

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y  
DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS OXODEGRADABLES Y PLÁSTICOS  
TRADICIONALES EN CONDICIONES REALES DE UN RELLENO  
SANITARIO**

**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR  
EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**GUIDO ARGUELLO CORRALES**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO  
SAN JOSÉ, COSTA RICA  
JUNIO, 2010**

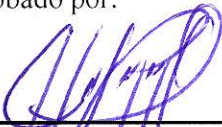
**“You must be the change you wish to see in the world”  
Mahatma Gandhi**

**Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química**


Sustentante:

**Guido Arguello Corrales**


Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Alexander Vásquez Calvo  
Profesor  
Escuela de Ingeniería Química, UCR


Presidente del Tribunal

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Alvaro Flores Zamora  
Director  
Escuela de Ingeniería Química, UCR


Director del Proyecto

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Bernardo Mora Gómez  
Profesor  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Lector del Proyecto

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Kathia Elizondo Orozco  
Investigadora  
PROGAI, UCR

Lector del Proyecto

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Gabriela Ruphué Chan  
Profesora  
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Miembro Invitado

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO  
7 de Junio del 2010

# DEDICATORIA

*A mi abuelo, un ejemplo de sabiduría, humildad y amor.  
A mi mamá, gracias por su amor y apoyo incondicional.*

## *AGRADECIMIENTOS*

A mi familia, en quienes siempre puedo confiar. A mi papá, por los valores que me inculcó y su ejemplo de sacrificio. A mi mamá y mis hermanos quienes me impulsan a ser mejor cada día.

A don Álvaro, que siempre he considerado un amigo y ejemplo en estos años de estudio.

A Bernardo y Kathia por su disposición e invaluable aportes brindados a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al personal administrativo y operativo de WPP por facilitarme los recursos, espacio y tiempo sin los cuales hubiera sido imposible llevar a cabo esta investigación.

A Polymer, por el conocimiento adquirido en esa empresa y las facilidades que me brindaron.

A Silvia Vega por introducirme en el interesante mundo de los plásticos degradables.

A Roy Zamora y al personal del Laboratorio de Polímeros del INA por su disposición, amabilidad e interés en el proyecto.

A todos los compañeros, profesores y amigos que con su apoyo, consejos y amistad han colaborado en mi formación como profesional.

A Dios por darme la fortaleza para seguir luchando por mis metas todos los días.

## Resumen

El objetivo de este proyecto es evaluar la degradación de los plásticos oxodegradables y los plásticos tradicionales por medio de análisis de propiedades físicas y químicas tras ser sometidos a las condiciones de dos rellenos sanitarios de Costa Rica.

Se enterraron muestras de plásticos tradicionales y plásticos oxodegradables de diferentes colores, blanco, verde y negro, en los rellenos sanitarios Los Mangos en Alajuela y Río Azul en Cartago. Las muestras de plásticos tradicionales y oxodegradables fueron extraídas transcurridos períodos de 3 meses, 6 meses y 12 meses.

Tanto a las muestras antes de ser enterradas como a las muestras extraídas luego de transcurridos los diferentes períodos, se les realizaron pruebas de resistencia a la tensión, resistencia a la elongación y presencia de grupos carbonilos por medio de espectroscopia infrarroja.

Luego de hacer el análisis estadístico de los resultados obtenidos, se determinó que no se presentaron diferencias reales en las propiedades mecánicas de las bolsas oxodegradables y tradicionales de las muestras verdes y negras. Las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul y Los Mangos presentan estados de degradación más avanzados, siendo las muestras enterradas en Los Mangos las que presentan la mayor degradación con reducciones en sus propiedades mecánicas de hasta 40% con respecto a los valores iniciales.

Como conclusión principal, se obtiene que a pesar de que las bolsas blancas oxodegradables sí presentan degradación, la mayoría de las bolsas oxodegradables enterradas no presentan el estado de degradación adecuado para considerar que los materiales producidos utilizando la tecnología oxodegradable tendrán una degradación más acelerada en los rellenos sanitarios que los materiales tradicionales utilizados hoy en día.

# Índice General

<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	1
1.1 Introducción .....	1
<b>Capítulo 2: Marco Teórico</b> .....	2
2.1 Tipos de plásticos degradables .....	2
2.1.1 Formas de degradación de los polímeros .....	2
2.1.1 Materias primas utilizadas para la producción de polímeros degradables .....	3
2.2 Plásticos Oxodegradables .....	3
2.3 Mecanismos de oxidación de los plásticos oxodegradables .....	4
2.4 Fundamentos y comportamiento ideal de los plásticos oxodegradables ....	5
2.5 Propiedades mecánicas de los polímeros .....	6
2.6 Rellenos Sanitarios .....	7
2.6.1 Definición de relleno sanitario .....	7
2.6.2 Composición y características del gas de relleno sanitario .....	7
2.6.3 Fases de la descomposición biológica de los desechos de un relleno sanitario .....	9
<b>Capítulo 3: Materiales, Equipo y Metodología Experimental</b> .....	11
3.1 Materiales .....	11
3.2 Equipo de Medición .....	11
3.3 Metodología Experimental .....	12
3.3.1 Variables de Medición .....	12
3.3.2 Métodos de Análisis .....	12
3.3.3 Diseño del Experimento .....	12
3.3.4 Resumen del Experimento .....	15
<b>Capítulo 4: Resultados y Discusión de Resultados</b> .....	16
4.1 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas negras .....	16
4.2 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas verdes .....	19
4.3 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas blancas .....	22
4.4 Comparación del comportamiento de las bolsas en ambos rellenos sanitarios .....	26
4.5 Comparación del comportamiento de las bolsas tradicionales y las bolsas oxodegradables .....	27

<b>Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	29
5.1 Conclusiones.....	29
5.2 Recomendaciones.....	30
<b>Bibliografía</b> .....	31
<b>Nomenclatura</b> .....	33
<b>Apéndice A</b> .....	34
<b>Apéndice B</b> .....	42
<b>Apéndice C</b> .....	82
<b>Apéndice D</b> .....	97



## Índice de Cuadros

<b>2.1</b>	Distribución porcentual típica de los gases de rellenos sanitarios .....	8
<b>3.1</b>	Materiales utilizados para el desarrollo del proyecto .....	11
<b>3.2</b>	Especificaciones de los equipos de laboratorio utilizados .....	12
<b>3.3</b>	Fechas en que las muestras plásticas fueron enterradas y extraídas .....	14
<b>4.1</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas negras .....	17
<b>4.2</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas negras .....	18
<b>4.3</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas verdes .....	20
<b>4.4</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas verdes .....	21
<b>4.5</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas blancas .....	23
<b>4.6</b>	Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas blancas .....	25
<b>A.1</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras tradicionales enterradas en Río Azul .....	34
<b>A.2</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras tradicionales enterradas en Río Azul .....	34
<b>A.3</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras tradicionales enterradas en Los Mangos .....	34
<b>A.4</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras tradicionales enterradas en Los Mangos .....	35
<b>A.5</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Río Azul .....	35
<b>A.6</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Río Azul .....	35
<b>A.7</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	36
<b>A.8</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	36
<b>A.9</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul .....	36
<b>A.10</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul .....	37
<b>A.11</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos .....	37
<b>A.12</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos .....	37

<b>A.13</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Río Azul .....	38
<b>A.14</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Río Azul .....	38
<b>A.15</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	38
<b>A.16</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	39
<b>A.17</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Río Azul .....	39
<b>A.18</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Río Azul .....	39
<b>A.19</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Los Mangos .....	40
<b>A.20</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Los Mangos .....	40
<b>A.21</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Río Azul .....	40
<b>A.22</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Río Azul .....	41
<b>A.23</b>	Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	41
<b>A.24</b>	Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Los Mangos .....	41
<b>B.1</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul .....	42
<b>B.2</b>	Intervalo de Confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul .....	42
<b>B.3</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	43
<b>B.4</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul .....	43
<b>B.5</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul .....	44
<b>B.6</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	44
<b>B.7</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos .....	45
<b>B.8</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos .....	45
<b>B.9</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	45

<b>B.10</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos .....	46
<b>B.11</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos .....	47
<b>B.12</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	47
<b>B.13</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul .....	48
<b>B.14</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul .....	48
<b>B.15</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	48
<b>B.16</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul .....	49
<b>B.17</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul .....	50
<b>B.18</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	50
<b>B.19</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos .....	51
<b>B.20</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos .....	51
<b>B.21</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	51
<b>B.22</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos .....	52
<b>B.23</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos .....	53
<b>B.24</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ ) .....	53
<b>B.25</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul .....	54
<b>B.26</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul .....	54
<b>B.27</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	54
<b>B.28</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul .....	55
<b>B.29</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul .....	56

<b>B.30</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	56
<b>B.31</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos .....	57
<b>B.32</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos .....	57
<b>B.33</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	57
<b>B.34</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos .....	58
<b>B.35</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos .....	59
<b>B.36</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	59
<b>B.37</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul .....	60
<b>B.38</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul .....	60
<b>B.39</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	60
<b>B.40</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul .....	61
<b>B.41</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul .....	62
<b>B.42</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	62
<b>B.43</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos .....	63
<b>B.44</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos .....	63
<b>B.45</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	63
<b>B.46</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos .....	64
<b>B.47</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos .....	65
<b>B.48</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,6)}=2,447$ ) .....	65

<b>B.49</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul .....	66
<b>B.50</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul .....	66
<b>B.51</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	66
<b>B.52</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul .....	67
<b>B.53</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul .....	68
<b>B.54</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	68
<b>B.55</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos .....	69
<b>B.56</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos .....	69
<b>B.57</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	69
<b>B.58</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos .....	70
<b>B.59</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos .....	71
<b>B.60</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	71
<b>B.61</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul .....	72
<b>B.62</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul .....	72
<b>B.63</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	72
<b>B.64</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul .....	73
<b>B.65</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul .....	74
<b>B.66</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de $t: t_{(0.05,5)}=2,571$ ) .....	74
<b>B.67</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos .....	75
<b>B.68</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos .....	75

<b>B.69</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t$ : $t_{(0,05,5)}=2,571$ ) .....	75
<b>B.70</b>	Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos ....	76
<b>B.71</b>	Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos ....	77
<b>B.72</b>	Valores absolutos de $t_z$ obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de $t$ : $t_{(0,05,5)}=2,571$ ) .....	77
<b>B.73</b>	Valores obtenidos para el cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para las bolsas verdes .....	78
<b>B.74</b>	Resultados obtenidos del cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos	78
<b>B.75</b>	Valores obtenidos para el cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para las bolsas verdes .....	79
<b>B.76</b>	Resultados obtenidos del cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul ....	79
<b>B.77</b>	Valores de transmitancia, absorbancia e índice carbonilo obtenidos para las bolsas blancas oxodegradables antes de ser enterradas .....	80
<b>B.78</b>	Valores de transmitancia, absorbancia e índice carbonilo obtenidos para las bolsas blancas oxodegradables luego de seis meses enterradas en Río Azul .....	80
<b>B.79</b>	Valores de transmitancia, absorbancia e índice carbonilo obtenidos para las bolsas blancas oxodegradables luego de doce meses enterradas en Río Azul ....	80
<b>B.80</b>	Valores de transmitancia, absorbancia e índice carbonilo obtenidos para las bolsas blancas oxodegradables luego de seis meses enterradas en Los Mangos	81
<b>B.81</b>	Valores de transmitancia, absorbancia e índice carbonilo obtenidos para las bolsas blancas oxodegradables luego de doce meses enterradas en Los Mangos	81

## Índice de Figuras

<b>2.1</b>	Reacciones de peroxidación .....	4
<b>2.2</b>	Comportamiento ideal de un polímero degradable .....	6
<b>2.3</b>	Porcentajes aproximados de los gases principales en las cuatro fases de degradación ...	10
<b>3.1</b>	Caja utilizada para enterrar las muestras plásticas en los rellenos sanitarios .....	13
<b>3.2</b>	Cajas enterradas en los rellenos sanitarios de Los Mangos y Río Azul .....	14
<b>4.1</b>	Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas negras .....	16
<b>4.2</b>	Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas negras .....	17
<b>4.3</b>	Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas verdes .....	19
<b>4.4</b>	Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas verdes .....	20
<b>4.5</b>	Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas blancas .....	22
<b>4.6</b>	Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas blancas .....	24
<b>4.7</b>	Índice Carbonilo de las bolsas blancas oxodegradables .....	26
<b>C.1</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición .....	82
<b>C.2</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición .....	83
<b>C.3</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición .....	83
<b>C.4</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul .....	84
<b>C.5</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul .....	84
<b>C.6</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul .....	85
<b>C.7</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul .....	85
<b>C.8</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul .....	86
<b>C.9</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul .....	86
<b>C.10</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos .....	87
<b>C.11</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos .....	87
<b>C.12</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos .....	88
<b>C.13</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos .....	88
<b>C.14</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos .....	89
<b>C.15</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos .....	89
<b>C.16</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición .....	90

<b>C.17</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición .....	90
<b>C.18</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición .....	91
<b>C.19</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos .....	91
<b>C.20</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos .....	92
<b>C.21</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos .....	92
<b>C.22</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos .....	93
<b>C.23</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos .....	93
<b>C.24</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos .....	94
<b>C.25</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Río Azul .....	94
<b>C.26</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Río Azul .....	95
<b>C.27</b>	Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul .....	95
<b>C.28</b>	Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul .....	96
<b>C.29</b>	Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul .....	96



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Introducción

Alrededor del 35% al 45% de la producción de polímeros sintéticos es destinada actualmente a ser usada en artículos desechables de un único uso.<sup>[1]</sup>

Hoy en día, las políticas y estrategias ambientales están enfocadas en recuperar el contenido de energía libre presente en los artículos plásticos al final de su vida útil. La mayoría de las opciones, están basadas en reciclaje mecánico o químico, incineración y bio-reciclaje. Dada la gran variedad de estructuras poliméricas, todas las opciones para el manejo de desechos plásticos deberían coexistir de forma armonizada según los diferentes requerimientos de tratamiento de desechos municipales e industriales.<sup>[1]</sup>

Debido a que los plásticos forman parte del problema de manejo y disposición de desechos que enfrentan actualmente todas las sociedades, se han desarrollado diferentes tipos de materiales poliméricos ambientalmente amigables. En particular, el uso de polímeros biodegradables ha aumentado significativamente en muchas aplicaciones. Los polímeros sintéticos generalmente no son biodegradables a menos que se hayan degradado en especies de bajo peso molecular que pueden ser asimiladas por microorganismos. Esto significa que la biodegradación debe ser precedida por una degradación abiótica que resulte en productos monoméricos y productos oligoméricos. Se ha demostrado que alcoholes, ácidos carboxílicos, cetonas y otros productos de la oxo-biodegradación, pueden ser utilizados por los microorganismos como nutrientes para producir biomasa.<sup>[2]</sup>

Dado que los rellenos sanitarios se presentan actualmente como el principal método de disposición de desechos sólidos en Costa Rica, es de suma importancia validar y comprobar la idoneidad de estos nuevos plásticos amigables con el ambiente una vez que estos sean desechados en los rellenos sanitarios.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### 2.1 Tipos de plásticos degradables

Los plásticos degradables pueden ser clasificados de dos maneras:

- De acuerdo con la forma en que el material se degrada. Estos pueden requerir de calor, luz ultravioleta, presencia de agua o microorganismos.
- De acuerdo con los materiales con los que los plásticos degradables son producidos: a partir de polímeros de almidón, polímeros sintéticos o de mezclas de polímeros convencionales con aditivos específicos para facilitar la degradación.<sup>[13]</sup>

##### 2.1.1 Formas de degradación de los polímeros

Los polímeros se pueden degradar de diferentes maneras. A continuación se describen algunas de ellas:

- Polímeros biodegradables: son aquellos capaces de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, donde el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos.
- Polímeros compostables: son aquellos que se pueden degradar bajo condiciones de compostaje. Para considerar un polímero como compostable, este debe deshacerse ante la acción de microorganismos (bacterias, hongos, algas), debe alcanzar una mineralización total (conversión en dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa bajo condiciones aeróbicas) y la tasa de mineralización debe ser alta para que sea compatible con el proceso de compostaje.
- Polímeros oxodegradables: son aquellos que tienen una degradación controlada por medio de la incorporación de aditivos prodegradantes (aditivos que activan y aceleran el proceso de degradación). Estos polímeros presentan una degradación por medio de oxidación acelerada iniciada por luz natural y/o calor, volviéndose frágiles y erosivos bajo la influencia del medio ambiente.
- Polímeros fotodegradables: son aquellos que se degradan por la acción de luz ultravioleta (UV), que ataca el enlace químico en el polímero. Este proceso puede ser acelerado utilizando aditivos sensibles a la luz UV en el polímero.
- Polímeros solubles en agua: son aquellos polímeros que se disuelven en agua en un rango de temperatura predeterminado, luego de biodegradan al entrar en contacto con microorganismos.<sup>[13]</sup>

### 2.1.2 Materias primas utilizadas para la producción de polímeros degradables

Los diferentes polímeros degradables se fabrican a partir de materias primas distintas, entre estas se encuentran:

- Polímeros termoplásticos basados en almidón: fabricados con un 90% o más de almidón proveniente de fuentes renovables como maíz, papa, yuca y trigo.
- Poliésteres: fabricados a partir de hidrocarburos (gas o petróleo). Todos los poliésteres se degradan eventualmente, con tasas de degradación que pueden tomar desde semanas hasta décadas.
- Mezclas de almidón y poliésteres: productos que combinan almidón con poliésteres fabricados a partir de hidrocarburos.
- Polímeros sintéticos con aditivos prodegradantes: polímeros fabricados a partir de hidrocarburos, mezclados con aditivos prodegradantes.<sup>[13]</sup>

## 2.2 Plásticos Oxodegradables

Durante la segunda mitad del siglo XX surgió la idea de alcanzar polímeros vinílicos degradables en el medio ambiente y de bajo costo, enfocándose principalmente en las poliolefinas.<sup>[1]</sup>

Las principales estrategias para superar la resistencia intrínseca del polietileno (PE) al ataque biológico, se enfocaron en la introducción de grupos funcionales y sustancias capaces de promover la formación de precursores de radicales libres (por ejemplo, hidroperóxidos) por descomposición fotofísica y térmica, e inducir la segmentación de la estructura macromolecular.<sup>[1]</sup>

Las poliolefinas comerciales son resistentes a la oxidación y a la biodegradación debido a la presencia de antioxidantes y estabilizadores. Sin embargo, estas se pueden volver oxodegradables utilizando aditivos prodegradantes. En los plásticos oxodegradables, el material se degrada por una reacción de cadena por radicales libres utilizando el oxígeno presente en la atmósfera. Los productos primarios son hidroperóxidos, que se pueden termolizar o fotolizar bajo la acción catalítica del prodegradante, lo que conlleva a la ruptura de la cadena y genera productos de la oxidación de bajo peso molecular, como ácidos carboxílicos, alcoholes, cetonas y ceras de hidrocarburos. La peroxidación también modifica la superficie hidrofílica, lo que es favorable para los microorganismos.<sup>[2]</sup>

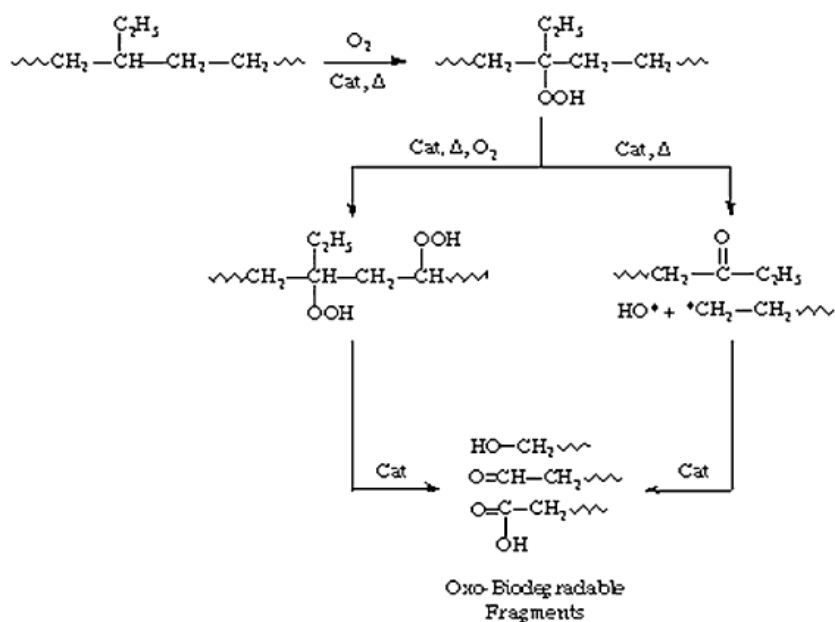
### 2.3 Mecanismos de Oxidación de los Plásticos Oxodegradables

Los hidroperóxidos eventualmente se descomponen en la presencia de calor, luz y iones metálicos, llevando esto a la formación de radicales macro-alcoxi, con la autooxidación del polietileno por medio de clásicas reacciones en cadena de radicales libres.<sup>[2]</sup>

Los hidroperóxidos son de fundamental importancia para la degradación de los polímeros. Los radicales libres producidos por su disociación son los iniciadores principales de la reacción de peroxidación de las cadenas, además, la peroxidación es la fuente de los productos de bajo peso molecular apropiados para la bioasimilación de microorganismos.<sup>[3]</sup>

Las principales consecuencias de la oxidación térmica de poliolefinas son la ruptura de la cadena principal y el entrecruzamiento. En la presencia de oxígeno, la ruptura de la cadena y la oxidación de las macromoléculas son las reacciones predominantes.<sup>[2]</sup>

En la Figura 2.1 se muestran las reacciones explicadas anteriormente.



