentado poco a poco de forma laminar y sin ningún cambio en suelo alcalino (Fig. 129).

Para los envases 2. Cucharas Biostandar, de fécula de maíz, el almidón es plastificado evitando tener productos susceptibles a la humedad y ser más quebradizos, por lo tanto se modifica y se mezcla con otros materiales como aditivos mejorando dichas características, obteniendo así una estructura más rígida y resistente (Chiou, 2005), provocando que la degradación sea mucho más lenta sin verse afectada el área durante el tratamiento no obstante mucho más rápida a comparación de los plásticos derivado de petróleo ya que la superficie se altero (Fig. 25). Del mismo modo ocurre para el envase 6 (cucharas, T. N.) a base de caña de azúcar, sin embargo, la superficie fue poco transformada (Fig. 29).

El envase 3 (vaso transparente, Biostandar, PLA) a pesar de provenir de un recurso renovable en este caso del almidón de maíz cuando se manufactura de acuerdo a Mohanthy, *et. al.*, 2005, forma un polímero rígido termoplástico, siendo el único polímero que puede comportarse como el PET pero también presentarse en parte como el PP. Además el PLA producido a partir de residuos agrícolas u otra biomasa tiene un periodo de tiempo mucho más largo de degradación, y poco a poco se transformará y el CO₂ se liberará al ambiente muy lentamente. Es por esto que no hubo cambio en el área durante el proceso.

A diferencia de los polímeros sintéticos los productos de PLA después de ser desechados pueden ser rápidamente hidrolizados con agua, formar ácido láctico el cual es purificado y obtener polímero nuevo. De tal modo que la hidrólisis de dicho polímero y la recuperación del monómero a menudo es el método preferido para el reciclaje del PLA (Mohanthy, *et. al.*, 2005).

En cuanto a los envases 8, 9 y 10 que corresponden a los oxo-biodegradables, sólo el envase 8 presento frágil fragmentación durante el manejo pero sin perdidas en el área y sin ningún cambio en los otros envases en este proceso de degradación.

SUELO ÁCIDO

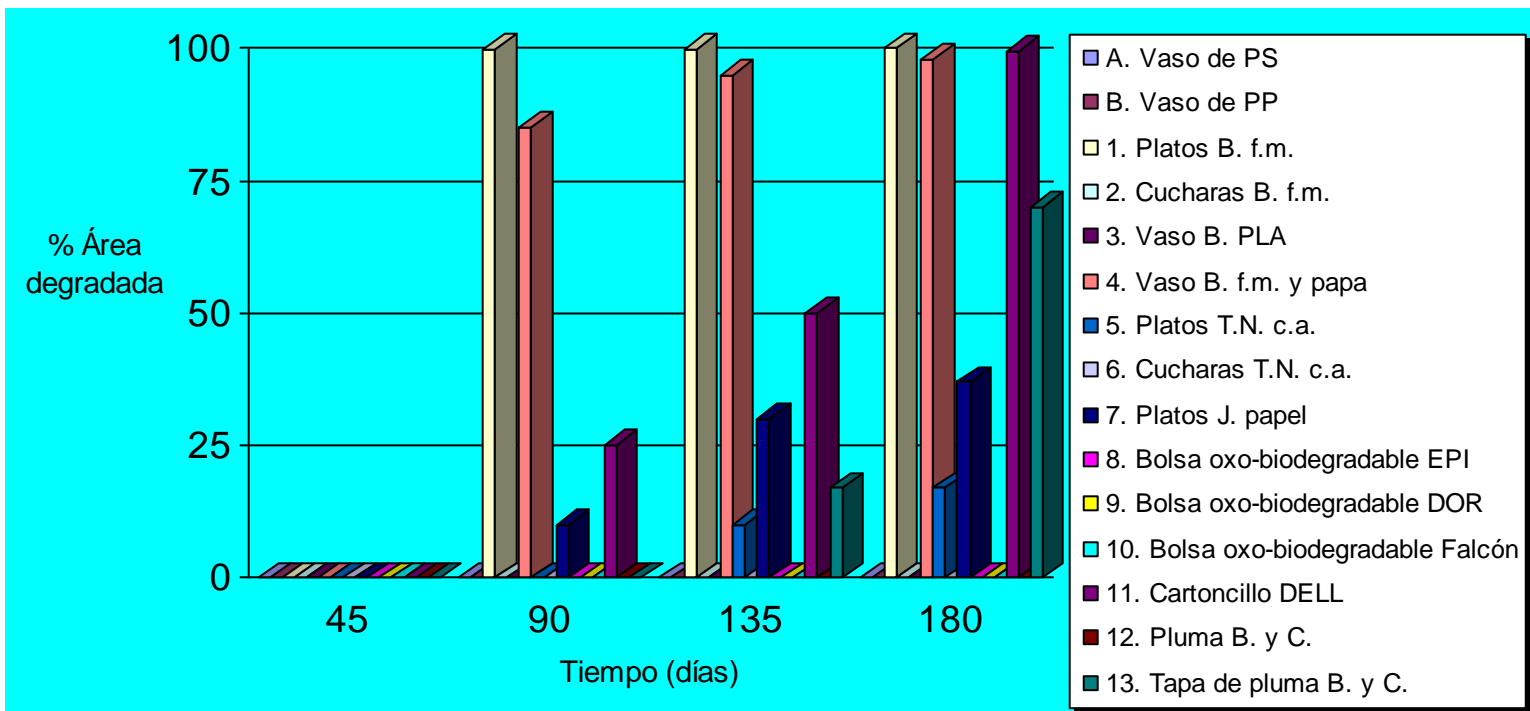


Fig. 127 Biodegradación de envases en suelo ácido.