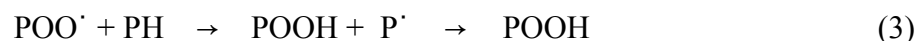
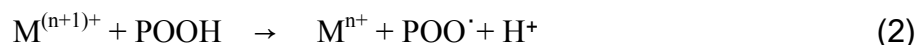
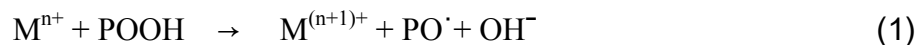
**Figura 2.1** Reacciones de peroxidación.<sup>[1]</sup>

Los hidroperóxidos son relativamente estables a temperatura ambiente en la ausencia de promotores de descomposición, siendo los más importantes la luz ultravioleta y los iones de metales de transición.<sup>[3]</sup>

La activación de la descomposición por hidropoxidación por luz ultravioleta es la causa principal de la peroxidación de las poliolefinas a la luz del sol. Por lo tanto, la

peroxidación y la degradación física de los polímeros de hidrocarbóno al aire libre, es mucho más rápida bajo la luz del sol que en la oscuridad a la misma temperatura.<sup>[3]</sup>

Las trazas de los metales de transición han sido tradicionalmente una amenaza para la estabilidad oxidativa de los polímeros. Los catalíticos de metales de transición reaccionan con hidroperóxidos de polímeros de la siguiente manera:



Los compuestos solubles de Cu, Mn, Fe, Cr y Co son los promotores más efectivos de la peroxidación mientras que las sales de Ni, Ce, V, Ti y Zn son menos efectivas. Los metales de transición además son foto-iniciadores de la peroxidación.<sup>[3]</sup>

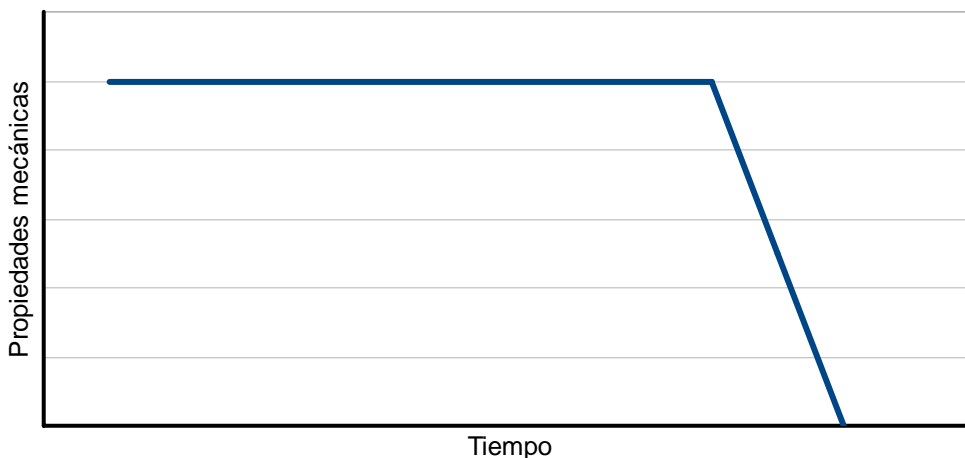
El efecto físico más importante de la peroxidación en los polímeros de hidrocarbónos es la reducción de la masa molar del polímero, lo que conlleva al deterioro de las propiedades mecánicas. La peroxidación, ya sea abiótica o biológicamente iniciada lleva a la formación de especies químicas hidrofílicas como ácidos carboxílicos y alcoholes particularmente en las capas externas de los polímeros. Este efecto hace que los polímeros se vuelvan mucho más accesibles a los microorganismos que son capaces de colonizar la superficie y utilizar las especies oxigenadas de baja masa molar como nutrientes en la ausencia de otras fuentes de carbono.<sup>[3]</sup>

## 2.4 Fundamentos y comportamiento ideal de los plásticos oxodegradables

Muchas de las aplicaciones de los polímeros degradables requieren estabilidad ante el medio ambiente por semanas, meses o años, dependiendo de cada una de las aplicaciones. Las poliolefinas oxodegradables, debido a su capacidad de ser estabilizadas contra el ataque de microorganismos tienen ventajas inherentes sobre otros polímeros que son atacados por microorganismos.<sup>[3]</sup>

Un polímero degradable debe ser capaz de mantener todas sus propiedades mecánicas por un período determinado y luego debe presentarse una caída significativa de las mismas en un corto período de tiempo. En la Figura 2.2, se muestra el comportamiento ideal de un polímero degradable.

### Comportamiento ideal de un polímero degradable



**Figura 2.2** Comportamiento ideal de un polímero degradable.<sup>[3]</sup>

Los compuestos prooxidantes de metales de transición típicos (estearatos de hierro, cobalto o manganeso) son usados comercialmente para inducir la peroxidación en plásticos degradables. Sin embargo, dichos prooxidantes por sí solos no tienen utilidad práctica en productos comerciales a menos que sean desactivados durante la fabricación de los polímeros. Lo anterior debido a que la degradación oxidativa comienza durante el procesamiento, resultando entonces en productos inservibles, particularmente al ser expuestos al medio ambiente.<sup>[3]</sup>

Los ditiolatos de metales de transición (MRDC por sus siglas en inglés) combinan funciones antioxidantes y prooxidantes en la misma molécula. Los MRDC actúan como estabilizadores de proceso durante la manufactura y como antioxidantes durante el almacenamiento, pero son muy sensibles a la luz y pasan muy rápidamente de estabilizadores UV a prooxidantes una vez expuestos al aire libre. Al variar la concentración del aditivo, se puede modificar tanto el tiempo de inducción como la velocidad de la pérdida de las propiedades mecánicas una vez transcurrido el tiempo de inducción.<sup>[3]</sup>

## 2.5 Propiedades mecánicas de los polímeros

La resistencia a la tensión se define como el estrés máximo que un material puede soportar al ser sometido a tensión, compresión o cizalladura. El porcentaje de elongación máximo que alcanza una muestra antes de que se rompa cuando es sometida a tensión se conoce como la resistencia a la elongación de un material.<sup>[14]</sup>

Una práctica común consiste en establecer un valor mínimo de resistencia a la tensión como criterio para determinar la calidad de un componente o material plástico. Dado que la resistencia a la elongación es la propiedad que define a los materiales elastoméricos, al igual que para la resistencia a la tensión, un valor mínimo de resistencia a la elongación es referido como parte de las especificaciones de los elastómeros (polímeros que muestran un comportamiento elástico).<sup>[14]</sup>

Los cambios en las propiedades mecánicas de los materiales plásticos debido a degradación molecular o envejecimiento, pueden ser evaluados por medio del análisis de la resistencia a la tensión y a la elongación. Dichos cambios pueden alterar significativamente la habilidad del material plástico para soportar estrés y aunque los resultados de los análisis de tensión y elongación no sirven para determinar las causas de la degradación, son muy útiles para determinar la magnitud de la misma.<sup>[14]</sup>

Las normas ASTM D638 (para plásticos con espesores iguales o mayores a 1 mm) y ASTM D882 (para plásticos con espesores menores a 1mm) son las más utilizadas para determinar las propiedades mecánicas de los plásticos, tales como resistencia a la tensión y resistencia a la elongación. Dichas normas detallan los alcances, equipos, muestras a evaluar, procedimiento y cálculos relacionados con la evaluación de las propiedades mecánicas de los plásticos.<sup>[14]</sup>

## 2.6 Rellenos Sanitarios

### 2.6.1 Definición de relleno sanitario

El relleno sanitario es definido por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles como: “Un método para la disposición de basuras en el suelo sin detrimento al medio ambiente, sin causar molestias y sin causar peligros para la salud y seguridad pública; utilizando principios de ingeniería para confinar las basuras en un área lo más pequeña posible a la vez que reducir las al volumen más pequeño que sea practicable, y cubrir las basuras así depositadas con una capa de tierra diariamente –al fin de la jornada- o más frecuentemente –tan frecuentemente como sea necesario-”.<sup>[15]</sup>

### 2.6.2 Composición y características del gas de relleno sanitario

El gas de un relleno sanitario está compuesto de gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Los gases principales proceden de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.<sup>[16]</sup>

Los gases principales que se encuentran en un relleno sanitario incluyen amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). El metano y el dióxido de

carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos en los residuos sólidos urbanos.<sup>[16]</sup>

La distribución típica de los componentes del gas de rellenos sanitarios es:

**Cuadro 2.1.** Distribución porcentual típica de los gases de rellenos sanitarios<sup>[16]</sup>

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (base volumen seco) %</b>
Metano	45-60
Dióxido de Carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxígeno	0.1-1.0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos	0-1.0
Amoníaco	0.1-1.0
Hidrógeno	0-0.2
Monóxido de Carbono	0-0.2
Constituyentes en cantidades traza	0.01-0.6

Los componentes orgánicos de los desechos sólidos de un relleno sanitario se descomponen por una combinación de procesos, biológicos, químicos y físicos. Aunque la descomposición física y química son factores importantes en el proceso de descomposición de un relleno sanitario, la descomposición biológica se presenta como la más importante, ya que, por ejemplo, es la que controla los niveles de pH del relleno sanitario, que a su vez determinan el grado de disolución química.<sup>[17]</sup>

La información disponible sobre la composición de los gases de un relleno sanitario varía ampliamente desde 0 a 70 por ciento metano y desde 0 a 90 por ciento dióxido de carbono. La descomposición aeróbica produce la misma cantidad de moles de dióxido de carbono que los moles consumidos de oxígeno, por lo tanto, en teoría, cualquier concentración de dióxido de carbono mayor al 20% indica que se están dando procesos adicionales a la descomposición aeróbica.<sup>[17]</sup>

La descomposición anaeróbica produce la concentración máxima de dióxido de carbono, registrando valores de hasta 90%. Una vez que se alcanza la etapa de formación de metano,



las concentraciones de dióxido de carbono varían entre 40 y 50%, valores de 45% son típicos para rellenos sanitarios en descomposición activa.<sup>[17]</sup>

La composición general de los desechos de un relleno sanitario es un factor obvio, que junto con la materia en proceso de descomposición en un punto particular en el tiempo y el espacio, afectan y determinan la tasa de generación de gases y su composición en ese punto.<sup>[17]</sup>

### **2.6.3 Fases de la descomposición biológica de los desechos de un relleno sanitario.**

Las bacterias descomponen los desechos orgánicos en cuatro fases. La composición del gas producido en cada una de las cuatro etapas es diferente, y generalmente, los desechos presentes en los rellenos sanitarios están siendo sometidos a varias fases simultáneamente.<sup>[18]</sup>

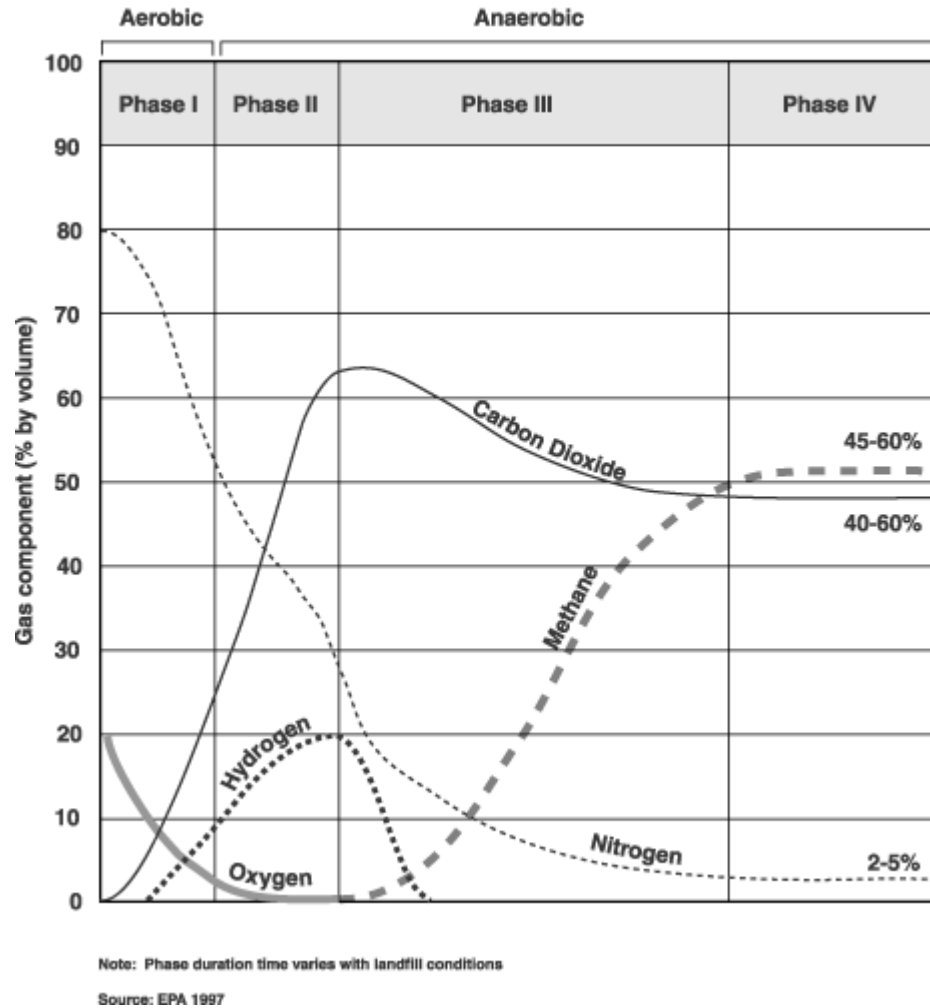
Fase I: las bacterias aerobias consumen oxígeno mientras rompen las largas cadenas moleculares de carbohidratos, proteínas y lípidos que comprenden el desecho orgánico. El principal coproducto de este proceso es el dióxido de carbono. La presencia de nitrógeno es alta al principio de esta fase, pero disminuye conforme el relleno sanitario experimente las cuatro fases de degradación. La Fase I continúa hasta que el oxígeno disponible sea consumido, esta fase puede tardar días o meses dependiendo de cuanto oxígeno esté presente cuando los desechos son depositados en el relleno sanitario. Los niveles de oxígeno varían también de acuerdo con factores tales como que tan comprimido esté el desecho cuando fue dispuesto en el relleno.<sup>[18]</sup>

Fase II: esta inicia una vez que el oxígeno presente en el relleno sanitario haya sido consumido. Por medio de un proceso anaeróbico, las bacterias convierten compuestos creados por bacterias aerobias en ácido acético, ácido láctico, ácido fórmico y alcoholes tales como metanol y etanol. El relleno sanitario se torna altamente ácido. Los coproductos gaseosos de esta fase son dióxido de carbono e hidrógeno. Si las condiciones del relleno sanitario son alteradas o si oxígeno es introducido de alguna manera en el relleno sanitario, los procesos microbianos volverán a la Fase I.<sup>[18]</sup>

Fase III: en esta fase, algunas bacterias anaerobias consumen los ácidos orgánicos producidos en la Fase II y forman acetato. Este proceso logra que el relleno sanitario alcance condiciones más neutrales de pH, lo que permite que las bacterias productoras de metano actúen.<sup>[18]</sup>

Fase IV: inicia cuando tanto la composición como la tasa de producción de gases de relleno sanitario se mantienen relativamente constantes. En esta fase, el gas es producido de forma estable, aproximadamente por 20 años, sin embargo, el gas seguirá siendo emitido por 50 o más años luego de que los desechos sean colocados en el relleno sanitario.<sup>[18]</sup>

En la Figura 2.3, se pueden observar los porcentajes aproximados de cada uno de los gases principales presentes a lo largo de las cuatro fases de descomposición típicas de un relleno sanitario.



**Figura 2.3** Porcentajes aproximados de los gases principales en las cuatro fases de degradación.<sup>[18]</sup>

## Capítulo 3

### Materiales, Equipo y Metodología Experimental

#### 3.1 Materiales

Se utilizan películas de polietileno producidas por el proceso de extrusión por soplado, con cadenas moleculares de Polietileno Lineal de Baja Densidad (LLDPE por sus siglas en inglés), Polietileno de Baja Densidad (LDPE por sus siglas en inglés) y Polietileno de Alta Densidad (HDPE por sus siglas en inglés).

Las principales características de cada una de las muestras utilizadas se detallan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Materiales utilizados para el desarrollo del proyecto

Fecha de Fabricación de la muestra	Distribución de la cadena polimérica	Pigmento	Contiene Aditivo Prodegradante (Oxodegradable)	Espesor
Junio 2005	LLDPE/LDPE	Blanco	Sí	58.4 micras
Mayo 2008	LLDPE/LDPE	Blanco	No	58.4 micras
Mayo 2008	LLDPE/LDPE	Verde	Sí	20.3 micras
Mayo 2008	LLDPE/LDPE	Verde	No	20.3 micras
Abril 2007	HDPE	Negro	Sí	17.8 micras
Mayo 2008	HDPE	Negro	No	17.8 micras

#### 3.2 Equipo de Medición

En el Cuadro 3.2 se muestran las especificaciones correspondientes a los equipos de laboratorio utilizados para realizar los diferentes análisis durante el desarrollo del proyecto:

**Cuadro 3.2** Especificaciones de los equipos de laboratorio utilizados

<b>Equipo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>
Universal Testing Machine	Shimadzu Corporation	Autograph AGS-J Series
FT-IR Spectrometer	Perkin Elmer	FT-IR Spectrometer Spectrum One

Además, se utilizan cuchillas, papel autoadhesivo y moldes metálicos para cortar las muestras en los tamaños requeridos para los análisis.

### 3.3 Metodología Experimental

#### 3.3.1 Variables de Medición

Para cuantificar la degradación de las muestras sometidas a las condiciones reales de un relleno sanitario, se miden las siguientes características:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la elongación
- Variación del índice carbonilo por medio de espectroscopia infrarroja

#### 3.3.2 Métodos de Análisis

Para evaluar las propiedades mecánicas de las muestras (tensión y elongación), se cortan especímenes de acuerdo con la norma ASTM D882 para luego ser sometidas a esfuerzos de tensión utilizando un Universal Testing Machine, marca Shimadzu, modelo AGS-J Series. Se utiliza papel autoadhesivo para proteger las muestras y evitar que las mismas se dañen al tener contacto directo con las mordazas de la máquina. Los especímenes evaluados tienen dimensiones de 65mm de largo por 25mm de ancho. La velocidad de estiramiento utilizada es de 254 mm/min. Se mantiene la temperatura controlada de laboratorio a 22°C durante las pruebas.