SUELO NEUTRO

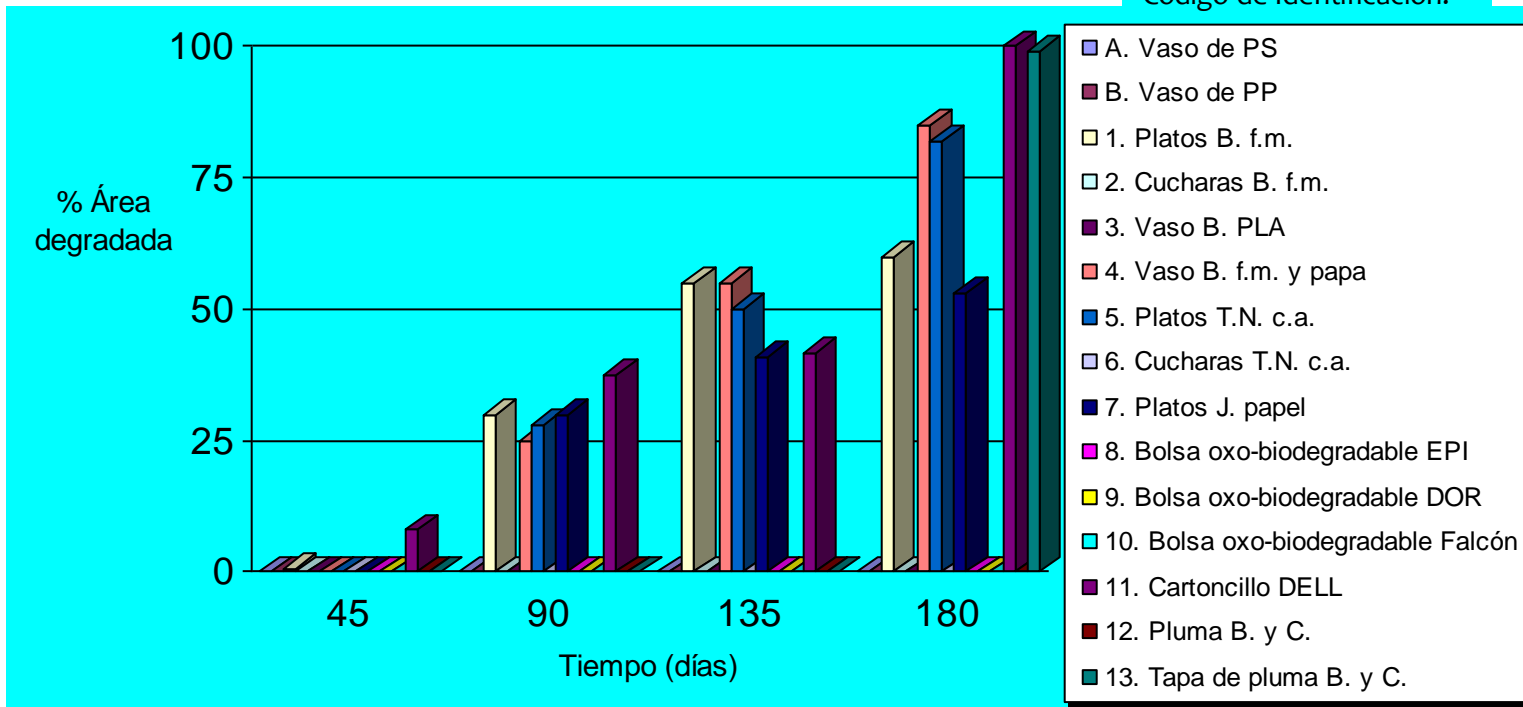


Fig. 128 Biodegradación ascendente de envases en experimento en suelo neutro.

SUELO ALCALINO

Código de Identificación.

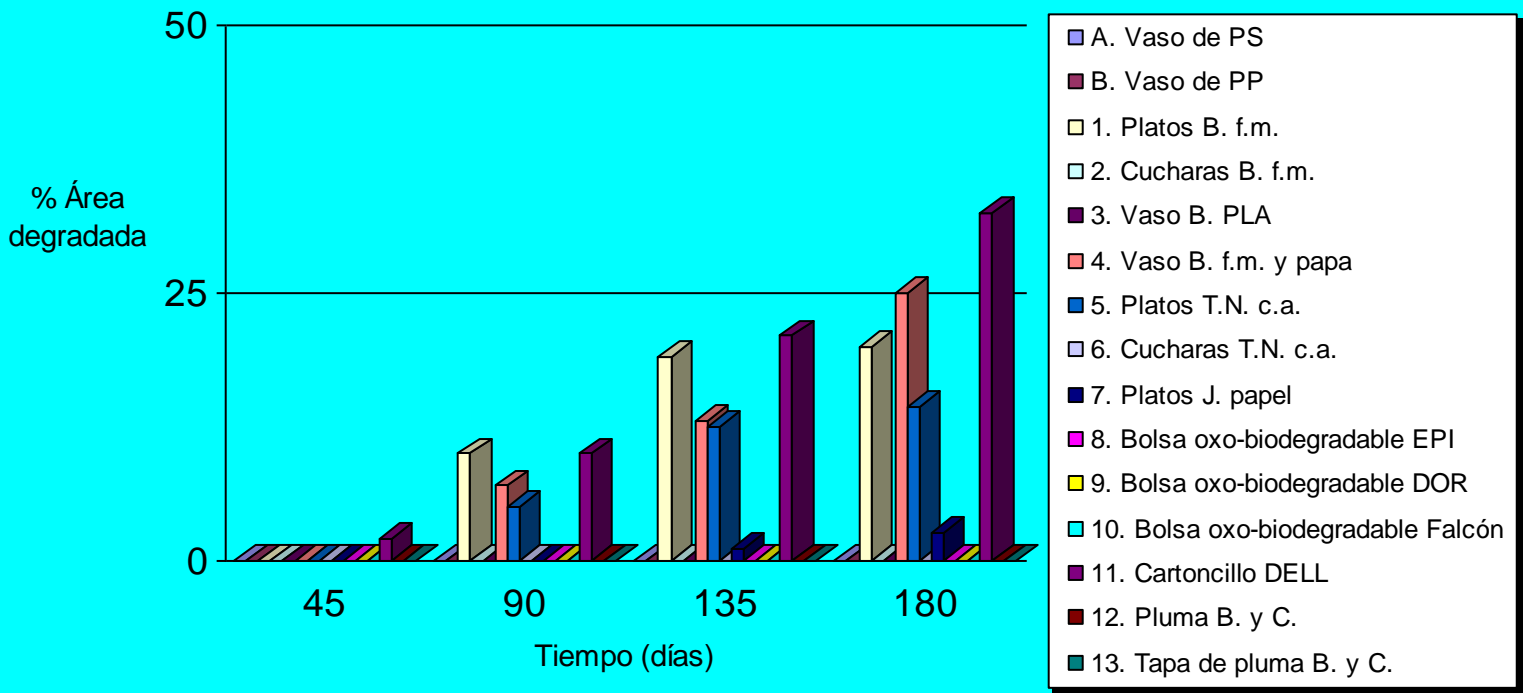


Fig. 129 Biodegradación ascendente de envases en suelo alcalino.

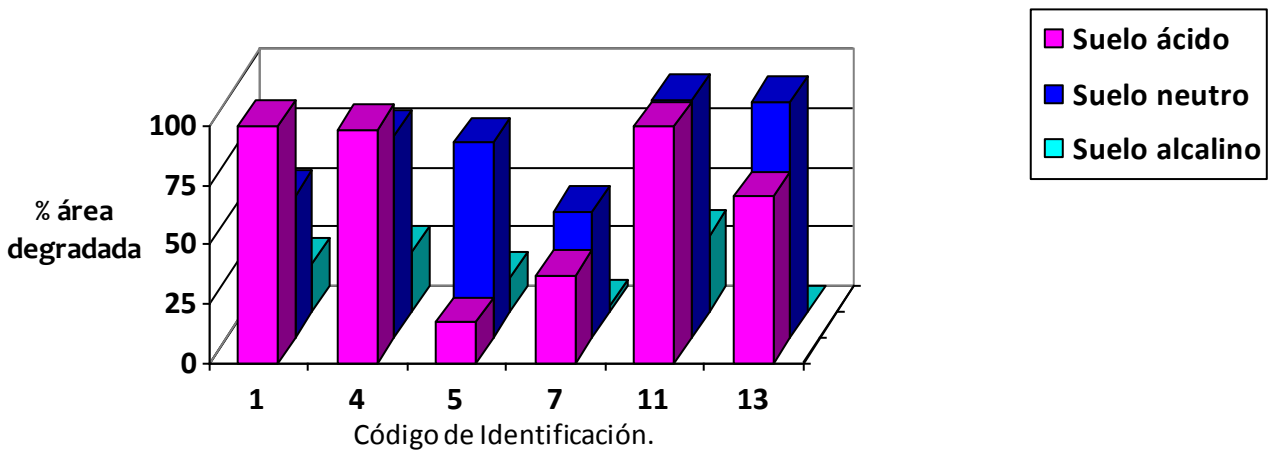


Fig. 130 Biodegradación entre los diferentes tipos de suelo a los 180 días de envases con mayor degradación.