El análisis de espectroscopia infrarroja (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) indica la presencia de grupos carbonilos como señal de la oxidación de la cadena molecular. Dicho análisis, se realiza utilizando un espectrofotómetro IR, marca Perkin Elmer, modelo FT-IR Spectrometer Spectrum One. Se escanea la región espectral entre 450  $\text{cm}^{-1}$  y 4000 $\text{cm}^{-1}$ , poniendo atención especial a la región carbonilo que se ubica alrededor de 1705  $\text{cm}^{-1}$  a 1740  $\text{cm}^{-1}$ .

#### 3.3.3 Diseño del Experimento

Dado que en la industria de conversión de plástico se considera que un material se encuentra en proceso avanzado de degradación cuando sus propiedades mecánicas son 50% menores que las propiedades mecánicas iniciales del mismo material y tomando en consideración la opinión de expertos en el tema, se puede considerar que el tiempo de exposición definido para la presente investigación es muy corto para que los materiales alcancen estados de degradación avanzada, por lo que se se determina que los materiales

expuestos por un año a condiciones reales de rellenos sanitarios presentan niveles conformes de degradación, cuando las propiedades mecánicas de los materiales alcancen un 75% de su valor inicial.

Se evalúan las propiedades mecánicas (tensión y elongación) y químicas (presencia de grupos carbonilos) de las muestras detalladas en el Cuadro 3.1. Dichas evaluaciones se hicieron antes de enterrar las muestras y someterlas a las condiciones reales de los rellenos sanitarios.

Se utilizaron bolsas de diferentes colores para facilitar su distinción al momento de desenterrarlas y evaluarlas. Dado que los aditivos agregados a los plásticos para cambiar el color de los mismos son utilizados en muy bajos porcentajes y los mismos no afectan la composición molecular del plástico, se considera que el color de las bolsas no es una variable experimental.

Se confeccionan 6 cajas de madera con cedazo de 2.54 cm x 2.54 cm como paredes para colocar las muestras durante el período que se encuentren enterradas, de manera que estén siempre en contacto con todos los elementos propios de un relleno sanitario.



**Figura 3.1** Caja utilizada para enterrar las muestras plásticas en los rellenos sanitarios

En cada una de las cajas, se colocaron muestras de cada uno de los plásticos detallados en el Cuadro 3.1. Las cajas con las muestras se enterraron en los rellenos sanitarios de Los Mangos (Alajuela, Alajuela) y Río Azul (La Unión, Cartago).

En cada uno de los rellenos sanitarios se enterraron 3 cajas, para desenterrar una por una a los 3 meses, 6 meses y 12 meses. Se escogieron dichos períodos de tiempo ya que se consideró que eran adecuados para poder observar diferencias en el comportamiento de los plásticos. Las cajas se entierran a una profundidad promedio de 110 cm en ambos rellenos sanitarios.



**Figura 3.2** Cajas enterradas en los rellenos sanitarios de (a.)Los Mangos y (b.)Río Azul

Transcurridos los períodos de 3, 6 y 12 meses, las muestras son extraídas y evaluadas utilizando los métodos de análisis mencionados anteriormente.

Las fechas en las que las cajas fueron enterradas y extraídas son:

**Cuadro 3.3** Fechas en que las muestras plásticas fueron enterradas y extraídas.

<b>Acción</b>	<b>Relleno Sanitario Los Mangos</b>	<b>Relleno Sanitario Río Azul</b>
Entierro de 3 cajas con todas las muestras.	2 de Agosto del 2008	9 de Agosto del 2008
Extracción de la primera caja con muestras para evaluación.	1° de Noviembre del 2008	5 de Noviembre del 2008
Extracción de la segunda caja con muestras para evaluación.	14 de Febrero del 2009	21 de Febrero del 2009
Extracción de la tercera caja con muestras para evaluación.	15 de Agosto del 2009	21 de Agosto del 2009

Una vez evaluadas las propiedades de las muestras desenterradas, se comparan los resultados obtenidos para las muestras de plásticos tradicionales y plásticos oxodegradables en los rellenos sanitarios.

### 3.3.4 Resumen del Experimento

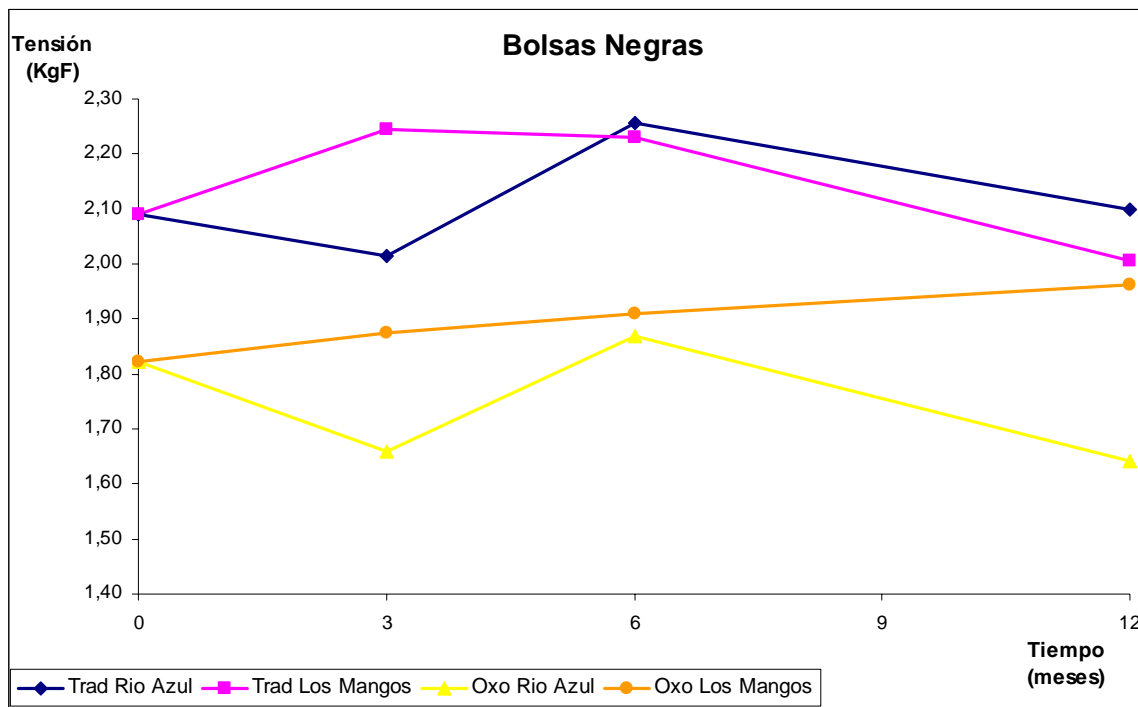
- Tipos de materiales a utilizar:
  - \* Plástico Tradicional Negro
  - \*Plástico Oxodegradable Negro
  
  - \*Plástico Tradicional Verde
  - \*Plástico Oxodegradable Verde
  
  - \*Plástico Tradicional Blanco
  - \*Plástico Oxodegradable Blanco
  
- Rellenos Sanitarios:
  - \*Relleno Sanitario Río Azul (en cierre técnico)
  - \*Relleno Sanitario Los Mangos (en operación)
  
- Períodos de exposición/muestreo:
  - \*0 meses
  - \*3 meses
  - \*6 meses
  - \*12 meses
  
- Variables de medición:
  - \*Resistencia a la tensión
  - \*Resistencia a la elongación
  - \*Índice carbonilo
  
- Variables experimentales:
  - \*Diferencias del comportamiento de los materiales entre los dos rellenos sanitarios utilizados.
  - \*Diferencias entre el comportamiento de los plásticos tradicionales y los plásticos oxodegradables.
  
- Variables no controladas:
  - \*Humedad en el relleno sanitario
  - \*Cantidad de oxígeno presente en el relleno sanitario
  - \*Condiciones ambientales del relleno sanitario

## Capítulo 4

### Resultados y Discusión de Resultados

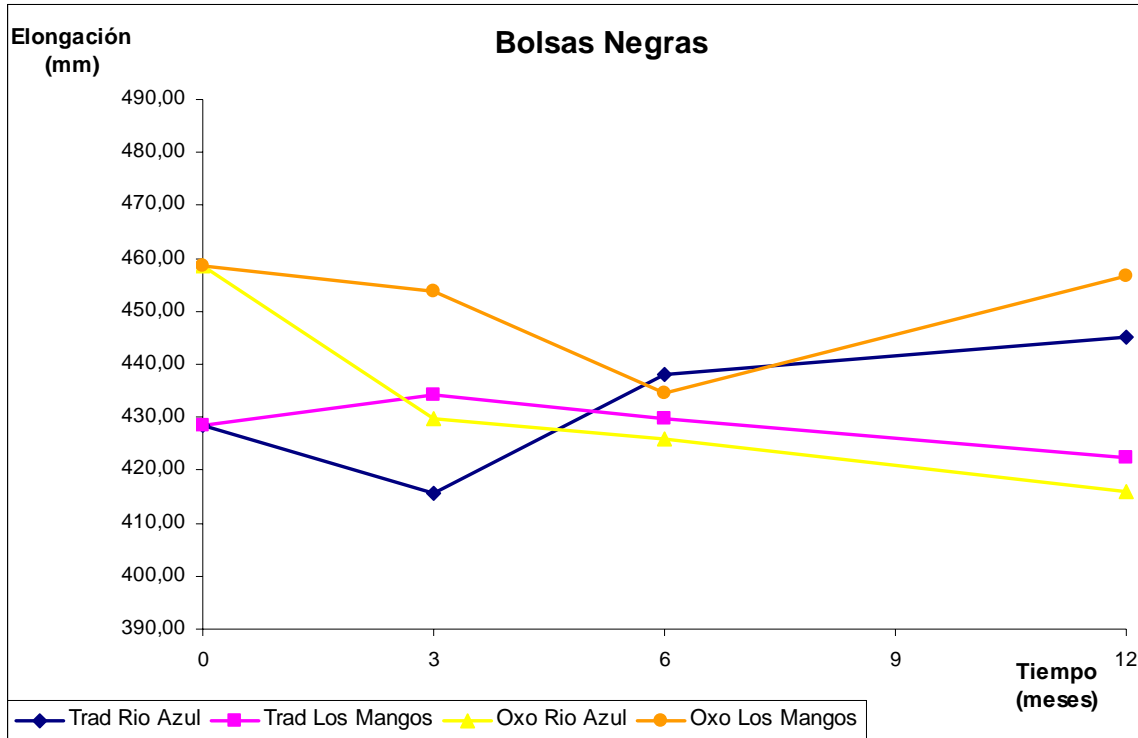
#### 4.1 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas negras.

En las Figuras 4.1 y 4.2, se puede observar gráficamente el comportamiento obtenido de los resultados de resistencia a la tensión y resistencia a la elongación para las bolsas negras analizadas.



**Figura 4.1** Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas negras





**Figura 4.2** Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas negras

Se puede observar que en ninguno de los casos hay una tendencia evidente que indique una degradación considerable de cualquiera de los materiales. Para comprobar dicha observación, se realizan varios análisis estadísticos a los datos experimentales obtenidos de las bolsas negras. En los Cuadros 4.1 y 4.2, se puede observar un resumen de varios de los resultados obtenidos de los análisis estadísticos.

**Cuadro 4.1** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas negras.

Muestra	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	89,6	114,7	2,365	5,723	10,331	6,068
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	90,4	113,0	2,365	7,950	13,646	8,411
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	84,7	107,8	2,365	5,825	9,438	5,138
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	95,4	112,3	2,365	14,972	19,646	9,561

Los intervalos de confianza del 95% para las medias de los resultados de tensión obtenidos en cada uno de los muestreos, se encuentran en el Apéndice B.

En el Cuadro 4.1, se observa que el valor mínimo obtenido en los intervalos de confianza para una de las muestras es de solamente 84,7%, lo que indica que existen solamente un 5% de posibilidades de encontrar un valor de tensión menor a 84,7% del valor inicial de tensión de cualquiera de las muestras.

Se hicieron varias pruebas de hipótesis para verificar si los valores de tensión obtenidos en los muestreos se aproximan al 75% de la media inicial de tensión, demostrando de esta manera si se alcanzó una reducción o degradación de un 25% con respecto a la media inicial.

De acuerdo con los resultados indicados en el Cuadro 4.1, se debe rechazar la hipótesis nula que supone que alguna de las medias de los resultados de tensión obtenidos en los diferentes muestreos es igual a la media del 75% del valor inicial de tensión. Se plantean varias hipótesis nulas que suponen que los resultados de tensión obtenidos en los muestreos son iguales a diferentes porcentajes del valor inicial de tensión (95%, 90%, 85%, etc.). En ninguno de los casos, la hipótesis nula se cumple para valores de tensión menores al 85% del valor de tensión inicial de las muestras.

**Cuadro 4.2** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas negras.

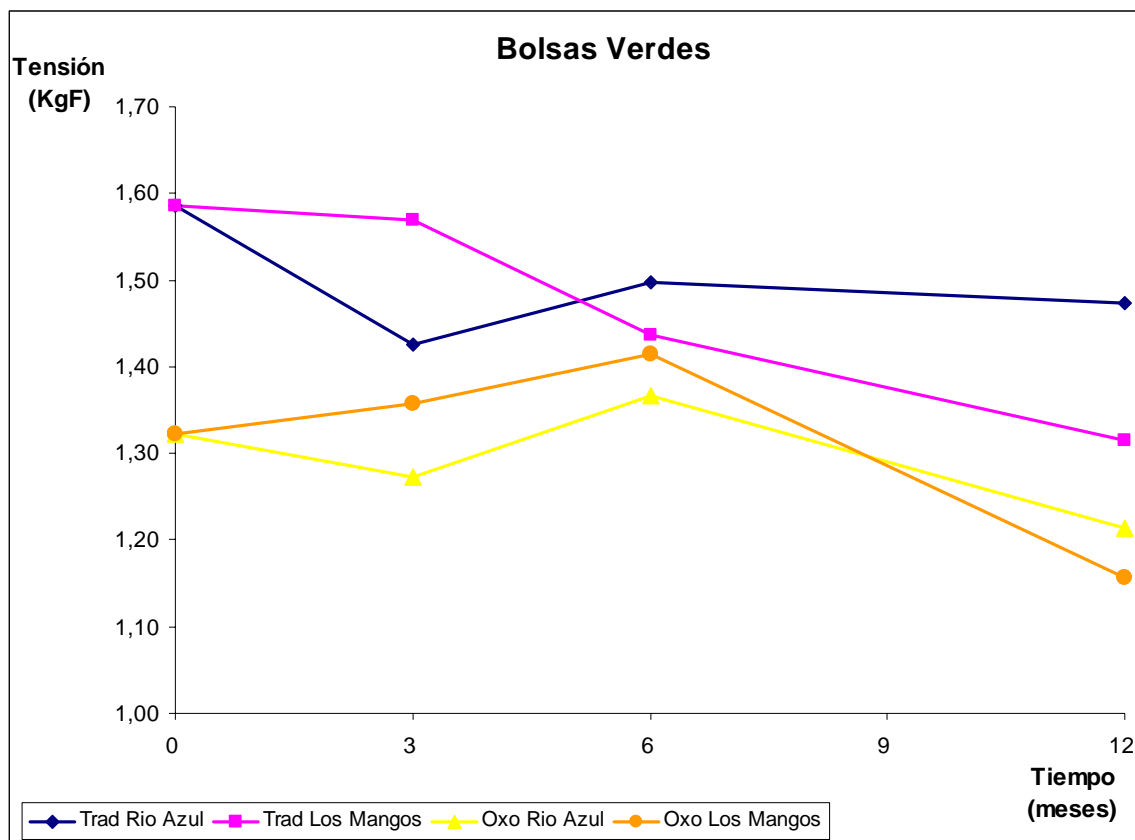
	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	93,1	107,8	2,365	8,469	14,201	21,102
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	95,3	104,7	2,365	17,218	18,325	12,059
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	87,2	103,5	2,365	8,812	11,676	7,783
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	91,8	103,0	2,365	20,738	20,516	10,564

Los porcentajes de elongación obtenidos son muy similares a los resultados de tensión. En el caso de la elongación, el mínimo obtenido en los intervalos de confianza es de 87,2% del valor inicial de elongación. Además, la hipótesis nula que plantea que las medias de los muestreos son iguales al 75% de la media inicial de elongación se rechaza dado que  $t_y$  es mayor que  $t_{(0.05, 7)}$ . Tras plantear varias hipótesis nulas, se obtiene que las mismas solo se aceptan cuando se plantea que las medias de los resultados de elongación son iguales a la media del 90% del valor inicial de elongación.

Las apariencias de todas las muestras de bolsas negras extraídas de los rellenos sanitarios son muy similares entre sí, adicionalmente, los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas indican que las mismas mantienen sus propiedades luego de un año de haber sido enterradas, por lo tanto, se concluye que las muestras de bolsas negras oxodegradables y tradicionales no se degradaron al ser enterradas en los rellenos sanitarios.

#### 4.2 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas verdes.

Los resultados obtenidos para las bolsas verdes enterradas son muy similares a los resultados de las bolsas negras. Ninguna de las muestras de color verde enterradas presenta señales reales de degradación avanzada. En las Figuras 4.3 y 4.4, se observan los resultados obtenidos para las pruebas de tensión y elongación realizadas a los materiales.



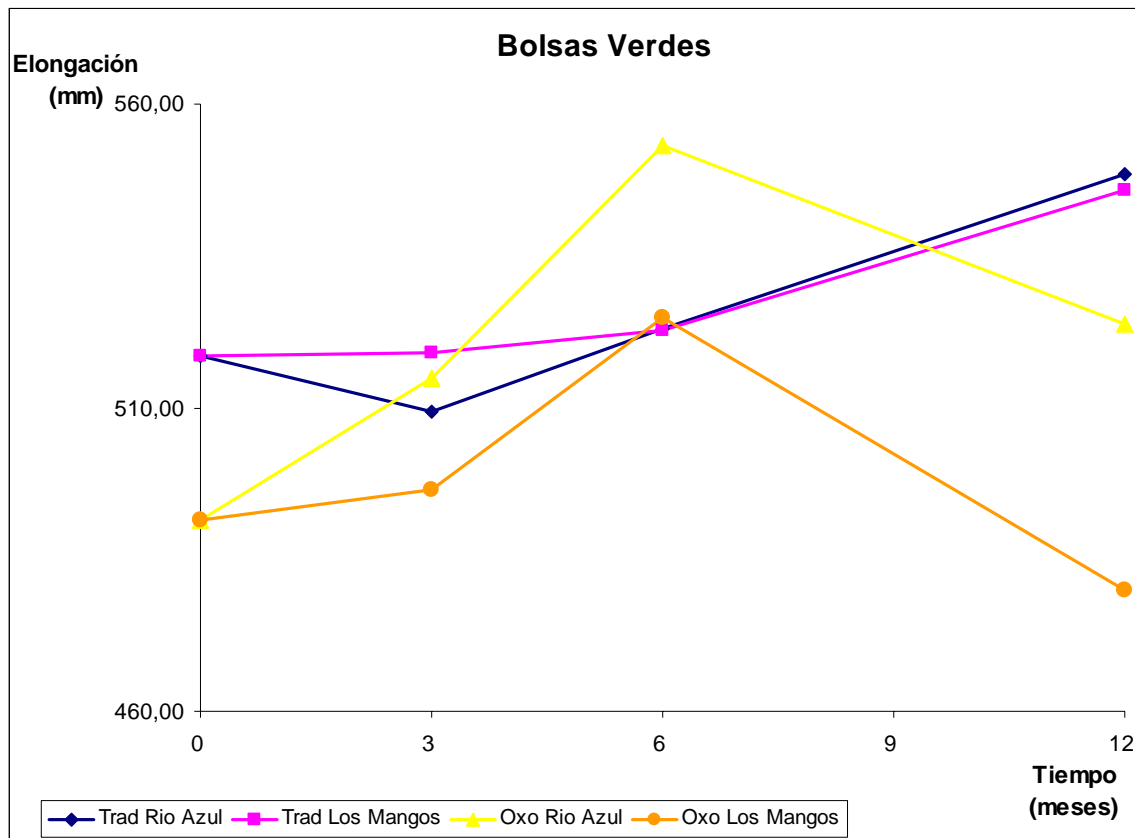
**Figura 4.3** Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas verdes.