Discusión de resultados para el experimento en composta.

Los envases testigos A, B, C y D, más el envase con Código de Identificación número 15 (bolsa reciclada) no fueron alteradas sus estructuras moleculares en composta, las cuales se reflejan en la Fig. 131, 132 y 133 respectivamente para cada composta, esto debido a la resistencia a la degradación e intemperie de dichos materiales derivados de petróleo como ya se ha mencionado de acuerdo a Bilurbina y Liesa 1990; Driver, 1982; Espín, 2007; Rafael, 2010.

Los envases con Código de Identificación 1, 3, 4, 6, 11, 16 y 18 que corresponden a: platos Biostandar de fécula de maíz, vaso Biostandar de fécula de maíz y papa, platos Tierra Natural de caña de azúcar, Vaso *ecotainer* T. N. de fécula de maíz y papel, platos Jaguar de papel, empaque de cartón DELL y tapa de pluma biodegradable y compostable respectivamente, sí presentaron biodegradación durante el proceso (Fig. 134).

En la Fig. 134, se muestra el 100% de área degradada a los 45 días para los envases 1, 3, 4 y 11 en las tres compostas (No. 1 proporción 1:3 suelo, residuos domésticos; No. 2 proporción 1:3 suelo, conejaza y No. 3 proporción 1:3 suelo, borregaza), reduciéndose así el tiempo de degradación programable mencionada por el producto en composta que es de 180 días, el cual se reduce a 45 días. El envase 16 también biodegrada al 100% pero sólo a los 45 días en composta No. 1, a los 90 días en la composta No. 2 y No. 3. Dicha degradación para envases elaborados de almidón se debe a la poca estabilidad estructural que presentan en condiciones de humedad muy alta (Villada, *et. al.*, 2008) como se mantuvo en composta, además de ser biodegradables completamente de acuerdo a Chiou, 2005.

Mientras el envase 6 al estar formado por dos materiales, papel reciclado al exterior y en el interior de una película de fécula de maíz, primero biodegrada al 100% entre los 45 y 90 días el papel y la película de maíz se degrada a los 180 días con un máximo del 60% al 84%, en las tres compostas, ambos porcentajes fueron sumados y divididos entre dos para obtener un porcentaje total del envase del 100%. Teniendo un 92% máximo de área total degradada en la composta No. 3 (Fig. 114), de 91% en composta No. 2 (Fig. 94) y 80% en composta No. 1 (Fig. 74).

En cuanto al envase 2 que corresponde al vaso transparente Biostandar de PLA, como se ha señalado de acuerdo a Mohanthy, *et. al.*, 2005, el almidón de maíz al ser plastificado forma un polímero con características del PET y del PP, formando una estructura rígida y resistente, haciendo que la

degradación sea mucho más lenta y no se haya presentado ningún cambio en el área durante el tratamiento, sin embargo a los 135 días hubo despigmentación en la leyenda del producto.

Lo mismo ocurre para los envases: 5. Vaso transparente T. N. de fécula de maíz; 7. Cucharas T. N. de fécula de maíz; 9. Cubiertos T. N. de caña de azúcar y 10. Bolsa T. N. de maíz, donde el almidón al ser modificado para mejorar sus propiedades se mezcla con aditivos haciéndolo más inerte a la degradación (Chiou, 2005). Ya que Mohanthy, *et. al.*, en 2005 los polímeros de biobase pueden ser o no ser biodegradables, dependiendo de la composición y estructura así como el medio ambiente en los cuales pueden ser desechados.

Para los envases oxo-biodegradables con número 8 (T.N.), 13 (Falcón) y 14 (DOR) no sufrieron ningún cambio en su estructura, sin embargo, el envase 13 sufrió cambio en la pigmentación de 5GY 7/7 a 7.5 GY 8/7 en las tres compostas, mientras el envase 12 presentó frágil fragmentación durante su manejo perdiendo gran área a los 180 días, reduciendo en 98.6% como máximo en composta 3, del 96.4% en composta 2 y del 88% en composta 1, también hubo cambio en la pigmentación de 2.5 GY 6/7 a 7.5 GY 5/5 en las tres compostas. Finalmente para la tapa de la pluma biodegradable y compostable (No. 18) el material sufrió fragmentación laminar del material perdiéndose en la composta a partir de los 135 días, obteniendo a los 180 días pérdida del material en 73% en composta No. 2, del 72% en composta No. 1 y del 42% en composta No. 3.