En la figura anterior, se puede observar una disminución en la resistencia a la tensión luego de doce meses. Aún así, la disminución observada no alcanza el valor mínimo establecido de un 25% de reducción de tensión con respecto a la media inicial para ninguno de los materiales.

**Cuadro 4.3** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas verdes.

	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	84,5	105,4	2,447	12,871	6,970	5,416
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	77,1	105,8	2,447	8,443	5,238	2,862
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	86,8	108,2	2,447	6,249	23,773	6,587
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	82,5	111,9	2,447	11,060	9,992	6,665

De acuerdo con el Cuadro 4.3, se concluye con un nivel de significancia de 0.05, que ninguno de las medias de los materiales expuestos se iguala al 75% de la media inicial, lo que indica que no hubo una disminución significativa en la resistencia a la tensión de las muestras.



**Figura 4.4** Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas verdes.

Los resultados de elongación obtenidos no reflejan una tendencia real, por lo que se hace una prueba de rangos múltiples de Duncan para determinar si existen diferencias reales entre los resultados obtenidos en cada uno de los períodos de exposición para las bolsas tradicionales enterradas en ambos rellenos sanitarios.

En el Apéndice B, Cuadro B.73 a Cuadro B.76, se detallan los resultados obtenidos para las Pruebas de Rangos Múltiples de Duncan realizadas, se concluye que no existe una diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la elongación obtenidos para las bolsas tradicionales enterradas en Los Mangos, pero para las bolsas tradicionales enterradas en Río Azul sí existe una diferencia entre los resultados obtenidos después de doce meses de exposición y los demás períodos de exposición. Se puede asegurar entonces que los resultados obtenidos luego de doce meses de exposición en Río Azul de las bolsas tradicionales, son mayores que los demás resultados obtenidos y es posible que la muestra obtenida en este caso, presente una diferencia física con el resto de las muestras, dicha variación se puede justificar por las diferencias de espesor inevitables durante la fabricación de la película.

Al igual que los resultados de tensión, los resultados de elongación no demuestran una pérdida real de las propiedades de los materiales con respecto a las muestras iniciales, esto queda demostrado en el Cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas verdes.

	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	94,9	109,1	2,447	10,084	21,326	16,741
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	96,2	109,0	2,447	15,971	23,397	10,002
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	94,6	117,9	2,447	8,430	28,552	9,487
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	94,4	109,9	2,447	14,090	17,277	26,904

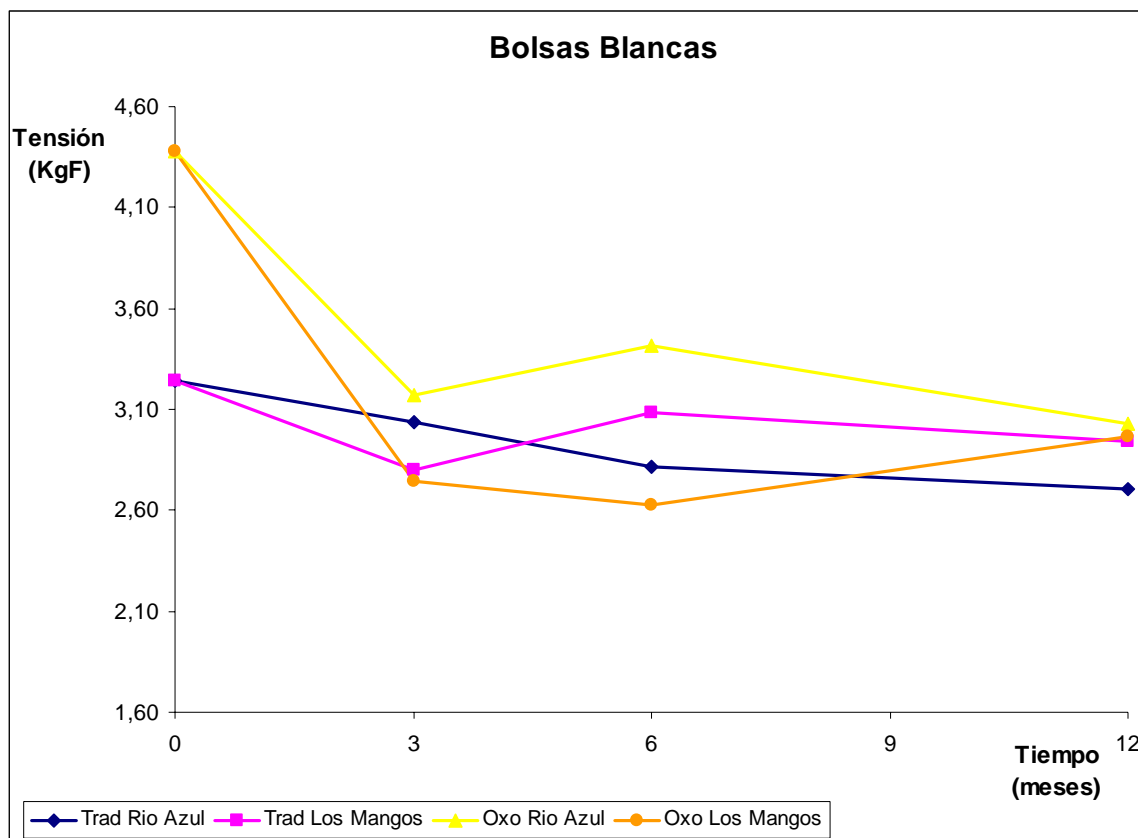
### 4.3 Resultados de tensión y elongación obtenidos para las muestras de bolsas blancas.

Las bolsas blancas enterradas en los rellenos sanitarios presentan una mayor degradación en comparación con las bolsas negras y verdes.

Los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables enterradas presentan disminuciones de hasta un 40% con respecto a la media inicial. Mientras las bolsas blancas tradicionales presentan disminuciones de 21-23% como máximo.

En la Figura 4.5, se puede apreciar una reducción drástica de la resistencia a la tensión para las bolsas oxodegradables tanto en el relleno sanitario Los Mangos como en el relleno sanitario Río Azul.

Aunque las bolsas tradicionales muestran una pequeña disminución de sus propiedades, de acuerdo con los intervalos de confianza establecidos en el Cuadro 4.5, el valor mínimo esperado de los resultados de tensión es de 79% a 82% del valor inicial, lo que significa que no se puede establecer que haya una degradación significativa en estas muestras.



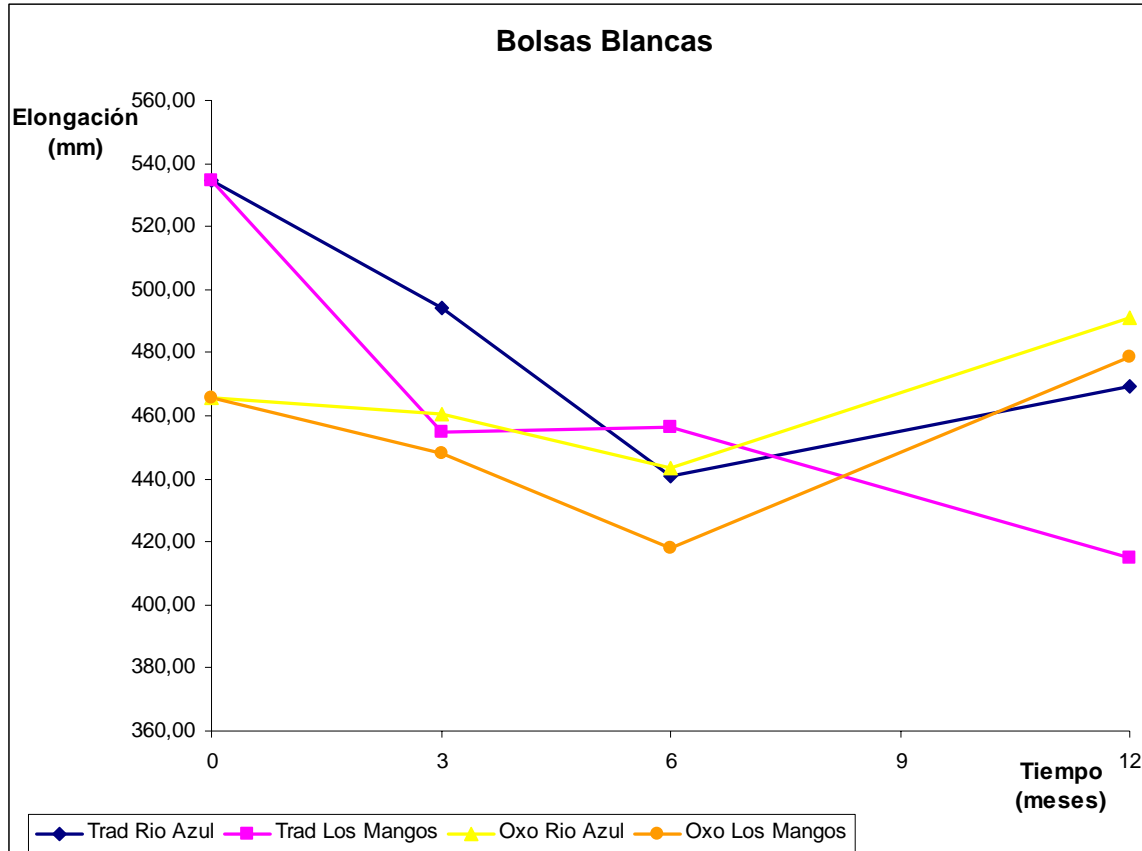
**Figura 4.5** Comportamiento de los resultados de tensión de las bolsas blancas.

**Cuadro 4.5** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de tensión de bolsas blancas.

	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	79,0	104,4	2,571	9,750	4,937	3,152
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	82,6	103,7	2,571	7,755	8,328	8,484
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	64,5	104,7	2,571	4,272	1,650	1,582
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	56,6	103,3	2,571	6,393	14,833	4,637

Como se observa en el Cuadro 4.5, los valores de  $t_9$  de los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables enterradas en Río Azul son menores que  $t_0$ , lo que indica que esas muestras alcanzaron valores cercanos al 75% del valor inicial de resistencia a la tensión para dichas muestras. Para las bolsas oxodegradables enterradas en Los Mangos, los valores de resistencia a la tensión son aún menores que el 75% del valor inicial, es por esto, que los resultados obtenidos para  $t_9$  son mayores que  $t_0$ , los resultados de tensión de las bolsas oxodegradables enterradas en Los Mangos, alcanzan resultados cercanos al 60-70% del valor inicial de las muestras.

Los resultados de resistencia a la elongación obtenidos para las bolsas blancas no muestran una disminución de propiedades significativa como ocurre para los resultados de resistencia a la tensión.



**Figura 4.6** Comportamiento de los resultados de elongación de las bolsas blancas.

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados a los resultados de elongación de las bolsas blancas, mostrados en el Cuadro 4.6, solamente las bolsas tradicionales enterradas en Los Mangos alcanzan valores de elongación cercanos al 75% de la media inicial. Si se toman solamente los resultados de elongación como parámetro para determinar la degradación de los materiales, se puede afirmar entonces que las bolsas blancas no se degradaron.



**Cuadro 4.6** Resultados de análisis estadísticos de datos experimentales de elongación de bolsas blancas.

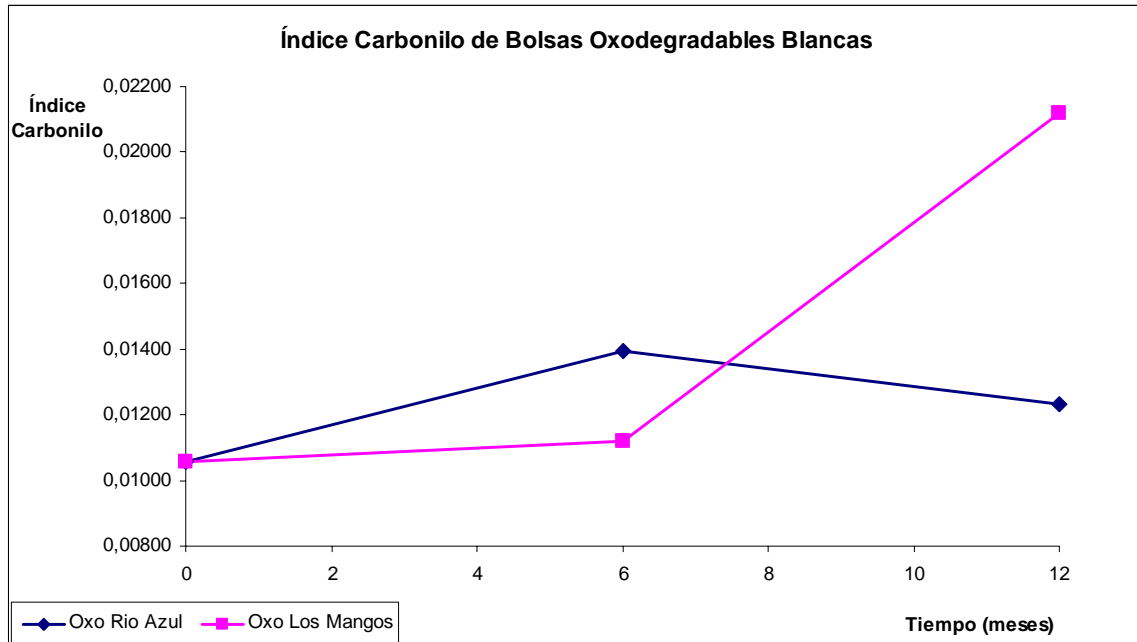
	Intervalo de Confianza ( $\alpha=0.05$ )		Resultado para Prueba t de Student para $t_9$ (pérdida de 25% de propiedades mecánicas)			
	Valor Mínimo Porcentual	Valor Máximo Porcentual	$t_0$	3 meses	6 meses	12 meses
<b>Bolsa Tradicional Río Azul</b>	77,2	105,2	2,571	11,299	2,359	5,505
<b>Bolsa Tradicional Los Mangos</b>	73,7	103,9	2,571	16,490	4,309	3,604
<b>Bolsa Oxo Río Azul</b>	89,9	110,9	2,571	19,515	12,557	6,891
<b>Bolsa Oxo Los Mangos</b>	85,8	106,8	2,571	8,526	10,339	14,777

Dado que los resultados de tensión de las bolsas blancas sí mostraron disminuciones significativas de las propiedades de los materiales evaluados, se analizan los resultados obtenidos de los espectros infrarrojos realizados a estos materiales.

Por medio de espectros infrarrojos, se puede determinar la presencia de grupos carbonilos, los cuales evidencian la oxidación de las cadenas moleculares. Se calcula el índice carbonilo que refleja el aumento de grupos carbonilos en las muestras a lo largo de los diferentes períodos de exposición.

Los resultados de los análisis por espectroscopia realizados a las bolsas blancas tradicionales indican que en ninguna de las muestras expuestas en ninguno de los períodos de exposición hay presencia de grupos carbonilos.

En el caso de las bolsas blancas oxodegradables, sí hay presencia de grupos carbonilos como lo demuestra la Figura 4.7.



**Figura 4.7** Índice Carbonilo de las bolsas blancas oxodegradables

Hay presencia de grupos carbonilos en las bolsas blancas oxodegradables aún antes de ser enterradas y expuestas a las condiciones de los rellenos sanitarios.

En el relleno sanitario Río Azul, el índice carbonilo de las bolsas oxodegradables aumenta al transcurrir 6 meses y luego de doce meses disminuye ligeramente, esta diferencia no es significativa. Se concluye que sí hay un ligero aumento del índice carbonilo al exponer las bolsas a las condiciones del relleno sanitario Río Azul.

En el relleno sanitario de Los Mangos, existe un ligero aumento del índice carbonilo luego de seis meses, pero transcurrido este período se da un aumento drástico que demuestra un aumento significativo en la presencia de grupos carbonilos formados por la oxidación de las cadenas moleculares.

#### **4.4 Comparación del comportamiento de las bolsas en ambos rellenos sanitarios.**

En el Capítulo 2, se explicó como los rellenos sanitarios presentan diferentes reacciones y condiciones de acuerdo con el tipo de desecho que esté enterrado en el relleno, la fase de descomposición en la que se encuentre el relleno, las condiciones ambientales y muchos otros factores que pueden afectar el pH del terreno, la presencia de lixiviados, la generación de metano y todas las demás características propias de un relleno sanitario. Estas características o condiciones propias de los rellenos sanitarios pueden influir directamente en el grado de degradación de las diferentes muestras de plásticos que se están evaluando.

Dado que las bolsas negras y verdes no muestran señales reales de degradación en ninguno de los dos rellenos sanitarios, no se puede suponer una diferencia real en el comportamiento de los materiales en ninguno de los dos ambientes a los que fueron expuestos.

Las bolsas blancas tradicionales tienen el mismo comportamiento en cuanto al comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales y presencia de grupos carbonilos en las muestras expuestas.

Las bolsas blancas oxodegradables también presentan el mismo comportamiento con respecto a los resultados de resistencia a la tensión y resistencia a la elongación en ambos rellenos sanitarios. Transcurridos doce meses de exposición en ambos rellenos sanitarios las bolsas oxodegradables presentan una mayor presencia de grupos carbonilos en el relleno sanitario de Los Mangos, esto se concluye tras comparar el índice carbonilo de los materiales en ambos rellenos sanitarios.

Dado que el relleno sanitario Río Azul estaba en proceso de cierre técnico cuando se llevó a cabo la investigación, mientras el relleno sanitario Los Mangos se encontraba activo y en plena operación, es de suponer que una mayor actividad de reacciones de descomposición química, biológica y física, junto con una mayor cantidad de oxígeno presente en el relleno sanitario Los Mangos influyeron ligeramente en la degradación de las bolsas blancas oxodegradables obteniendo por lo tanto una mayor cantidad de grupos carbonilos en las muestras obtenidas del relleno sanitario Los Mangos.

#### **4.5 Comparación del comportamiento de las bolsas tradicionales y las bolsas oxodegradables.**

De acuerdo con los resultados obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas, dado que ninguna de las muestras de bolsas negras y bolsas verdes enterradas presentan señales de degradación, no se puede concluir que exista diferencia alguna entre el comportamiento de las bolsas tradicionales y las bolsas oxodegradables en estos dos casos.

Tal como se discutió anteriormente, las bolsas blancas oxodegradables sí presentan mayor degradación que las bolsas blancas tradicionales. Las propiedades mecánicas de las bolsas oxodegradables presentan una mayor disminución que las propiedades mecánicas de las bolsas tradicionales, adicionalmente, el índice carbonilo que indica el avance de la oxidación en las cadenas moleculares, tiende a aumentar en las bolsas oxodegradables de ambos rellenos sanitarios, mientras en las bolsas tradicionales no hay presencia de grupos carbonilos.

Dado que los aditivos de color agregados a los plásticos no cambian la estructura molecular de los polímeros y por lo tanto no deberían afectar el estado de degradación que alcancen las muestras aunque las mismas sean de diferente color, la única diferencia que se podría considerar significativa entre las bolsas blancas oxodegradables y el resto de las

muestras oxodegradables enterradas en los rellenos sanitarios, es la fecha de fabricación de las mismas.

Las bolsas blancas oxodegradables fueron fabricadas en el año 2005, mientras que el resto de las bolsas oxodegradables fueron fabricadas en 2007 (bolsas negras) y 2008 (bolsas verdes). Todas las bolsas fueron enterradas en los rellenos sanitarios en Agosto del 2008.