VERMICOMPOSTA 1. TESTIGO

Composta 1

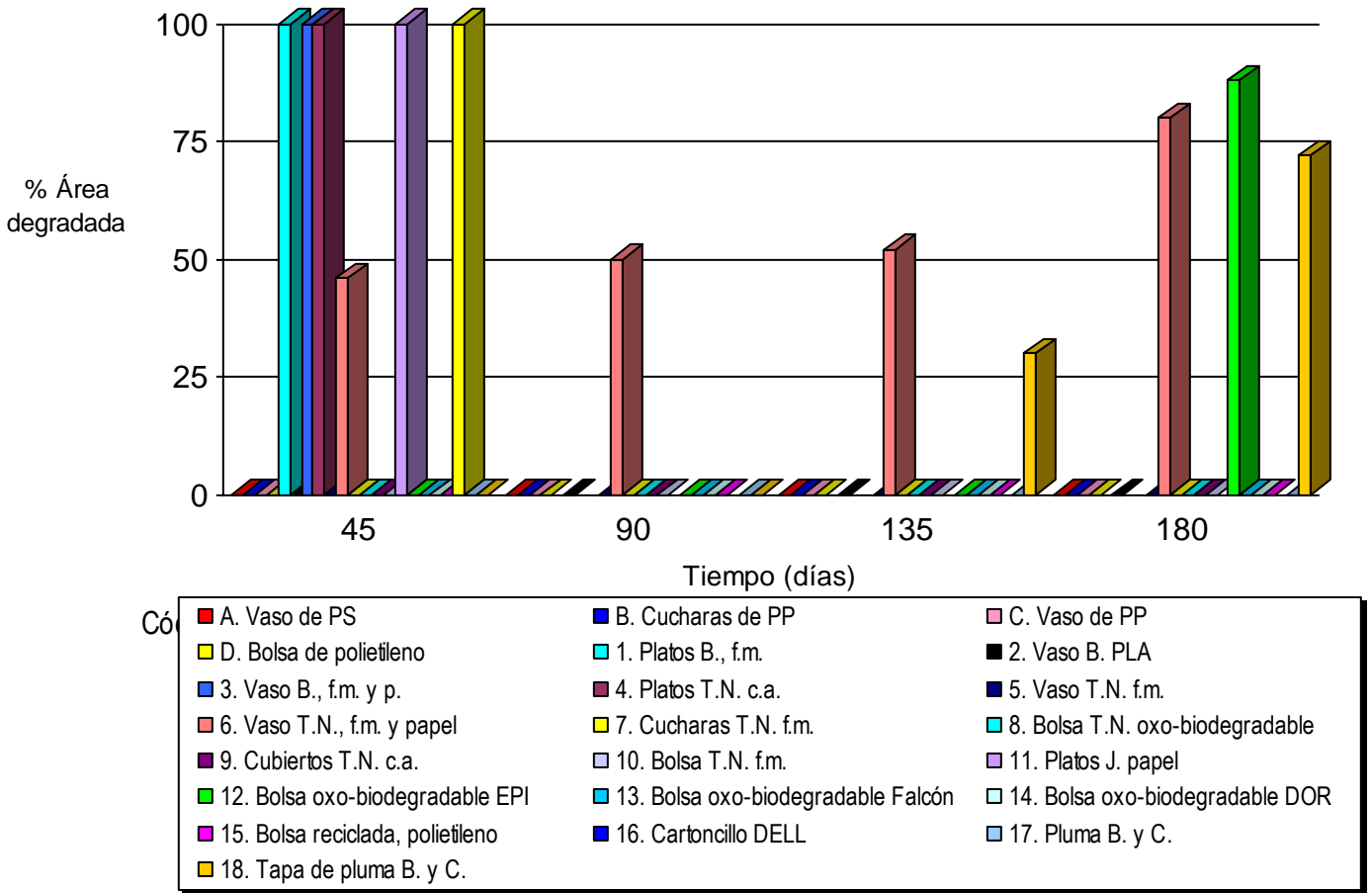


Fig. 131 Biodegradación de envases en vermicomposta 1.

VERMICOMPOSTA 2. CONEJAZA

Composta 2

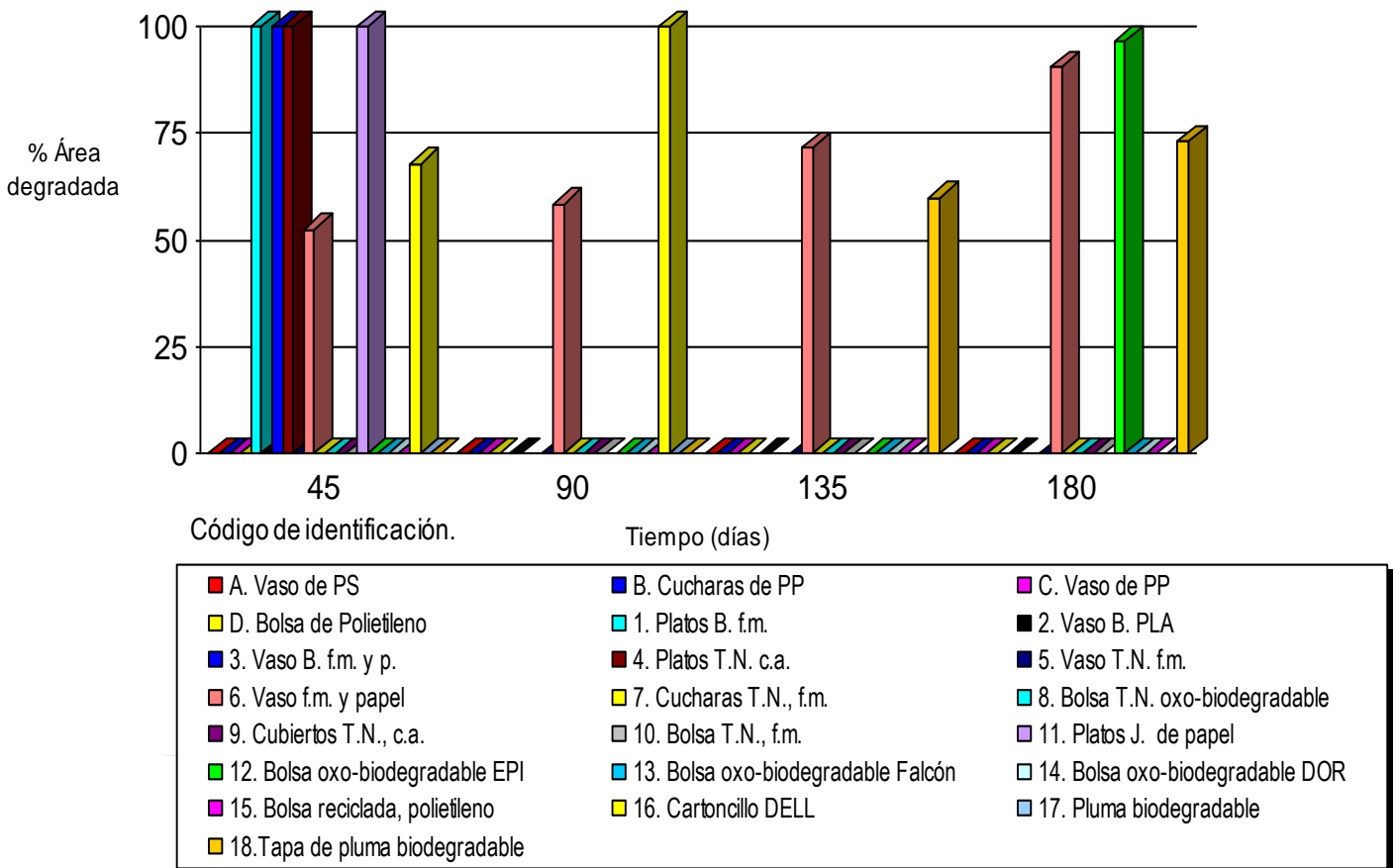


Fig. 132 Biodegradación de envases en vermicomposta 2.

VERMICOMPOSTA 3. BORREGAZA

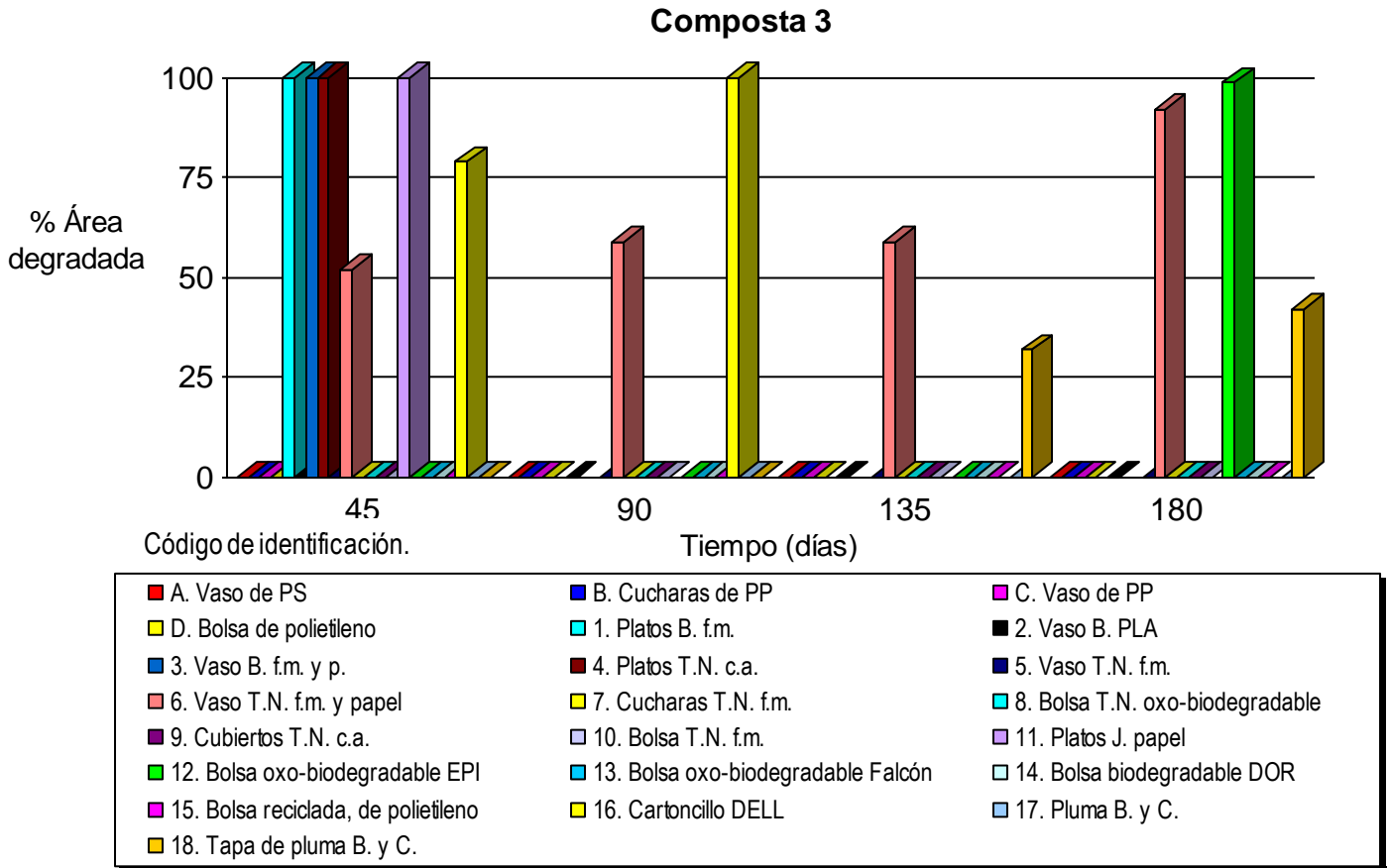


Fig. 133 Biodegradación de envases en vermicomposta 3.

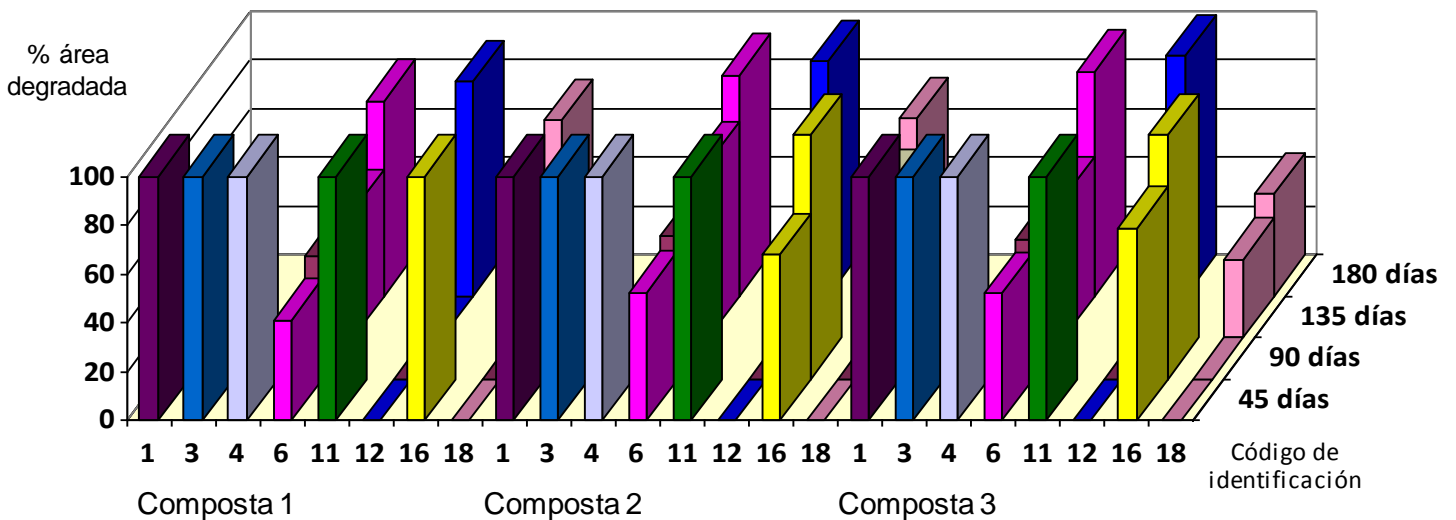


Fig. 134 Comparación entre las tres compostas de los envases que presentaron degradación. Números corresponden al Código de Identificación de envases.

utilizados mencionan ser biodegradables en agua.

tos

Velocidad de degradación en suelo.

Cuadro 7. Velocidad de degradación en suelo.

| Código de Identificación | Envase | 180 días | | |
|--------------------------|---|-------------------------------------|--------------|----------------|
| | | Suelo ácido | Suelo neutro | Suelo alcalino |
| | | V= Valor teórico/valor experimental | | |
| Testigo A | Vaso, Poliestireno "Unicel". | | | |
| Testigo B | Vaso, Polipropileno. | | | |
| 1 | Platos, fécula de maíz, Biostándar. | 1 | 0.6 | 0.2 |
| 2 | Cucharas, fécula de maíz, Biostándar. | | | |
| 3 | Vaso transparente, ácido poliláctico (PLA), Biostándar. | | | |
| 4 | Vaso, fécula de maíz y papa, Biostándar. | 0.98 | 0.85 | 0.25 |
| 5 | Platos, caña de azúcar, Tierra Natural. | 0.17 | 0.82 | 0.143 |
| 6 | Cucharas, Tierra Natural. | | | |
| 7 | Platos, papel, Jaguar. | 0.37 | 0.53 | 0.027 |
| 8 | Bolsa oxo-biodegradable, EPI. | | | |
| 9 | Bolsa, oxo-biodegradable, DOR. | | | |
| 10 | Bolsa, oxo-biodegradable, Falcón. | | | |
| 11 | Cartoncillo, DELL | 0.995 | 1 | 0.324 |
| 12 | Pluma biodegradable y compostable. | | | |
| 13 | Tapa de la pluma biodegradable y compostable. | 0.7 | 0.99 | |