El comportamiento ideal de un polímero degradable indica que éste debe mantener sus propiedades mecánicas por un período de tiempo mínimo y luego iniciar el proceso de degradación. Debido a que las muestras de bolsas blancas oxodegradables fueron producidas tres años antes de ser enterradas en los rellenos sanitarios y en el análisis por espectroscopia se observó la presencia de grupos carbonilos aún antes de que las bolsas fueran enterradas, esto indica que las bolsas iniciaron su proceso de degradación antes de ser enterradas, y esta degradación continuó luego de haber enterrado las bolsas en los rellenos sanitarios.

La disminución más drástica de las propiedades mecánicas de las bolsas blancas oxodegradables se dio en los primeros tres meses luego de ser enterradas, lo que indica que es en ese período que hubo una degradación más rápida, la cual luego se desaceleró y se mantuvo relativamente constante a lo largo de los restantes nueve meses. Dicho comportamiento lleva a concluir que las condiciones de ambos rellenos sanitarios no son las propicias para obtener una degradación apropiada de las bolsas oxodegradables.

## Capítulo 5

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

- Las bolsas verdes y negras, tradicionales (sin aditivo oxodegradable) y oxodegradables (con aditivo oxodegradable) no presentan una disminución real de sus propiedades mecánicas transcurridos los doce meses de exposición en ambos rellenos sanitarios.
- Las bolsas verdes y negras oxodegradables no se degradaron luego de un período de un año de ser expuestas a las condiciones reales de dos rellenos sanitarios.
- Las bolsas blancas oxodegradables presentan mayor disminución en sus propiedades mecánicas que las bolsas blancas tradicionales.
- Las bolsas blancas oxodegradables alcanzan reducciones de hasta 40% con respecto a la media inicial, mientras las bolsas blancas tradicionales solamente alcanzan disminuciones cercanas al 23% de la media inicial.
- Las bolsas blancas oxodegradables enterradas en el relleno sanitario Los Mangos, presentan una degradación mayor que las bolsas blancas oxodegradables enterradas en el relleno sanitario Río Azul y hay un mayor aumento del índice carbonilo de las muestras enterradas en Los Mangos que en las muestras enterradas en Río Azul.
- Las condiciones del relleno sanitario activo Los Mangos son más apropiadas para la degradación de las bolsas oxodegradables que las condiciones del relleno sanitario Río Azul, en proceso de cierre técnico.
- La prueba de espectro infrarrojo realizada, indica que hay presencia de grupos carbonilos en las bolsas blancas oxodegradables aún antes de enterrar las muestras en los rellenos sanitarios.
- Las bolsas blancas oxodegradables ya habían iniciado el proceso de degradación antes de ser enterradas y este proceso continuo por los primeros meses de exposición en el relleno sanitario pero luego se desacelero, manteniendo las propiedades mecánicas de los plásticos casi constantes.
- Las condiciones de los rellenos sanitarios evaluados no son propicias para obtener una degradación apropiada de las bolsas oxodegradables.
- A pesar de que las bolsas blancas oxodegradables sí presentan degradación, la mayoría de las bolsas oxodegradables enterradas no presentan el estado de degradación adecuado para considerar que los materiales producidos utilizando la tecnología oxodegradable tendrán una degradación más acelerada en los rellenos sanitarios que los materiales tradicionales utilizados hoy en día.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda fabricar cajas metálicas en lugar de cajas de madera cuando se realicen estudios de exposición a condiciones de rellenos sanitarios ya que la presión y movimientos de tierra de los rellenos sanitarios fácilmente pueden romper la caja de madera que se esté utilizando.
- Se recomienda hacer estudios comparativos utilizando plásticos oxodegradables siendo sometidos a diferentes condiciones tales como expuestos a la luz del sol, sumergidos en agua dulce y agua salada, en condiciones de calor y frío, etc.
- Se recomienda hacer estudios comparativos de plásticos oxodegradables producidos con diferentes marcas de aditivos disponibles en el mercado para determinar bajo que condiciones se degrada cada uno de esos aditivos.
- Se recomienda hacer estudios de mayor duración en diferentes rellenos sanitarios para determinar cual es el comportamiento de los plásticos oxodegradables luego de dos, tres o hasta cinco años de ser enterrados en rellenos sanitarios.
- Se recomienda hacer estudios en rellenos sanitarios utilizando otras tecnologías de plásticos amigables con el ambiente, tales como plásticos compostables o bioplásticos, para comparar objetivamente el comportamiento de cada uno de estos en condiciones específicas.
- Se recomienda hacer estudios de degradación utilizando muestras producidas en la misma fecha pero sometidas a diferentes tratamientos antes de ser enterradas. Por ejemplo, exponer algunas muestras al sol por un tiempo determinado antes de enterrarlas y guardar otras muestras en un ambiente sin luz ni presencia de oxígeno antes de enterrarlas para finalmente evaluar el comportamiento del mismo plástico previamente sometido a diferentes condiciones y luego enterrado en un mismo lugar.

## Bibliografía

1. Chiellini, E., Corti, A. & D'Antone, S. (2006). Oxodegradable carbon backbone polymers — oxidative degradation of polyethylene under accelerated test conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 2739-2747.
2. Jakubowicz, I., Yarahmadi, N. & Petersen, H. (2006). Evaluation of the rate of abiotic degradation of biodegradable polyethylene in various environments. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1556-1562.
3. Scott, G. (2002). *Degradable polymers principles and applications* (2<sup>a</sup> ed). Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers.
4. Reddy, M.M., Gupta, R.K., Gupta, R.K., Bhattacharya S.N. & Parthasarathy, R. (2008). Abiotic oxidation studies of oxo-biodegradable polyethylene. *Journal of Polymers and the Environment*, 1(16), 27-34.
5. Khabbaz, F., Albertsson, A.C. & Karlsson, S. (1999). Chemical and morphological changes of environmentally degradable polyethylene films exposed to thermo-oxidation. *Polymer Degradation and Stability*, 63, 127-138.
6. Wiles, D.M. & Scott, G. (2006). Polyolefins with controlled environmental degradability. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1581-1592.
7. Montgomery, D., Runger, G. (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. Querétaro: McGraw Hill.
8. Walpole, R., Myers, R., Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (6<sup>a</sup> ed.). Juárez: Prentice Hall.
9. ASTM Standard D-882-97 (1997) En: Annual Book of ASTM standards. ASTM. Philadelphia, PA.
10. Center for Design at RMIT. (2003). *The impacts of degradable plastic bags in Australia*. Melbourne, Australia: Center for Design at RMIT, NOLAN-ITU.
11. Narayan, R. (1993). *Biodegradable Plastics*. National Institute of Standards & Technology (NIST) publication.
12. Consulta a Oxo-Biodegradable Plastics Association. *Position Paper on Landfill*. Extraído el 23 de Octubre del 2009, de <http://www.biodeg.org/position-papers/landfill/?domain=biodeg.org>

13. Center for Design at RMIT. (2003). *The impacts of degradable plastic bags in Australia*. Melbourne, Australia: Center for Design at RMIT, NOLAN-ITU.
14. ASM International. (2003). *Characterization and failure analysis of plastics*. Ohio, USA.
15. Cabada, Jose Luis. (1975). *Relleno Sanitario*. San Jose: Universidad de Costa Rica.
16. Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol. 1 (1a Edición), McGraw-Hill, Inc. México
17. United States Environmental Protection Agency. (1979). *Recovery, Processing and Utilization of Gas from Sanitary Landfills*. Cincinnati, Ohio.
18. Consulta a Agency for Toxic Substances & Disease Registry. *Landfill Gas Basics*. Extraído el 10 de Marzo del 2010, de <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch2.html>



## Nomenclatura

### Mayúsculas

PE	Polietileno
MRDC	Metal dithiocarbamates
UV	Ultravioleta
$SS_{\text{Tratamientos}}$	Suma de Cuadrados de los Tratamientos
$SS_T$	Suma Total de Cuadrados
$SS_E$	Suma de Cuadrados del Error
$MS_{\text{Tratamientos}}$	Media de Cuadrados para Tratamientos
$MS_E$	Error Cuadrático Medio
$H_0$	Hipótesis nula
$H_1$	Hipótesis alterna
$R_p$	Rango menos significativo para prueba de rangos múltiples de Duncan
A	Absorbancia

### Minúsculas

a	Número de medias
n	Número de valores por tratamiento
$\bar{x}$	Promedio
$s^2$	Varianza
$t_z$	Valor de t para pruebas de t de Student
$s_{\bar{y}_i}$	Error estándar de cada media
r	Valor de tabla de rango de significancia de Duncan

### Letras griegas

$\alpha$	Nivel de significancia
----------	------------------------

# APÉNDICE A

## Datos Experimentales

**Cuadro A.1.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	1,96	2,06	2,03	2,21	2,12	2,02	2,18	2,14
3 meses	2,43	1,89	2,09	1,96	2,21	1,79	1,78	1,97
6 meses	2,48	2,08	2,28	2,06	2,18	2,17	2,59	2,20
12 meses	2,17	2,34	2,18	2,21	1,74	1,75	2,40	2,01

**Cuadro A.2.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	410,01	412,49	409,07	460,47	426,61	418,76	441,12	448,12
3 meses	456,94	408,91	442,91	422,51	446,50	378,76	388,77	378,76
6 meses	459,90	428,62	450,59	402,93	446,55	414,68	472,02	429,93
12 meses	452,68	451,28	474,89	443,70	417,70	442,36	445,93	431,59

**Cuadro A.3.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	1,96	2,06	2,03	2,21	2,12	2,02	2,18	2,14
3 meses	2,01	2,58	2,53	1,96	2,13	2,27	2,41	2,06
6 meses	2,28	2,20	2,51	2,14	2,29	2,21	2,18	2,04
12 meses	1,82	2,05	1,93	2,28	2,01	2,12	1,98	1,86

**Cuadro A.4.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	410,01	412,49	409,07	460,47	426,61	418,76	441,12	448,12
3 meses	435,34	457,47	454,54	414,95	410,62	438,02	446,81	415,46
6 meses	419,88	436,23	465,94	423,12	436,17	418,81	424,41	413,05
12 meses	382,11	423,15	413,21	462,66	421,17	442,48	425,27	408,54

**Cuadro A.5.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	1,89	1,85	1,92	1,82	1,66	1,75	1,83	1,86
3 meses	1,79	1,81	1,72	1,74	1,59	1,41	1,51	1,71
6 meses	1,62	1,91	1,89	1,76	1,83	1,99	2,12	1,82
12 meses	1,52	1,72	1,48	1,91	1,53	1,61	1,79	1,57

**Cuadro A.6.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	453,40	476,79	459,99	460,25	443,95	446,06	462,44	466,24
3 meses	414,20	455,03	454,97	450,74	422,14	376,41	417,27	446,34
6 meses	397,19	427,61	426,97	409,35	418,23	455,60	452,04	420,33
12 meses	385,04	456,96	396,73	445,42	408,74	390,04	430,03	415,20

**Cuadro A.7.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	1,89	1,85	1,92	1,82	1,66	1,75	1,83	1,86
3 meses	1,78	2,02	1,94	1,76	1,86	1,81	1,84	1,98
6 meses	1,98	1,79	1,97	1,88	1,93	1,84	1,87	2,02
12 meses	1,99	2,25	1,81	1,89	1,69	2,10	2,06	1,91

**Cuadro A.8.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas negras oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
0 meses	453,40	476,79	459,99	460,25	443,95	446,06	462,44	466,24
3 meses	426,62	468,11	461,15	453,41	459,39	441,56	448,18	472,86
6 meses	438,43	418,27	457,03	423,03	439,54	426,84	430,51	443,14
12 meses	476,29	495,65	431,01	471,39	400,26	463,22	471,16	444,19

**Cuadro A.9.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	1,61	1,67	1,64	1,65	1,34	1,62	1,57
3 meses	1,41	1,37	1,47	1,38	1,45	1,40	1,50
6 meses	1,29	1,52	1,38	1,61	1,55	1,57	1,56
12 meses	1,20	1,55	1,59	1,49	1,54	1,38	1,56

**Cuadro A.10.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	508,64	524,69	528,65	523,34	501,31	520,54	522,68
3 meses	487,91	478,77	538,53	482,88	521,87	494,98	561,23
6 meses	497,48	507,42	516,11	541,54	525,68	539,60	532,49
12 meses	499,04	559,41	560,96	569,40	563,78	529,72	556,94

**Cuadro A.11.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	1,61	1,67	1,64	1,65	1,34	1,62	1,57
3 meses	1,78	1,40	1,62	1,60	1,54	1,48	1,57
6 meses	1,67	1,38	1,46	1,29	1,44	1,33	1,48
12 meses	1,42	1,38	1,35	1,36	1,40	1,12	1,18

**Cuadro A.12.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	508,64	524,69	528,65	523,34	501,31	520,54	522,68
3 meses	556,54	493,87	527,36	521,18	498,98	506,29	529,71
6 meses	548,16	529,65	519,48	498,22	514,82	524,06	523,98
12 meses	571,25	554,11	568,39	558,19	570,37	454,43	544,02

**Cuadro A.13.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	1,27	1,37	1,41	1,32	1,34	1,21	1,34
3 meses	1,29	1,48	1,29	1,20	1,33	1,22	1,10
6 meses	1,39	1,35	1,33	1,41	1,31	1,42	1,35
12 meses	1,21	1,17	1,24	1,09	1,36	1,28	1,15

**Cuadro A.14.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	461,15	492,32	499,55	510,43	503,60	471,94	502,38
3 meses	481,31	593,55	530,73	490,02	538,13	518,48	452,44
6 meses	531,52	551,78	555,17	572,83	529,66	562,45	569,10
12 meses	569,19	487,70	527,61	460,12	572,23	551,96	498,13

**Cuadro A.15.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	1,27	1,37	1,41	1,32	1,34	1,21	1,34
3 meses	1,29	1,33	1,29	1,51	1,42	1,27	1,39
6 meses	1,57	1,29	1,38	1,34	1,56	1,33	1,43
12 meses	1,16	1,06	1,24	1,18	1,12	1,23	1,11

**Cuadro A.16.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas verdes oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0 meses	461,15	492,32	499,55	510,43	503,60	471,94	502,38
3 meses	495,23	459,49	507,78	525,06	523,14	478,61	486,04
6 meses	570,98	497,56	521,29	515,47	533,37	505,84	529,88
12 meses	490,51	461,28	486,23	480,40	482,08	489,46	468,91

**Cuadro A.17.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	3,43	3,15	3,25	3,22	3,23	3,19
3 meses	3,21	3,13	3,12	3,05	2,94	2,79
6 meses	2,93	2,71	2,85	3,02	2,88	2,49
12 meses	2,88	2,86	2,80	2,43	2,44	2,84

**Cuadro A.18.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	601,91	532,50	521,18	494,30	528,48	528,60
3 meses	486,29	527,29	482,29	509,11	485,80	473,10
6 meses	438,19	429,30	459,68	483,77	466,84	366,42
12 meses	482,63	495,78	496,29	434,31	427,97	477,64

**Cuadro A.19.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kg)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	3,43	3,15	3,25	3,22	3,23	3,19
3 meses	2,62	2,89	2,84	2,81	2,72	2,94
6 meses	3,09	2,80	3,20	3,13	3,34	2,94
12 meses	3,17	2,79	2,80	2,89	3,04	2,98

**Cuadro A.20.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas tradicionales enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	601,91	532,50	521,18	494,30	528,48	528,60
3 meses	450,28	461,03	457,08	450,40	443,79	465,50
6 meses	461,01	422,56	480,41	477,32	485,18	411,97
12 meses	401,84	414,88	406,51	418,48	428,31	418,97

**Cuadro A.21.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kg)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	4,19	4,44	4,63	4,16	4,52	4,32
3 meses	3,13	3,21	3,11	3,11	3,27	3,19
6 meses	3,20	3,24	3,41	3,66	3,63	3,34
12 meses	3,45	2,47	2,76	2,87	3,43	3,19



**Cuadro A.22.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	454,84	467,13	493,03	436,36	482,10	459,28
3 meses	457,08	445,29	450,57	485,01	458,46	465,91
6 meses	418,28	426,48	451,67	466,43	456,58	441,31
12 meses	544,95	424,34	449,94	475,61	548,52	502,30

**Cuadro A.23.** Valores experimentales de resistencia a la tensión de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Tensión (kgf)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	4,19	4,44	4,63	4,16	4,52	4,32
3 meses	2,60	2,82	2,67	3,13	2,63	2,60
6 meses	2,52	2,49	2,76	2,61	2,64	2,73
12 meses	2,80	3,01	3,14	3,11	2,72	3,00

**Cuadro A.24.** Valores experimentales de resistencia a la elongación de las bolsas blancas oxodegradables enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Resistencia a la Elongación (%)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0 meses	454,84	467,13	493,03	436,36	482,10	459,28
3 meses	431,39	453,43	442,62	502,51	427,11	430,85
6 meses	404,10	398,46	442,15	421,93	430,01	412,95
12 meses	475,52	483,88	488,68	489,23	437,12	496,75

# APÉNDICE B

## Análisis Estadístico de Datos Experimentales

**Cuadro B.1** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	2,09	2,02	2,26	2,10
Varianza	$s^2$	0,007	0,049	0,035	0,062
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,244	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			1,317	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			1,074	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,081	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,038	

**Cuadro B.2** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	2,23	2,09	1,95	106,8	100,0	93,2
Tres Meses	2,16	2,02	1,87	103,2	96,4	89,6
Seis Meses	2,40	2,26	2,11	114,7	107,9	101,1
Doce Meses	2,24	2,10	1,96	107,3	100,5	93,7

**Cuadro B.3** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,7)}=1,895$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	10,268	4,968	2,231	3,459
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	6,845	3,632	0,661	2,268
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	3,423	2,296	0,909	1,077
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,959	2,479	0,114
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,423	0,377	4,050	1,305
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,845	1,714	5,620	2,496
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	10,268	3,050	7,190	3,687
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	13,691	4,387	8,761	4,878
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	17,114	5,723	10,331	6,068
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	20,536	7,059	11,901	7,259

**Cuadro B.4** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	428,33	415,51	438,15	445,02
Varianza	$s^2$	377,18	990,90	542,18	275,21
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		3939,94		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		19238,17		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		15298,23		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		1313,31		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		546,37		

**Cuadro B.5** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	445,26	428,33	411,40	104,0	100,0	96,0
Tres Meses	432,44	415,51	398,58	101,0	97,0	93,1
Seis Meses	455,08	438,15	421,22	106,2	102,3	98,3
Doce Meses	461,95	445,02	428,09	107,8	103,9	99,9

**Cuadro B.6** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	9,357	6,925	6,612	8,110
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	6,238	5,001	4,010	4,458
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	3,119	3,077	1,409	0,807
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,152	1,193	2,845
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,119	0,772	3,795	6,496
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,238	2,696	6,396	10,148
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	9,357	4,621	8,998	13,799
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	12,476	6,545	11,599	17,450
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	15,595	8,469	14,201	21,102
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	18,714	10,394	16,802	24,753

**Cuadro B.7** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	2,09	2,24	2,23	2,01
Varianza	$s^2$	0,007	0,058	0,019	0,022
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,316	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			1,058	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,742	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,105	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,027	

**Cuadro B.8** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	2,21	2,09	1,97	105,6	100,0	94,4
Tres Meses	2,36	2,24	2,13	113,0	107,4	101,7
Seis Meses	2,35	2,23	2,11	112,4	106,8	101,1
Doce Meses	2,12	2,01	1,89	101,6	96,0	90,4

**Cuadro B.9** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,7)}=1,895$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	10,268	1,878	3,541	7,615
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	6,845	0,650	1,393	5,612
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,423	0,579	0,756	3,609

**Cuadro B.9 (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0.05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,808	2,904	1,605
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,423	3,036	5,052	0,398
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,845	4,265	7,201	2,401
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	10,268	5,493	9,349	4,404
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	13,691	6,722	11,498	6,408
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	17,114	7,950	13,646	8,411
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	20,536	9,179	15,795	10,414

**Cuadro B.10.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	428,33	434,15	429,70	422,32
Varianza	$s^2$	377,18	343,98	280,20	562,03
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		571,92		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		11515,55		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		10943,63		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		190,64		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		390,84		