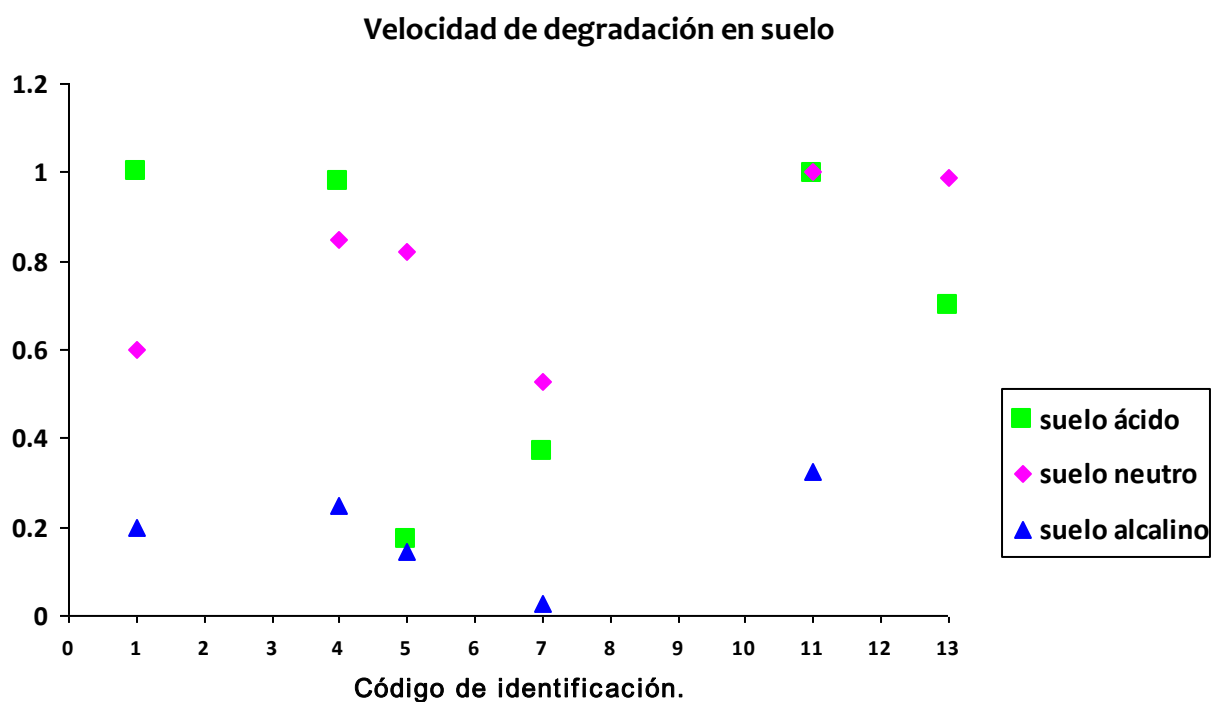


Fig. 135 Velocidad de degradación en suelo.

La velocidad de degradación en suelo a los 180 días de tratamiento fue favorable en suelo neutro, obteniendo los siguientes valores: 1 para el envase con código de identificación 11.- cartoncillo DELL, 0.99 para el envase No. 13.- tapa de pluma B. y C., 0.85 para el envase No. 4.- vaso de maíz y papa, 0.82 para el envase No. 5.- platos, caña de azúcar, 0.6 para el envase No. 1.- platos de maíz y 0.53 para el envase No.7.- platos de papel. (Cuadro 7) (Fig. 135). El valor de 1 refleja que la degradación del envase fue completa y cumplida en el tiempo teórico de 180 días con el tiempo experimental de 180 días, valores menores a 1 corresponden a una degradación parcial y lo que significa que el tiempo de degradación se prolonga por más tiempo.

Mientras que en suelo ácido se tienen los siguientes valores: 1 para envase No. 1.- platos de fécula de maíz, 0.995 para el envase No. 11.- cartoncillo DELL, 0.98 para envase No. 4.- vaso de maíz y papa, 0.7 para envase No. 13.- tapa de pluma B. y C., 0.37 para envase No. 7.- platos de papel y 0.17 para envase No. 5.- platos de caña de azúcar. Valores que expresan que hay degradación en suelo ácido (Cuadro 7) (Fig. 135).

Y para suelo alcalino los valores son: 0.324 para el envase No. 11.- cartoncillo DELL, 0.25 para envase No. 4.- vaso de maíz y papa, 0.2 para envase No. 1.- platos de maíz, 0.143 para envase No. 5.- platos de caña de azúcar y 0.027 para envase No. 7.- platos de papel (Cuadro 7). Valor máximo de 0.324 y mínimo de 0.027 que implican que el tiempo de degradación será de 1.5 y 18 años respectivamente.

Valores de velocidad de degradación que muestran ser favorables en suelo neutro, debido al pH neutro que propicia el desarrollo de una mayor diversidad de microorganismos, tales como hongos, bacterias, protozoarios, nematodos, favoreciendo la biodegradación de los envases biodegradables. Y sin ningún cambio en los envases testigos A (vaso de Poliestireno) y B (vaso de polipropileno).

Velocidad de degradación en composta.

Cuadro 8. Velocidad de degradación en composta.

| CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN | Envase | 45 días | | | 90 días | | | 135 días | | | 180 días | | |
|--------------------------|--|---|------|-------|---------|------|------|----------|-------|-------|----------|--------|-------|
| | | C. 1 | C. 2 | C. 3 | C. 1 | C. 2 | C. 3 | C. 1 | C. 2 | C. 3 | C. 1 | C. 2 | C. 3 |
| | | velocidad de degradación (v=valor teórico/valor experimental) | | | | | | | | | | | |
| Testigo A | Vaso, PS | | | | | | | | | | | | |
| Testigo B | Cucharas, PP | | | | | | | | | | | | |
| Testigo C | Vaso, PP | | | | | | | | | | | | |
| Testigo D | Bolsa, PEBD | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Platos, fécula de maíz, Biostandar | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| 2 | Vaso transparente, PLA, Biostandar | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Vaso, f. de maíz y papa, Biostandar | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| 4 | Platos, fibra de caña de azúcar, Tierra Natural | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| 5 | Vaso transparente, fécula de maíz, Tierra Natural | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Vaso ecotainer, f. de maíz y papel reciclado, Tierra Natural | 0.411 | 0.53 | 0.521 | 0.505 | 0.59 | 0.58 | 0.5222 | 0.717 | 0.575 | 0.7975 | 0.9065 | 0.921 |
| 7 | Cucharas, fécula de maíz, T. N. | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Bolsa, oxo-biodegradable, T. N. | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Cubiertos, caña de azúcar, T. N. | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Bolsa, fécula de maíz, T. N. | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Platos, de papel, Jaguar | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| 12 | Bolsa oxo-biodegradable, EPI | | | | | | | | | | 0.88 | 0.964 | 0.986 |
| 13 | Bolsa, oxo-biodegradable, Falcón | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Bolsa, oxo-biodegradable, DOR | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Bolsa reciclada, Inboplast | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Cartoncillo, DELL | 4 | 0.68 | 0.79 | | 4 | 4 | | | | | | |
| 17 | Pluma B. y C. | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Tapa de la pluma B y C. | | | | | | | 0.3 | 0.6 | 0.32 | 0.72 | 0.73 | 0.42 |