**Cuadro B.11.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	442,65	428,33	414,01	103,3	100,0	96,7
Tres Meses	448,47	434,15	419,83	104,7	101,4	98,0
Seis Meses	444,02	429,70	415,38	103,7	100,3	97,0
Doce Meses	436,64	422,32	408,01	101,9	98,6	95,3

**Cuadro B.12.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	9,357	8,911	10,625	8,382
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	6,238	5,645	7,006	5,827
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	3,119	2,379	3,387	3,272
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,888	0,231	0,717
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,119	4,154	3,850	1,838
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,238	7,420	7,469	4,394
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	9,357	10,686	11,088	6,949
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	12,476	13,952	14,707	9,504
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	15,595	17,218	18,325	12,059
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	18,714	20,484	21,944	14,614

**Cuadro B.13.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,82	1,66	1,87	1,64
Varianza	$s^2$	0,007	0,020	0,023	0,023
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,312	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,819	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,507	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,104	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,018	

**Cuadro B.14.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,92	1,82	1,73	105,3	100,0	94,7
Tres Meses	1,76	1,66	1,56	96,4	91,1	85,7
Seis Meses	1,96	1,87	1,77	107,8	102,5	97,1
Doce Meses	1,74	1,64	1,54	95,4	90,1	84,7

**Cuadro B.15.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	9,342	8,662	4,306	8,514
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	6,228	6,851	2,588	6,807
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,114	5,040	0,870	5,101



**Cuadro B.15. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,7)}=1,895$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	3,229	0,848	3,394
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,114	1,418	2,566	1,688
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,228	0,392	4,284	0,019
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	9,342	2,203	6,002	1,725
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	12,457	4,014	7,720	3,432
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	15,571	5,825	9,438	5,138
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	18,685	7,636	11,156	6,845

**Cuadro B.16.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	458,64	429,64	425,92	416,02
Varianza	$s^2$	115,36	755,92	393,93	685,32
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		8051,48		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		21705,18		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		13653,70		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		2683,83		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		487,63		

**Cuadro B.17.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	474,63	458,64	442,65	103,5	100,0	96,5
Tres Meses	445,63	429,64	413,64	97,2	93,7	90,2
Seis Meses	441,91	425,92	409,92	96,4	92,9	89,4
Doce Meses	432,01	416,02	400,03	94,2	90,7	87,2

**Cuadro B.18.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	18,116	10,061	14,468	12,038
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	12,078	7,702	11,200	9,560
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	6,039	5,343	7,932	7,082
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	2,984	4,664	4,605
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	6,039	0,624	1,396	2,127
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	12,078	1,735	1,872	0,350
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	18,116	4,094	5,140	2,828
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	24,155	6,453	8,408	5,306
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	30,194	8,812	11,676	7,783
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	36,233	11,171	14,944	10,261

**Cuadro B.19.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,82	1,87	1,91	1,96
Varianza	$s^2$	0,007	0,009	0,006	0,031
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,084	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,456	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,372	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,028	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,013	

**Cuadro B.20.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,91	1,82	1,74	104,6	100,0	95,4
Tres Meses	1,96	1,87	1,79	107,4	102,8	98,2
Seis Meses	1,99	1,91	1,83	109,4	104,8	100,2
Doce Meses	2,05	1,96	1,88	112,3	107,7	103,1

**Cuadro B.21.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,7)}=1,895$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	9,342	6,561	6,723	2,141
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	6,228	3,869	3,427	0,678
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,114	1,178	0,131	0,785

**Cuadro B.21. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,7)}=1,895$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,514	3,165	2,247
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,114	4,205	6,461	3,710
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	6,228	6,897	9,757	5,173
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	9,342	9,589	13,054	6,635
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	12,457	12,280	16,350	8,098
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	15,571	14,972	19,646	9,561
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	18,685	17,663	22,942	11,023

**Cuadro B.22.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	458,64	453,91	434,60	456,65
Varianza	$s^2$	115,36	224,79	156,08	910,03
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		2941,67		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		12785,54		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		9843,87		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		980,56		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		351,57		

**Cuadro B.23.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	472,22	458,64	445,06	103,0	100,0	97,0
Tres Meses	467,49	453,91	440,33	101,9	99,0	96,0
Seis Meses	448,18	434,60	421,02	97,7	94,8	91,8
Doce Meses	470,23	456,65	443,07	102,5	99,6	96,6

**Cuadro B.24.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables negras enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,7)}=1,895$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	18,116	13,871	21,018	6,637
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	12,078	9,545	15,826	4,487
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	6,039	5,218	10,634	2,337
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,892	5,443	0,187
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	6,039	3,434	0,251	1,963
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	12,078	7,760	4,941	4,113
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	18,116	12,086	10,132	6,263
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	24,155	16,412	15,324	8,413
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	30,194	20,738	20,516	10,564
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	36,233	25,064	25,707	12,714

**Cuadro B.25.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,59	1,43	1,50	1,47
Varianza	$s^2$	0,013	0,002	0,014	0,019
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,095	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,382	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,288	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,032	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,012	

**Cuadro B.26.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,67	1,59	1,50	105,4	100,0	94,6
Tres Meses	1,51	1,43	1,34	95,3	89,9	84,5
Seis Meses	1,58	1,50	1,41	99,8	94,4	89,0
Doce Meses	1,56	1,47	1,39	98,3	92,9	87,5

**Cuadro B.27.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,571	21,659	7,390	6,698
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,714	17,343	5,595	5,184
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	1,857	13,027	3,800	3,670

**Cuadro B.27. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	0,000	8,710	2,005	2,155
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	1,857	4,394	0,210	0,641
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,714	0,078	1,585	0,873
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,571	4,239	3,380	2,387
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	7,428	8,555	5,175	3,902
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	9,284	12,871	6,970	5,416
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	11,141	17,187	8,765	6,930

**Cuadro B.28.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	518,55	509,45	522,90	548,46
Varianza	$s^2$	96,52	1000,28	276,32	635,80
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$		5867,31		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		17920,78		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		12053,47		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$		1955,77		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		502,23		

**Cuadro B.29.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	536,03	518,55	501,07	103,4	100,0	96,6
Tres Meses	526,93	509,45	491,97	101,6	98,2	94,9
Seis Meses	540,38	522,90	505,42	104,2	100,8	97,5
Doce Meses	565,95	548,46	530,98	109,1	105,8	102,4

**Cuadro B.30.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0.05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	20,947	7,268	11,687	5,023
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	13,965	5,099	7,561	2,302
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	6,982	2,930	3,434	0,418
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,761	0,693	3,139
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	6,982	1,408	4,819	5,859
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	13,965	3,577	8,946	8,580
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	20,947	5,746	13,073	11,300
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	27,930	7,915	17,199	14,021
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	34,912	10,084	21,326	16,741
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	41,895	12,253	25,453	19,462



**Cuadro B.31.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,59	1,57	1,44	1,32
Varianza	$s^2$	0,013	0,014	0,015	0,014
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,337	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,674	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,337	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,112	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,014	

**Cuadro B.32.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,68	1,59	1,49	105,8	100,0	94,2
Tres Meses	1,66	1,57	1,48	104,8	99,0	93,2
Seis Meses	1,53	1,44	1,34	96,4	90,5	84,7
Doce Meses	1,41	1,32	1,22	88,8	83,0	77,1

**Cuadro B.33.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,571	5,623	8,244	11,496
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,714	3,865	6,559	9,701
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	1,857	2,107	4,873	7,906

**Cuadro B.33. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0.05,6)}=2,447$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	0,000	0,348	3,188	6,112
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	1,857	1,410	1,503	4,317
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	3,714	3,168	0,182	2,522
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,571	4,926	1,867	0,728
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	7,428	6,685	3,553	1,067
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	9,284	8,443	5,238	2,862
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	11,141	10,201	6,923	4,656

**Cuadro B.34.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	518,55	519,13	522,62	545,82
Varianza	$s^2$	96,52	465,39	228,62	1722,65
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$		3541,07		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		18620,10		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		15079,03		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$		1180,36		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		628,29		

**Cuadro B.35.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	538,10	518,55	499,00	103,8	100,0	96,2
Tres Meses	538,69	519,13	499,58	103,9	100,1	96,3
Seis Meses	542,18	522,62	503,07	104,6	100,8	97,0
Doce Meses	565,38	545,82	526,27	109,0	105,3	101,5

**Cuadro B.36.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,6)}=2,447$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	20,947	9,468	12,898	3,220
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	13,965	6,288	8,361	1,567
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	6,982	3,108	3,824	0,086
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,071	0,713	1,739
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	6,982	3,251	5,250	3,391
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	13,965	6,431	9,787	5,044
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	20,947	9,611	14,324	6,697
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	27,930	12,791	18,860	8,350
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	34,912	15,971	23,397	10,002
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	41,895	19,150	27,934	11,655

**Cuadro B.37.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,32	1,27	1,37	1,21
Varianza	$s^2$	0,004	0,014	0,002	0,008
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,089	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,258	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,169	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,030	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,007	

**Cuadro B.38.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,39	1,32	1,26	104,9	100,0	95,1
Tres Meses	1,34	1,27	1,21	101,2	96,2	91,3
Seis Meses	1,43	1,37	1,30	108,2	103,2	98,3
Doce Meses	1,28	1,21	1,15	96,7	91,8	86,8

**Cuadro B.39.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,6)}=2,447$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	7,984	5,531	9,900	9,103
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,323	4,058	5,691	7,142
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	2,661	2,586	1,482	5,180

**Cuadro B.39. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,113	2,727	3,219
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,661	0,359	6,936	1,258
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,323	1,832	11,145	0,703
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	7,984	3,304	15,355	2,664
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	10,645	4,777	19,564	4,626
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	13,307	6,249	23,773	6,587
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	15,968	7,722	27,982	8,548

**Cuadro B.40.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	491,62	514,95	553,22	523,85
Varianza	$s^2$	332,04	2106,23	292,29	1871,75
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		13618,16		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		41232,04		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		27613,87		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		4539,39		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		1150,58		

**Cuadro B.41.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	518,08	491,62	465,16	105,4	100,0	94,6
Tres Meses	541,41	514,95	488,49	110,1	104,7	99,4
Seis Meses	579,68	553,22	526,76	117,9	112,5	107,1
Doce Meses	550,31	523,85	497,39	111,9	106,6	101,2

**Cuadro B.42.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	10,707	2,906	1,881	2,539
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	7,138	1,489	1,923	1,036
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	3,569	0,072	5,727	0,467
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,345	9,531	1,971
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,569	2,762	13,335	3,474
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	7,138	4,179	17,140	4,977
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	10,707	5,596	20,944	6,480
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	14,276	7,013	24,748	7,984
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	17,846	8,430	28,552	9,487
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	21,415	9,847	32,356	10,990

**Cuadro B.43.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	1,32	1,36	1,41	1,16
Varianza	$s^2$	0,004	0,008	0,012	0,004
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,256	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			0,429	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,172	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,085	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,007	

**Cuadro B.44.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	1,39	1,32	1,26	105,0	100,0	95,0
Tres Meses	1,42	1,36	1,29	107,6	102,6	97,6
Seis Meses	1,48	1,41	1,35	111,9	106,9	101,9
Doce Meses	1,22	1,16	1,09	92,5	87,5	82,5

**Cuadro B.45.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,6)}=2,447$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	7,984	4,974	2,533	14,708
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,323	2,970	0,967	12,037
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	2,661	0,965	0,598	9,365

**Cuadro B.45. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,6)}=2,447$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,039	2,164	6,694
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,661	3,043	3,730	4,022
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,323	5,047	5,295	1,350
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	7,984	7,052	6,861	1,321
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	10,645	9,056	8,426	3,993
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	13,307	11,060	9,992	6,665
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	15,968	13,064	11,557	9,336

**Cuadro B.46.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	491,62	496,48	524,91	479,84
Varianza	$s^2$	332,04	575,57	572,10	119,42
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		7678,45		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		17273,19		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		9594,75		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		2559,48		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		399,78		



**Cuadro B.47.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	506,01	498,21	490,41	102,9	101,3	99,8
Tres Meses	507,22	491,62	476,03	103,2	100,0	96,8
Seis Meses	512,08	496,48	480,88	104,2	101,0	97,8
Doce Meses	540,51	524,91	509,32	109,9	106,8	103,6

**Cuadro B.48.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables verdes enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,6)}=2,447$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	10,707	7,597	4,475	20,708
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	7,138	4,886	1,756	14,756
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	3,569	2,176	0,963	8,805
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,535	3,682	2,853
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	3,569	3,246	6,401	3,098
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	7,138	5,957	9,120	9,049
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	10,707	8,668	11,839	15,001
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	14,276	11,379	14,558	20,952
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	17,846	14,090	17,277	26,904
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	21,415	16,800	19,996	32,855

**Cuadro B.49.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	3,25	3,04	2,81	2,71
Varianza	$s^2$	0,009	0,023	0,035	0,046
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			1,033	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			1,601	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,568	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,344	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,028	

**Cuadro B.50.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	3,39	3,25	3,10	104,4	100,0	95,6
Tres Meses	3,18	3,04	2,90	98,1	93,7	89,3
Seis Meses	2,96	2,81	2,67	91,1	86,7	82,3
Doce Meses	2,85	2,71	2,56	87,9	83,5	79,0

**Cuadro B.51.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	12,278	11,125	11,946	11,748
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	8,185	8,515	9,835	9,885
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	4,093	5,906	7,725	8,023

**Cuadro B.51.** (continuación) Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	3,297	5,615	6,160
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	4,093	0,687	3,504	4,298
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	8,185	1,922	1,394	2,435
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	12,278	4,531	0,716	0,573
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	16,371	7,140	2,827	1,289
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	20,463	9,750	4,937	3,152
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	24,556	12,359	7,047	5,014

**Cuadro B.52.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	534,50	493,98	440,70	469,10
Varianza	$s^2$	1282,52	407,43	1710,47	921,83
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		28469,09		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		50080,34		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		21611,25		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		9489,70		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		1080,56		

**Cuadro B.53.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kg)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	562,49	534,50	506,50	105,2	100,0	94,8
Tres Meses	521,97	493,98	465,99	97,7	92,4	87,2
Seis Meses	468,69	440,70	412,71	87,7	82,5	77,2
Doce Meses	497,10	469,10	441,11	93,0	87,8	82,5

**Cuadro B.54.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de t:  $t_{(0.05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	5,484	14,646	10,304	11,744
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	3,656	11,403	8,721	9,588
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	1,828	8,160	7,138	7,432
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	4,917	5,555	5,276
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	1,828	1,673	3,972	3,120
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	3,656	1,570	2,390	0,963
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	5,484	4,813	0,807	1,193
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	7,312	8,056	0,776	3,349
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	9,140	11,299	2,359	5,505
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	10,968	14,542	3,942	7,661

**Cuadro B.55.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	3,25	2,80	3,08	2,95
Varianza	$s^2$	0,009	0,014	0,037	0,022
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			0,643	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			1,050	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			0,407	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			0,214	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,020	

**Cuadro B.56.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	3,37	3,25	3,12	103,7	100,0	96,3
Tres Meses	2,92	2,80	2,68	90,1	86,4	82,6
Seis Meses	3,20	3,08	2,96	98,8	95,0	91,3
Doce Meses	3,07	2,95	2,82	94,5	90,8	87,0

**Cuadro B.57.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	12,278	19,482	8,313	13,055
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	8,185	16,077	6,233	10,363
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	4,093	12,672	4,153	7,671

**Cuadro B.57. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0.05,5)}=2,571$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	0,000	9,268	2,073	4,978
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	4,093	5,863	0,007	2,286
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	8,185	2,459	2,088	0,407
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	12,278	0,946	4,168	3,099
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	16,371	4,351	6,248	5,791
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	20,463	7,755	8,328	8,484
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	24,556	11,160	10,408	11,176

**Cuadro B.58.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	534,50	454,68	456,41	414,83
Varianza	$s^2$	1282,52	63,89	996,57	90,03
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$		45160,16		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		57325,18		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		12165,02		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$		15053,39		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		608,25		

**Cuadro B.59.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	555,50	534,50	513,49	103,9	100,0	96,1
Tres Meses	475,68	454,68	433,68	89,0	85,1	81,1
Seis Meses	477,41	456,41	435,41	89,3	85,4	81,5
Doce Meses	435,83	414,83	393,83	81,5	77,6	73,7

**Cuadro B.60.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas tradicionales blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de t:  $t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	5,484	49,031	12,280	51,590
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	3,656	40,840	10,206	44,691
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	1,828	32,650	8,133	37,791
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	24,460	6,059	30,892
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	1,828	16,270	3,985	23,993
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	3,656	8,080	1,912	17,094
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	5,484	0,110	0,162	10,194
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	7,312	8,300	2,236	3,295
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	9,140	16,490	4,309	3,604
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	10,968	24,680	6,383	10,503

**Cuadro B.61.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	4,38	3,17	3,41	3,03
Varianza	$s^2$	0,035	0,004	0,038	0,155
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$			6,644	
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$			7,802	
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$			1,157	
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$			2,215	
Error Cuadrático Medio	$MS_E$			0,058	

**Cuadro B.62.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	4,58	4,38	4,17	104,7	100,0	95,3
Tres Meses	3,37	3,17	2,97	77,1	72,4	67,7
Seis Meses	3,62	3,41	3,21	82,7	78,0	73,3
Doce Meses	3,23	3,03	2,82	73,9	69,2	64,5

**Cuadro B.63.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	8,627	70,759	20,422	12,481
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,751	62,448	17,663	11,119
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	2,876	54,137	14,904	9,756



**Cuadro B.63. (continuación)** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	45,826	12,145	8,394
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,876	37,516	9,386	7,032
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,751	29,205	6,627	5,669
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	8,627	20,894	3,868	4,307
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	11,503	12,583	1,109	2,945
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	14,378	4,272	1,650	1,582
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	17,254	4,038	4,408	0,220

**Cuadro B.64.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	465,46	460,39	443,46	490,94
Varianza	$s^2$	407,51	195,15	338,83	2542,63
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		6951,46		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		24372,06		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		17420,60		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		2317,15		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		871,03		

**Cuadro B.65.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	490,59	465,46	440,32	105,4	100,0	94,6
Tres Meses	485,52	460,39	435,25	104,3	98,9	93,5
Seis Meses	468,59	443,46	418,33	100,7	95,3	89,9
Doce Meses	516,08	490,94	465,81	110,9	105,5	100,1

**Cuadro B.66.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Río Azul. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	8,472	13,131	12,218	2,154
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	5,648	9,051	9,121	1,023
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	2,824	4,970	6,024	0,108
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	0,889	2,927	1,238
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,824	3,192	0,170	2,369
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,648	7,273	3,267	3,499
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	8,472	11,353	6,364	4,630
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	11,296	15,434	9,460	5,760
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	14,120	19,515	12,557	6,891
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	16,944	23,596	15,654	8,021

**Cuadro B.67.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	4,38	2,74	2,63	2,96
Varianza	$s^2$	0,035	0,043	0,012	0,028
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}}$		11,874		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		12,464		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		0,589		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{\text{Tratamientos}}$		3,958		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		0,029		

**Cuadro B.68.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	4,52	4,38	4,23	103,3	100,0	96,7
Tres Meses	2,89	2,74	2,60	66,0	62,6	59,3
Seis Meses	2,77	2,63	2,48	63,3	60,0	56,6
Doce Meses	3,11	2,96	2,82	71,0	67,7	64,4

**Cuadro B.69.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,5)}=2,571$  )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	8,627	27,088	54,326	30,071
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	5,751	24,501	49,389	26,892
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0\text{meses}}$	2,876	21,915	44,452	23,712

**Cuadro B.69.** (continuación) Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de tensión de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t: t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	19,328	39,516	20,533
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,876	16,741	34,579	17,354
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,751	14,154	29,642	14,175
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	8,627	11,567	24,706	10,995
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	11,503	8,980	19,769	7,816
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	14,378	6,393	14,833	4,637
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	17,254	3,806	9,896	1,458

**Cuadro B.70.** Valores estadísticos varios obtenidos para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos.

Definición	Abreviatura	Tiempo de Exposición			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Promedio	$\bar{x}$	465,46	447,99	418,27	478,53
Varianza	$s^2$	407,51	807,23	268,60	460,39
Suma de Cuadrados de los Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$		12226,37		
Suma Total de Cuadrados	$SS_T$		21945,07		
Suma de Cuadrados del Error	$SS_E$		9718,70		
Media de Cuadrados para Tratamientos	$MS_{Tratamientos}$		4075,46		
Error Cuadrático Medio	$MS_E$		485,94		

**Cuadro B.71.** Intervalo de confianza del 95% para los resultados de resistencia a la elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos.