Velocidad de degradación en composta

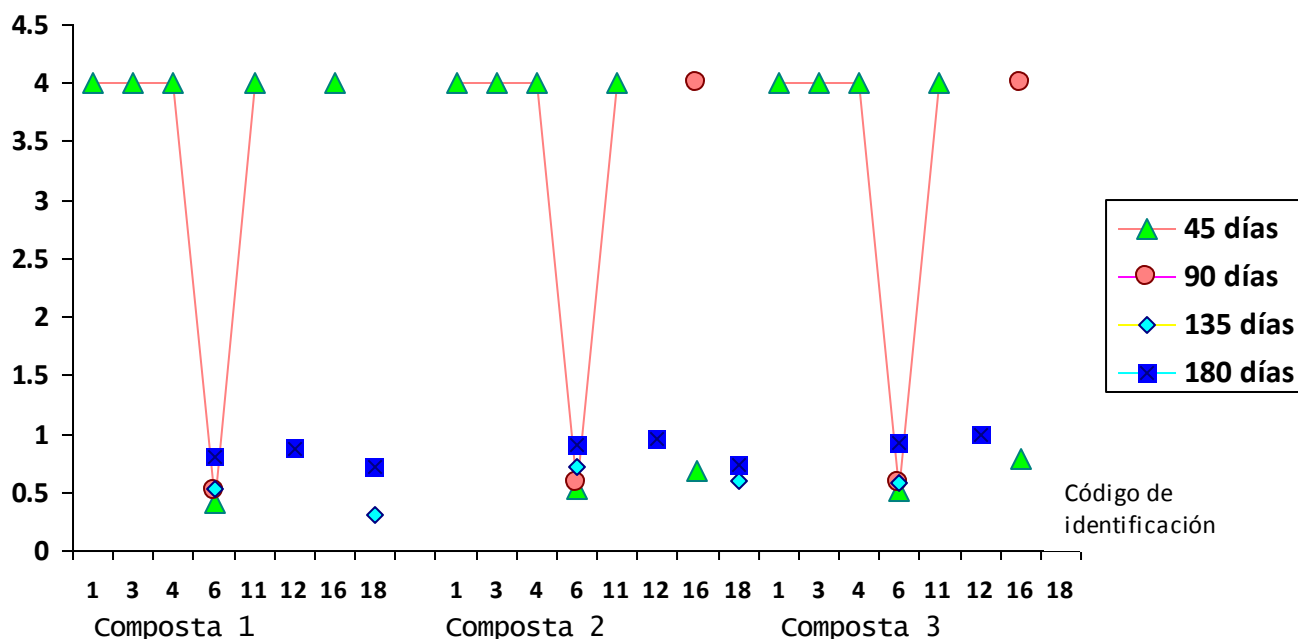


Fig. 136 Velocidad de degradación en composta.

La velocidad de degradación en composta fue de 4 para los bioenvases con código de identificación No. 1.- platos de fécula de maíz (Fig. 69, 89 y 109), No. 3.- vaso de maíz y papa (Fig. 71, 91 y 111), No. 4.- platos de caña de azúcar (Fig. 72, 92 y 112) y No. 11.- platos de papel (Fig. 79, 99 y 119) en composta 1, 2 y 3, mas el envase No. 16.- cartoncillo DEL en composta 1 solamente, el valor 4 indica que la velocidad de degradación fue cuatro veces más rápida y por tanto el tiempo redujo hasta una cuarta parte, es decir, los envases degradaron a los 45 días. Y con una velocidad de 2 para el envase No. 16.- cartoncillo DELL en la composta 2 y 3 (Fig. 104 y 124), revelando la integración total del envase a los 90 días, el tiempo de degradación disminuye a la mitad (Cuadro 8) (Fig.136).

Mientras que la degradación fue progresiva para los envases con número 6.- vaso de maíz y papel, 12.- bolsa oxobiodegradable EPI y 18.- tapa de pluma B. y C., obteniendo a los 180 días los siguientes valores de velocidad de degradación para envase 6, 0.79 en composta 1, 0.91 en composta 2 y 0.92 en composta 3, envase 12, 0.88 en composta 1, 0.96 en composta 2 y 0.99 en composta 3 y envase 18, 0.72 en composta 1, 0.73 en composta 2 y 0.42 en composta 3 (Cuadro 8) (Fig.136).

La bolsa oxo-biodegradable EPI sufrió degradación mecánica (INE 1988) (Chiellini, *et. al.*, 2007), degradándose en fragmentos de menor peso molecular, haciéndose más evidente a los 180 días de tratamiento, único producto oxo-biodegradable con cambios en su estructura, esto debido a su manufactura con aditivos denominados DTPA (Aditivos Plásticos Totalmente Degradables) de la tecnología EPI (Environmental Product Inc.), que eventualmente degradan y biodegradan desde unas cuantas semanas hasta dos años dependiendo de las condiciones en que éste sea desechado, sin embargo, no están manufacturados para ser plásticos compostables para biodegradarse lo suficientemente rápido en un ambiente de compostaje, y por tanto sólo se observó fragmentación del material (www.epi-global.com).

De acuerdo a las velocidades de degradación obtenidas a partir del área degradada, discutido anteriormente, para los envases entre el tratamiento en suelo y composta se tiene que la degradación fue favorable en composta, pero concretamente óptima en composta 2 (conejaza) debido a que esta posee una mayor matriz de microorganismos. Siendo la velocidad de degradación de la siguiente manera composta>suelo neutro>suelo ácido>suelo alcalino, debido primordialmente al desarrollo de microorganismos y organismos en el sustrato.

X. CONCLUSIONES

La degradación de los envases de poliestireno, polipropileno y polietileno fue nula en los tratamientos en suelo, composta y agua, debidos a su estructura molecular inerte al medio ambiente.

La biodegradación de los bioenvases de almidón de maíz-papa, caña de azúcar y de papel, en productos de platos y vasos son favorablemente biodegradables en suelo neutro, ácido y composta, los cubiertos sólo presentaron transformación en superficie a diferencia de testigos de polímeros de origen petroquímico.

La velocidad de degradación es óptima en composta que en suelo, siendo de la siguiente manera: composta>suelo neutro>suelo ácido>suelo alcalino, gracias al desarrollo de una mayor matriz de organismos y microorganismos.

Los bioenvases al igual que productos oxo-biodegradables con aditivos TDPA de la tecnología EPI, son degradables mecánicamente sólo en composta.

Bioenvases de polímeros biodegradables y oxo-biodegradables EPI son una alternativa a los problemas de disposición final de residuos plásticos derivados del petróleo.

Por tanto la importancia de los valores de velocidad de degradación obtenidos como propuesta de indicadores de degradación en suelo y en composta, ya que actualmente no existen estudios similares que revelen valores significativos.

XI. RECOMENDACIONES

Evaluar la degradación de bioenvases en suelo ácido, neutro y alcalino bajo condiciones de humedad y temperatura constante durante un año con el fin de conocer las tasas de degradación total.

Evaluar la degradación de bioenvases describiendo el proceso de alteración de éstos realizando microscopía de barrido, en particular para: bolsas y vaso transparente de fécula de maíz, bolsas oxo-biodegradables y vaso transparente de ácido poliláctico (PLA).

Considerando los tiempos y porcentajes de degradación se recomienda el uso de bioenvases de fécula de maíz-papa, de fibra de caña de azúcar y papel, además del bioenvase de PLA ya que sus propiedades físicas y mecánicas se ven afectadas por el tiempo y condiciones de almacenaje.

Los bioenvases biodegradan por composteo en 180 días, para suelo ácido y suelo neutro en un año máximo, pero en envases de Poliestireno, Polipropileno y Polietileno hasta en 500 años.

Promover y regular el uso de bioenvases así como reducir el consumo de productos plásticos a través del reúso y reciclaje minimizarán el impacto al ambiente.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- * Alfaro-Aranda, J. D. 2009. Materiales biodegradables para envases alimentarios. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 79 pp.
- * Bilurbina L. y Liesa F. 1990. *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*. Editores Marcombo, Barcelona. España.
- * Driver, W. E. 1982. *Química y tecnología de los plásticos*. Compañía Editorial Continental, México.
- * Chiou, Bor-sen, M. Glenn, Gregory., H. Imam, Syed., K. Inglesby, María., F. Wood, Delilah, and J. Orts, William. 2005. Chapter 20. *Starch Polymers: Chemistry, Engineering, and novel products. Book: Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Boca Ratón, Florida: Tylor & Francis.
- * Chiellini, E., Corti, A., D'Antone, S. 2007. *Oxo-biodegradable full carbón backbone polymers-biodegradation behaviour of thermally oxidezed polyethylene in an aqueous medium*. 1378-1383.
- * Espín, Guadalupe. 2007. *Plásticos y su contaminación ambiental*. Academia de Ciencias de Morelos, A. C. Instituto de Biotecnología, UNAM, Cuernavaca, Morelos.
- * Gent U. y Mutter H. 2010. El puesto precario: El balance entre el confort y el esfuerzo. Residual, Intervenciones artísticas de la ciudad.
- * Instituto Nacional de Ecología (INE), 1998. Memorias: Seminario internacional sobre manejo integral de residuos sólidos. México. SEMARNAT.
- * Instituto Nacional de Recicladores, AC, (INARE). 2000. Comunicación personal.
- * Khardenavis, A., Suresh Kumar, M., Mudliar, S. N., Chakrabarti T. 2007. *Biotechnological conversion of agro-industrial wastewaters into biodegradable plastics, poly β -hidroxibutyrate*. Bioresource technology. 98: 3579-3584.
- * Klimchuk, M., Krasovec, S. 2006. *Packaging design: Successful product branding from concept to shelf*. Ed. Jhon Wiley & Sons. USA.
- * Mendieta-Taboada, O., Sobral, P., Carvahlo R. 2008. *Thermomechanical properties of biodegradable films base don blends of gelatin and poly(vinyl alcohol)*. Food hidrocolloids. 22: 1485-1492.

- * Mohanty, Amar K., Misra, Manjusri., Drzal, Lawrence T., E. Selke, Susan., R. Harte, Bruce, y Hinrichsen, Georg. 2005. Capítulo 1. *Natural fibers, biopolymers and biocomposites: An Introduction. Book: Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Boca Ratón, Florida: Tylor & Francis.
- * Mohanty, Amar K., Misra, Manjusri., Drzal, Lawrence T., E. 2005. Capítulo 16. *Polylactic Acid Technology. Book: Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Boca Ratón, Florida: Tylor & Francis.
- * Ojumi, T. V., Yu, J., Solomon, B. O. 2004. *Production of polihidroxyalkanoatos, a bacterial biodegradable polymer*. African journal of Biotechnology. 3, 1:18-24
- * Rodríguez-Tarango, J. A. 2001. *Manual de ingeniería y diseño de envase y embalaje para la industria de los alimentos, químico, farmacéutica y cosméticos*. Tercera edición, Packaging Ingeniería en envase y embalaje, México.
- * Rubin, Irvin I. 1998. *Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones*. Editorial Limusa, México.
- * Sánchez, L. S. 1992. *Aditivos para materiales plásticos: antioxidantes y estabilizadores UV*. Editorial Limusa, México D.F.
- * Segura, D., Noguez, R., Espín, G. 2007. Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología V14CS3*. Ind. 361-371.
- * Raymond, Seymour B., Carraher Jr., Charles E. 1998. *Introducción a la química de los polímeros*. Editorial Reverte, Barcelona España.
- * Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. *Biological degradation of plastics: A comprehensive review*. *Biotechnology advances*, 26: 246-265.
- * Tharanathan, R. N. 2003. *Biodegradable films and composite coatings: past, present and future*. *Trends in food science and technology*. 14: 71-78.
- * Villada, Héctor S., Acosta, Harold A. y Velasco, Reinaldo J. 2008. *Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables*. *Revista Información Tecnológica* 19(2): 3-4.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

- * CORDIS SERVICES. 24 noviembre 2009. "Development of a pea starch film with trigger biodegradation properties for agricultural applications". http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&CFTOKEN=19120617&PJ_RNC=7901178&CFID=6808047 [Acceso 17 octubre 2010]

- * Emerging food R&D report. 2003. *Develop biopolymers for packaging applications*. Disponible en <http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-889964/Develop-biopolymers-for-packaging-applications.html> [Acceso 2 agosto 2011]
- * Hong C., Peter H. F. Yu and Chee K. Ma. 2009. "Accumulation of biopolymers in activated sludge biomass". *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 78: 389–399. <<http://www.springerlink.com/content/g38w61535m5841nx/>> [Acceso 17 octubre 2010]
- * Pelayo, M., 26 febrero 2009. *Plástico de uso alimentario*. España <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/normativa-legal/2009/02/26/183663.php>> [Acceso 29 julio 2011]
- * Rafael, Dieste. IES Departamento de Tecnología. Material Amacio Carrasco/Material didáctico de la ESO\3º ESO\Los plásticos/ESO3tema2plasticos.doc <<http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/eso3tema2plasticos.pdf>> [Acceso 14 octubre 2010]. Actualización en Tecno Herminia. 16 diciembre 2010. <<http://tecnoherminia.blogspot.com/>> [Acceso 28 julio 2011]
- * Royte, Elizabeth. 3 Junio 2008. "Com Plastic to the Rescue". *Smithsonian Magazine*. <<http://www.smithsonianmag.com/science-nature/plastic.html>> [Acceso 14 octubre 2010]
- * Södergård, Anders; Mikael Stolt. 2002. "Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition". *Progress in Polymer Science* 27: 1123–1163.doi:10.1016/S0079-6700 (02)00012-6. <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX2-45JGY2J-4&_user=10&_coverDate=07%2F31%2F2002&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1423527891&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=a26902c8a860132c06787a3727f61439> [14 octubre 2010]
- * Weber, C. J. Noviembre, 2000. *Biobases packaging materials for the food industry*. A European Concerned Action, Food Biopack Project funded by the EU Directorate 12.Department of Dairy and Food Science & The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark, ISBN 87-90504-07-0 o <<http://www.mli.kvi.dk/foodchem/special/biopack>> [Acceso 31 julio 2011]
- * <www.bioplastics24.com/content/view/full/1342/2/lang,en/> [Acceso 5 agosto 2011]
- * <www.tierranatural.net> [Acceso 3 Marzo 2013]
- * <www.epi-global.com> [Acceso 4 Marzo 2013]