Tiempo de Exposición	Valores de tensión del intervalo de confianza (kgf)			Valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial (%)		
	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
Cero Meses	484,23	465,46	446,68	104,0	100,0	96,0
Tres Meses	466,76	447,99	429,21	100,3	96,2	92,2
Seis Meses	437,04	418,27	399,49	93,9	89,9	85,8
Doce Meses	497,30	478,53	459,76	106,8	102,8	98,8

**Cuadro B.72.** Valores absolutos de  $t_z$  obtenidos para pruebas de hipótesis con respecto a la media inicial de los valores de elongación de las bolsas oxodegradables blancas enterradas en Los Mangos. (Valor crítico de  $t$ :  $t_{(0,05,5)}=2,571$ )

$t_z$	$\mu_z$	Tiempo de Exposición de la muestra			
		0 meses	3 meses	6 meses	12 meses
$t_1$	$1,15 * \bar{X}_{0meses}$	8,472	7,526	17,488	6,478
$t_2$	$1,10 * \bar{X}_{0meses}$	5,648	5,519	14,010	3,821
$t_3$	$1,05 * \bar{X}_{0meses}$	2,824	3,513	10,531	1,164
$t_4$	$1,00 * \bar{X}_{0meses}$	0,000	1,506	7,053	1,492
$t_5$	$0,95 * \bar{X}_{0meses}$	2,824	0,500	3,575	4,149
$t_6$	$0,90 * \bar{X}_{0meses}$	5,648	2,507	0,096	6,806
$t_7$	$0,85 * \bar{X}_{0meses}$	8,472	4,513	3,382	9,463
$t_8$	$0,80 * \bar{X}_{0meses}$	11,296	6,519	6,860	12,120
$t_9$	$0,75 * \bar{X}_{0meses}$	14,120	8,526	10,339	14,777
$t_{10}$	$0,70 * \bar{X}_{0meses}$	16,944	10,532	13,817	17,433

**Cuadro B.73.** Valores obtenidos para el cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para las bolsas verdes.

Parámetro	Abreviatura	Valor
Número de medias	a	4
Número de valores por tratamiento	n	7
Error cuadrático medio	MS <sub>E</sub>	628,293
Error estándar de cada media	$s_{\bar{y}_i}$	9,474
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=2	$r_{0,05}(2,24)$	2,919
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=3	$r_{0,05}(3,24)$	3,066
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=4	$r_{0,05}(4,24)$	3,160
Rango menos significativo R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	27,655
Rango menos significativo R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	29,047
Rango menos significativo R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	29,938

**Cuadro B.74.** Resultados obtenidos del cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Los Mangos.

Comparación individual de:				Resta de Primer y Segundo valor	R a utilizar	Resultado
Primer Valor		Segundo Valor				
Doce Meses	545,823	Cero Meses	518,550	27,273	R <sub>4</sub> 29,938	Iguales
Doce Meses	545,823	Tres Meses	519,133	26,690	R <sub>3</sub> 29,047	Iguales
Doce Meses	545,823	Seis Meses	522,624	23,199	R <sub>2</sub> 27,655	Iguales
Seis Meses	522,624	Cero Meses	518,550	4,074	R <sub>3</sub> 29,047	Iguales
Seis Meses	522,624	Tres Meses	519,133	3,491	R <sub>2</sub> 27,655	Iguales
Tres Meses	519,133	Cero Meses	518,550	0,583	R <sub>2</sub> 27,655	Iguales

**Cuadro B.75.** Valores obtenidos para el cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para las bolsas verdes.

Parámetro	Abreviatura	Valor
Número de medias	a	4
Número de valores por tratamiento	n	7
Error cuadrático medio	MS <sub>E</sub>	502,23
Error estándar de cada media	$s_{\bar{y}_i}$	8,470
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=2	r <sub>0,05(2,24)</sub>	2,919
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=3	r <sub>0,05(3,24)</sub>	3,066
Valor de tabla de rango de significancia de Duncan para p=4	r <sub>0,05(4,24)</sub>	3,160
Rango menos significativo R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	24,725
Rango menos significativo R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	25,970
Rango menos significativo R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	26,766

**Cuadro B.76.** Resultados obtenidos del cálculo de la prueba de rangos múltiples de Duncan para la elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul.

Comparación individual de:				Resta de Primer y Segundo valor	R a utilizar	Resultado
Primer Valor	Segundo Valor					
Doce Meses	548,464	Tres Meses	509,453	39,011	R <sub>4</sub> 26,766	Diferentes
Doce Meses	548,464	Cero Meses	518,550	29,914	R <sub>3</sub> 25,970	Diferentes
Doce Meses	548,464	Seis Meses	522,903	25,561	R <sub>2</sub> 24,725	Diferentes
Seis Meses	522,903	Tres Meses	509,453	13,450	R <sub>3</sub> 25,970	Iguales
Seis Meses	522,903	Cero Meses	518,550	4,353	R <sub>2</sub> 24,725	Iguales
Cero Meses	518,550	Tres Meses	509,453	9,097	R <sub>2</sub> 24,725	Iguales

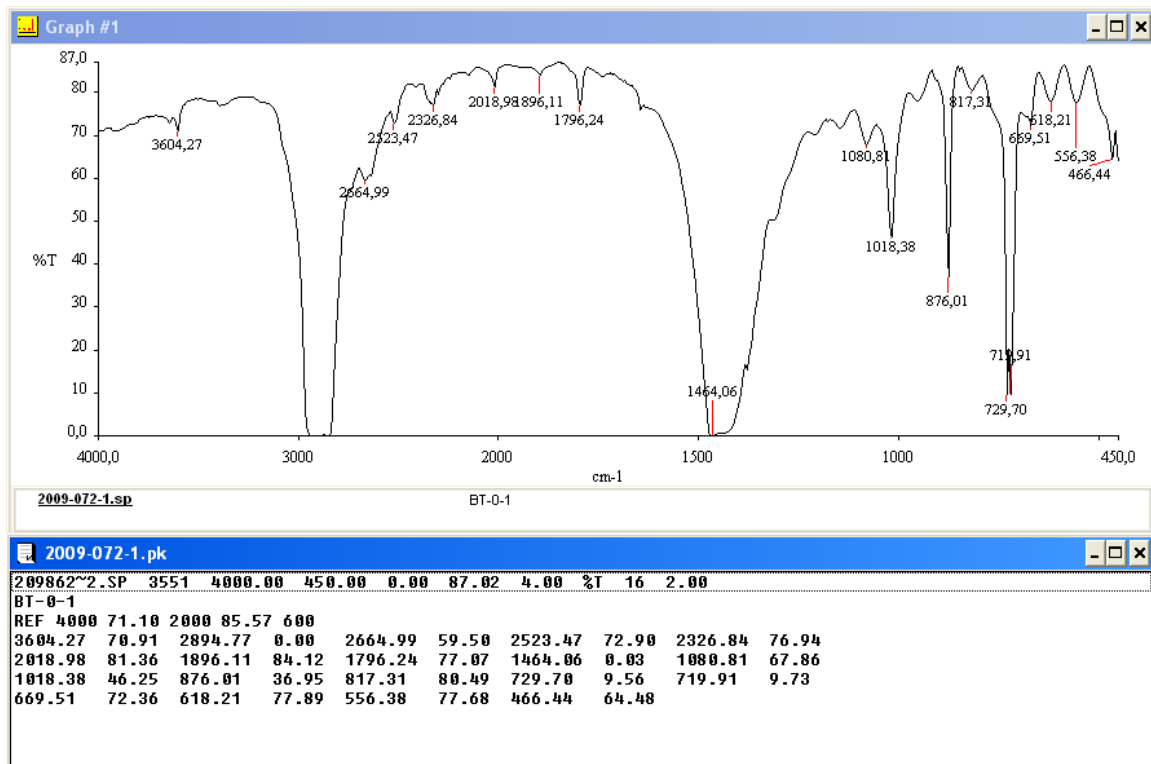






# APÉNDICE C

## Figuras de Espectros Infrarrojos



**Figura C.1.** Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición.

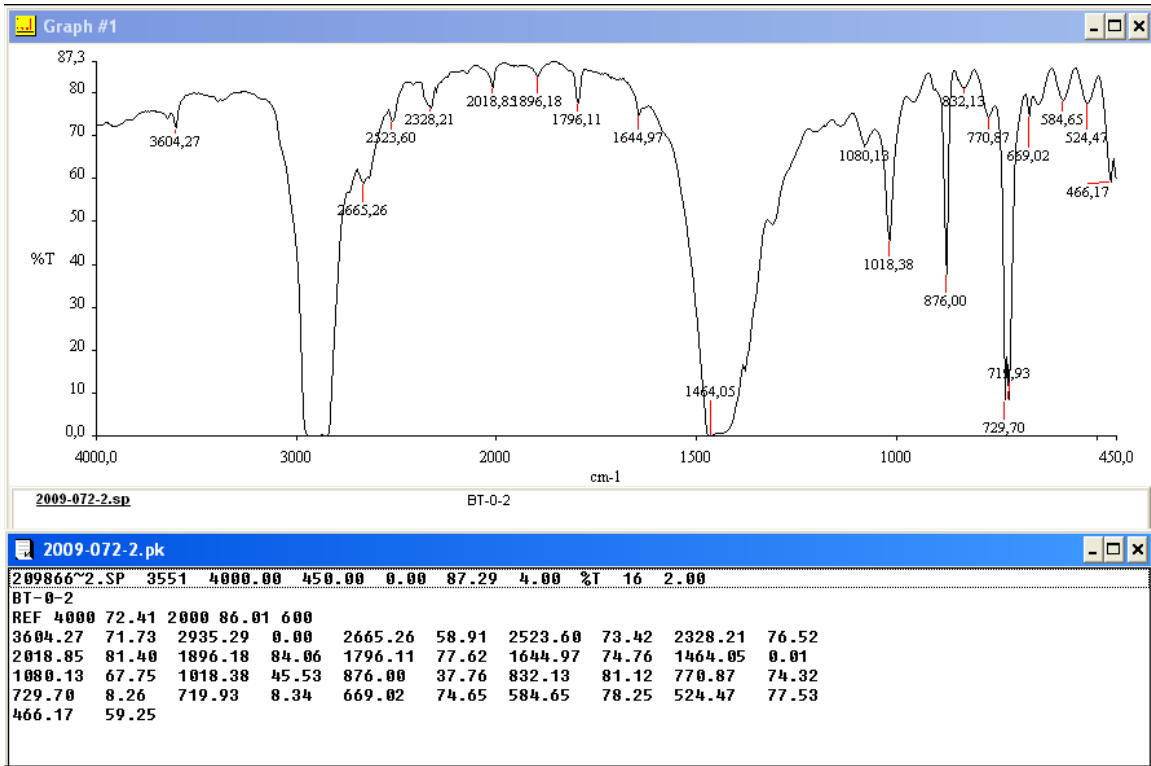


Figura C.2. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición.

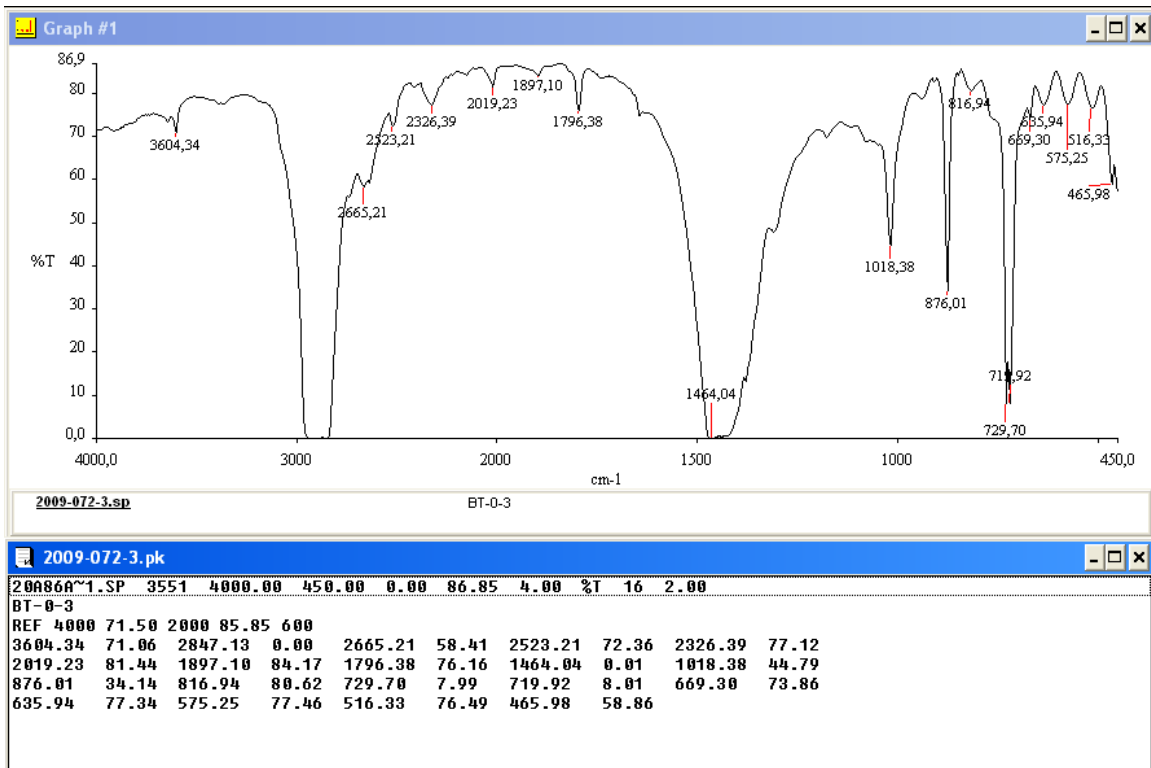


Figura C.3. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales con cero meses de exposición.

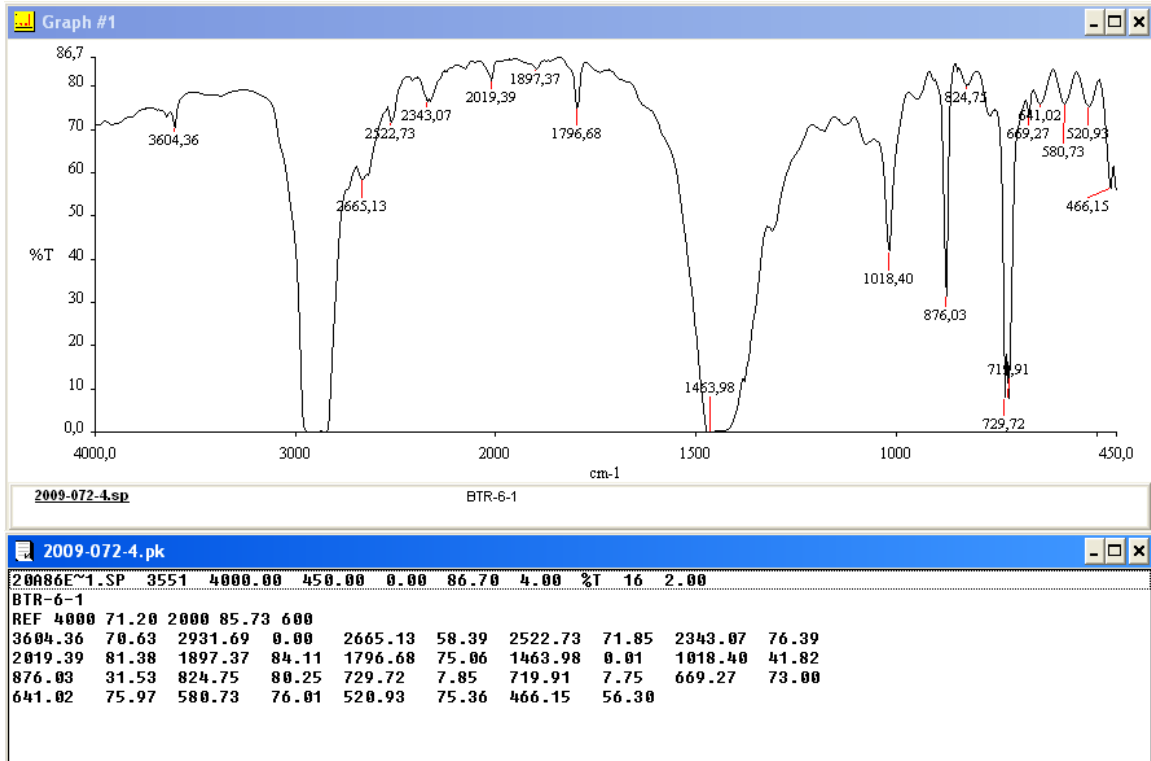


Figura C.4. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul.

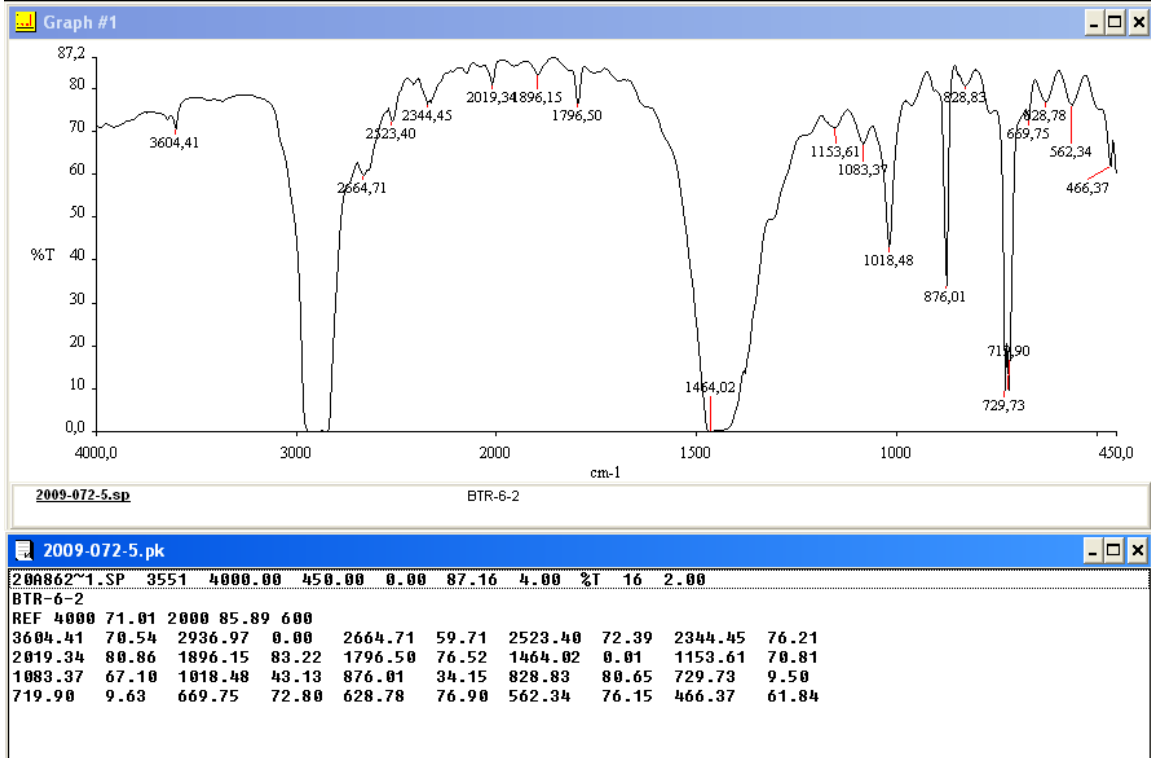


Figura C.5. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul.

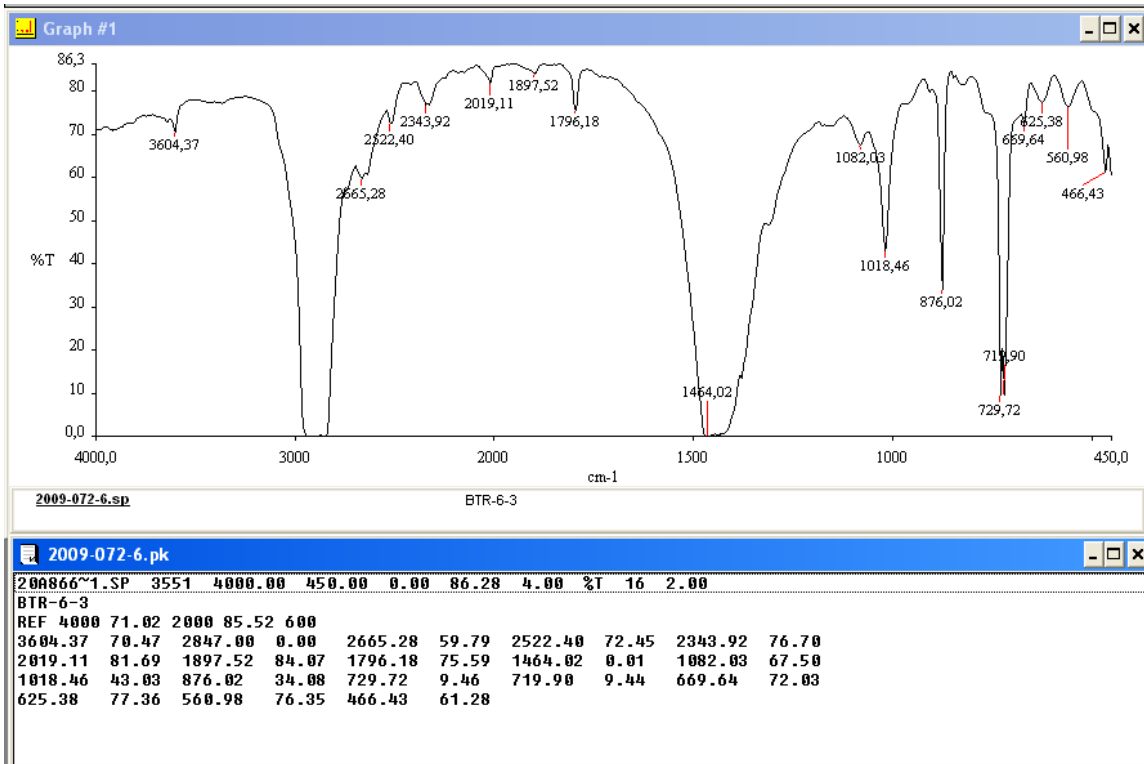


Figura C.6. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Río Azul.

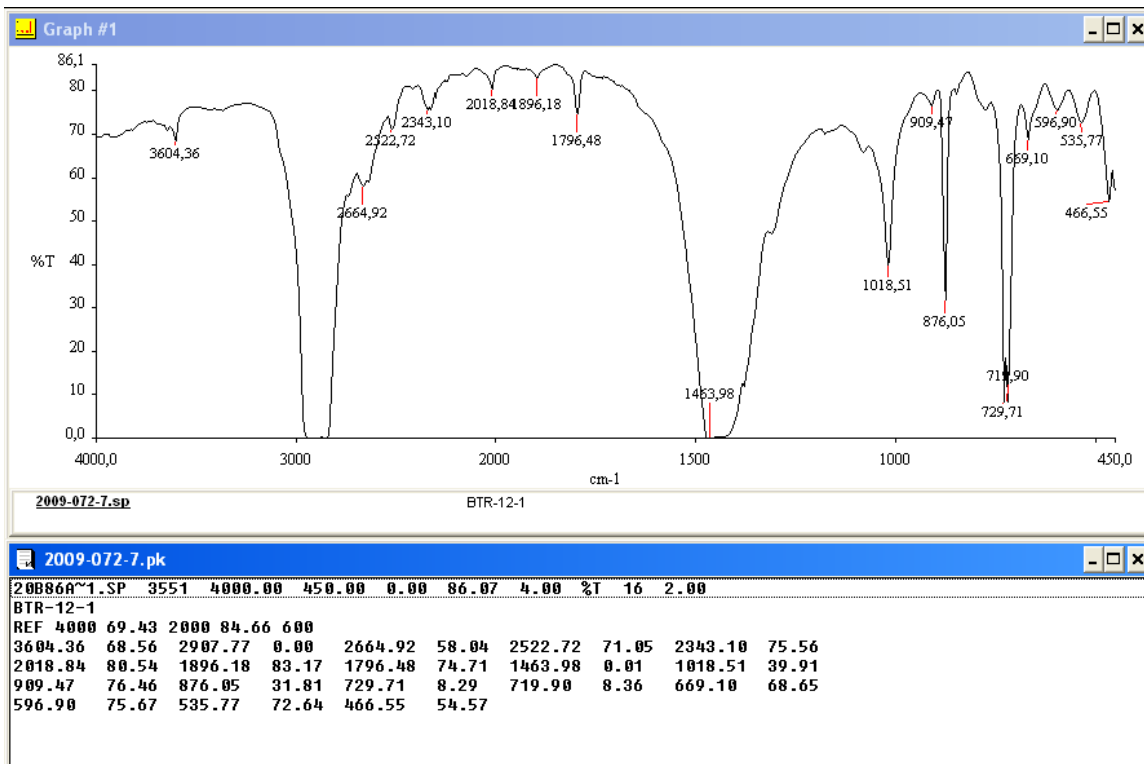


Figura C.7. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul.

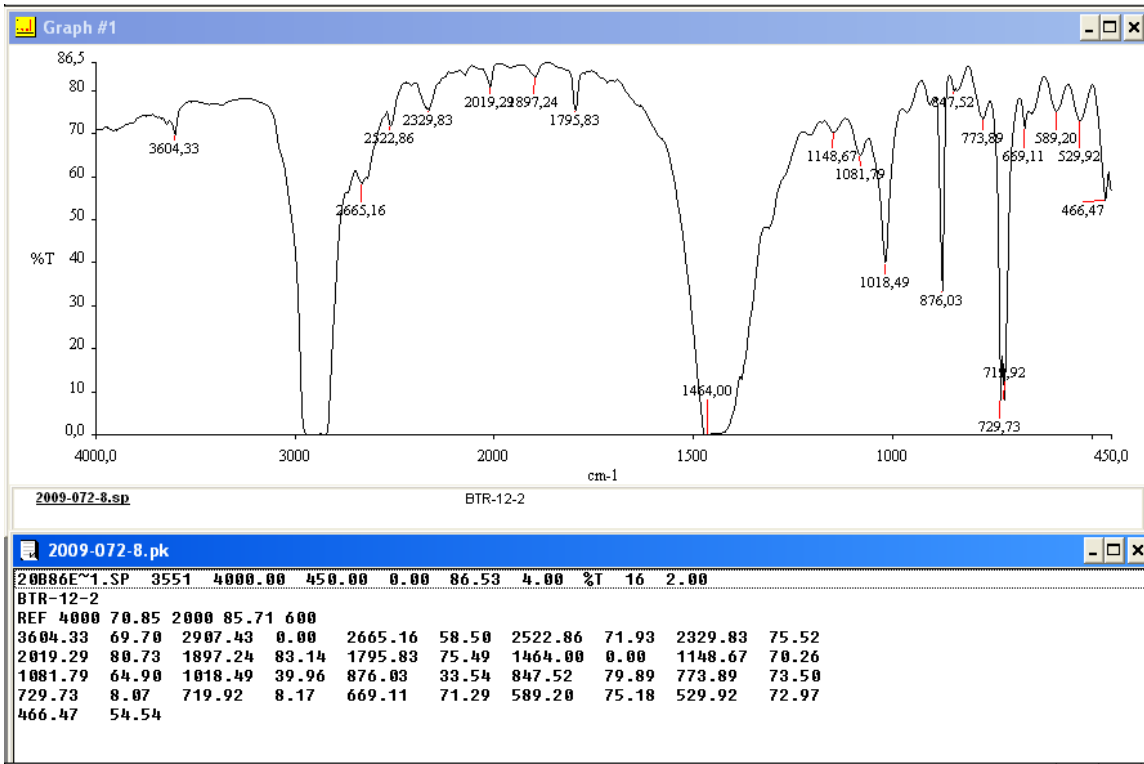


Figura C.8. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul.

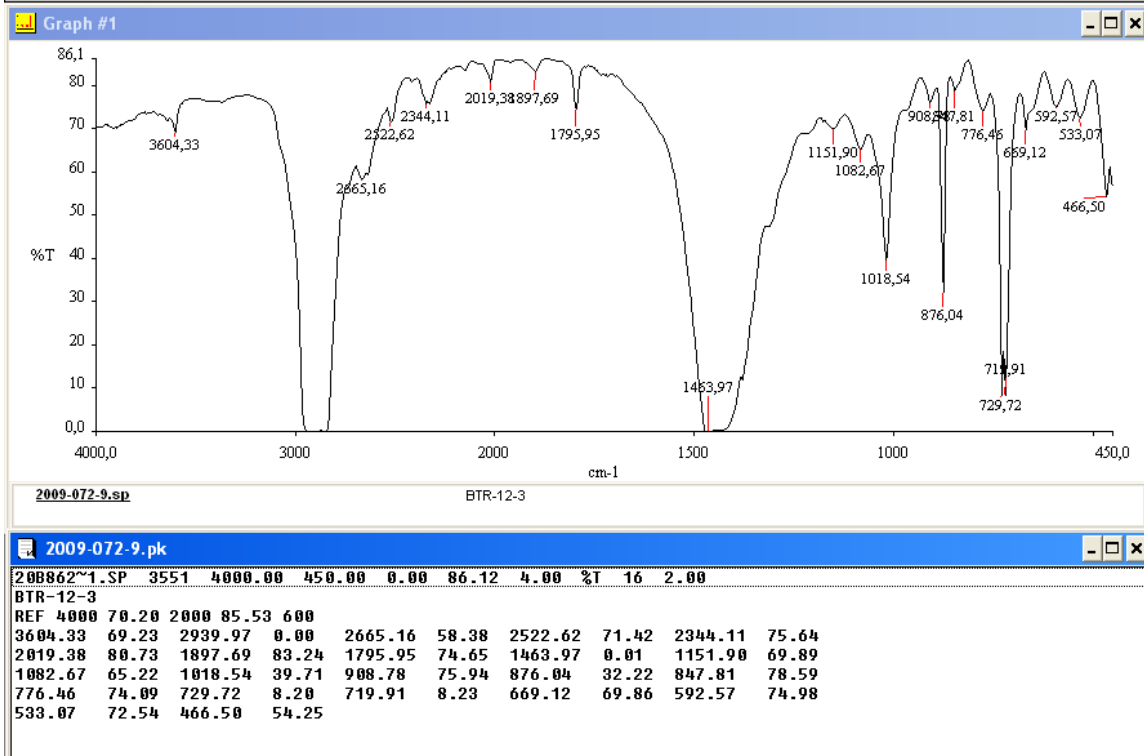


Figura C.9. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Río Azul.

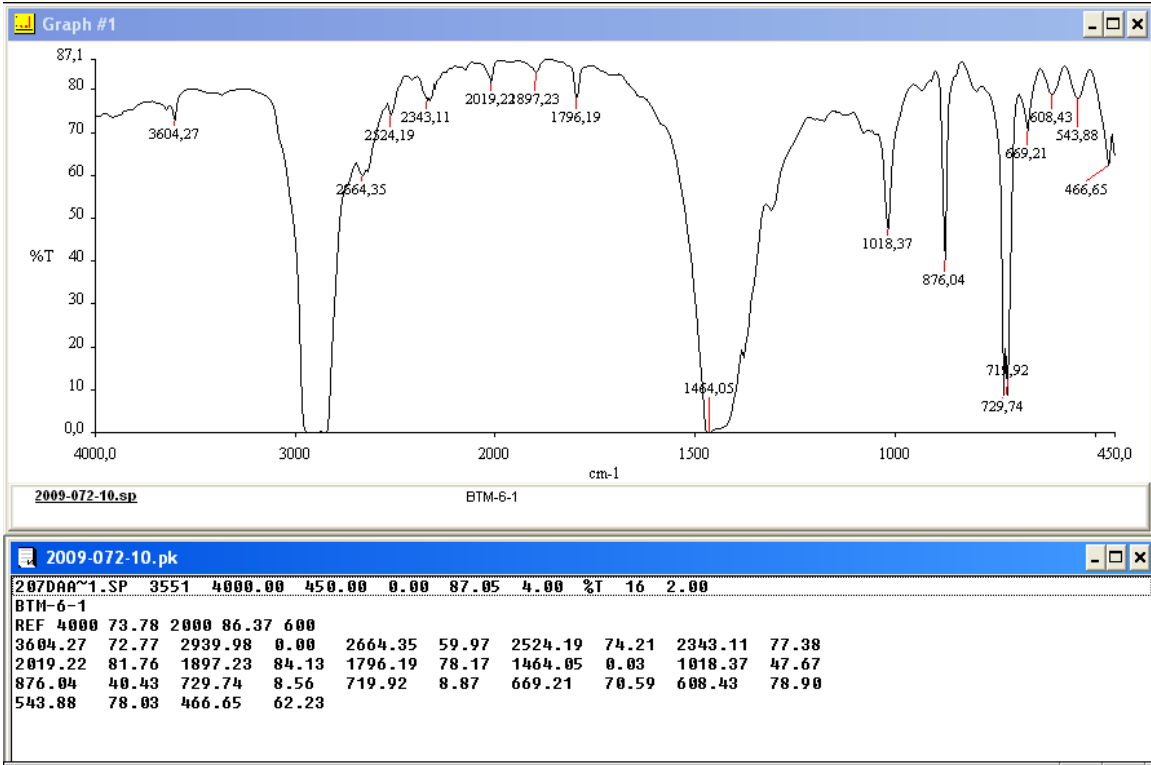


Figura C.10. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos.

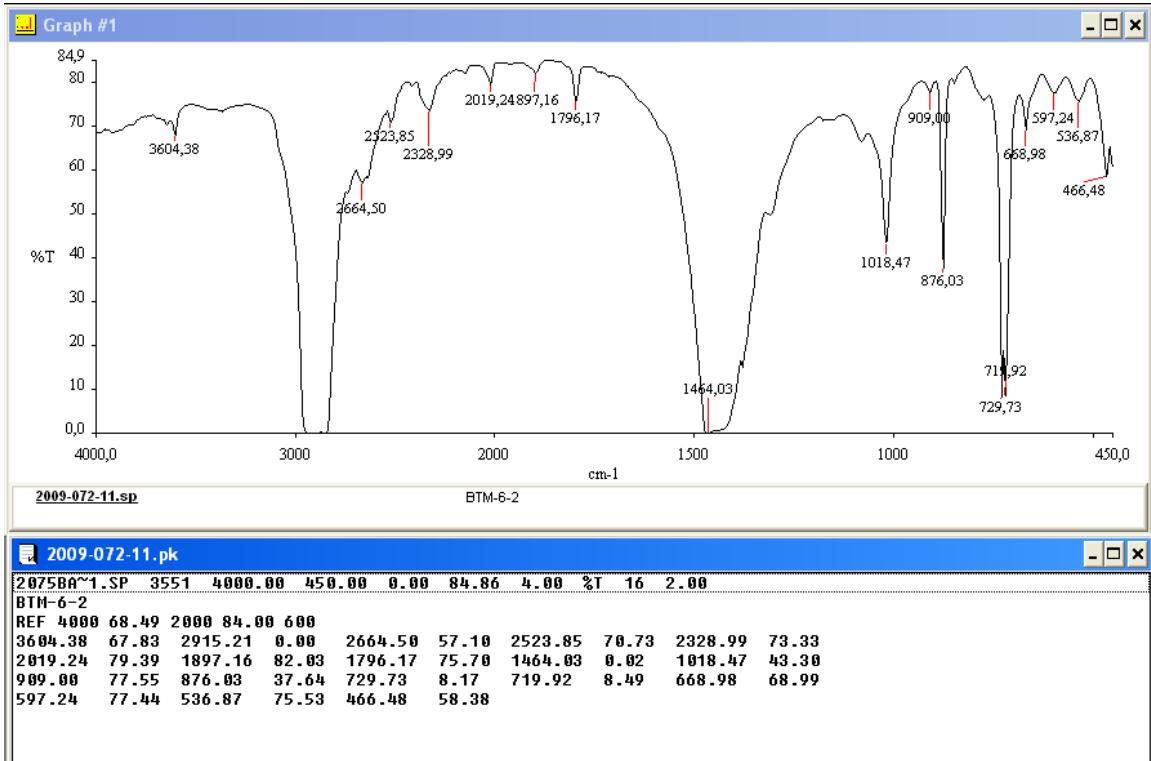


Figura C.11. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos.

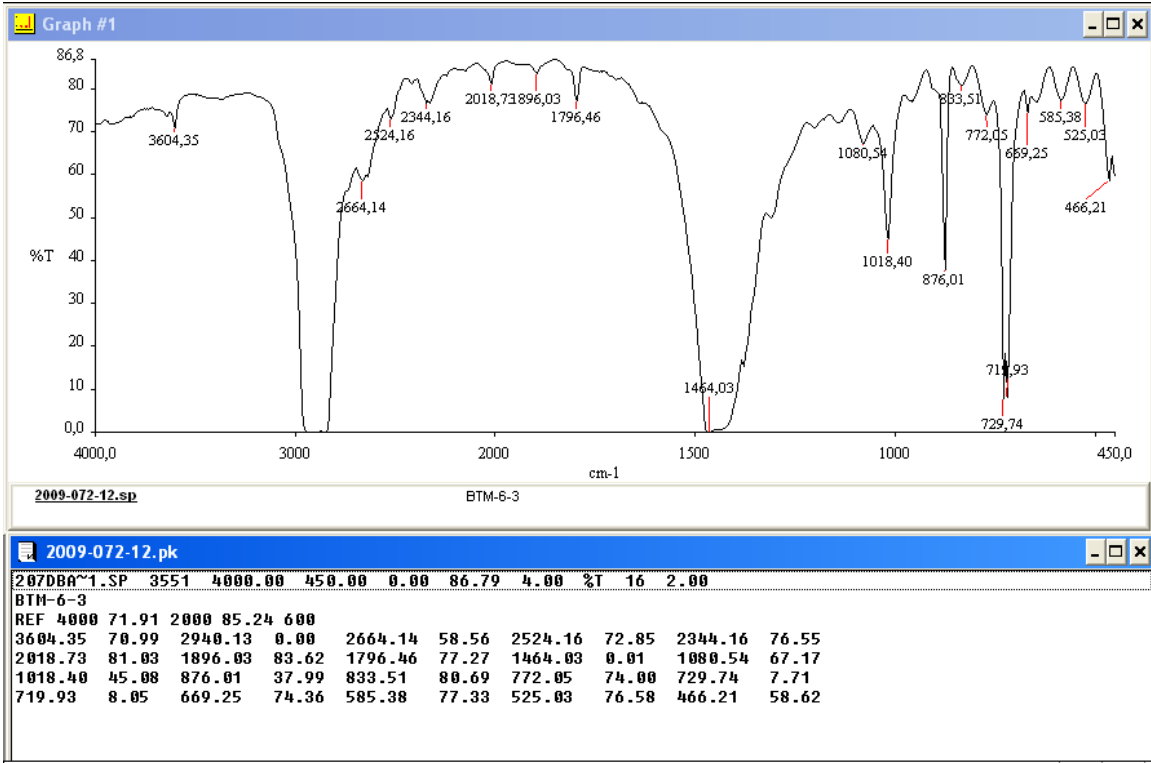


Figura C.12. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas seis meses en Los Mangos.

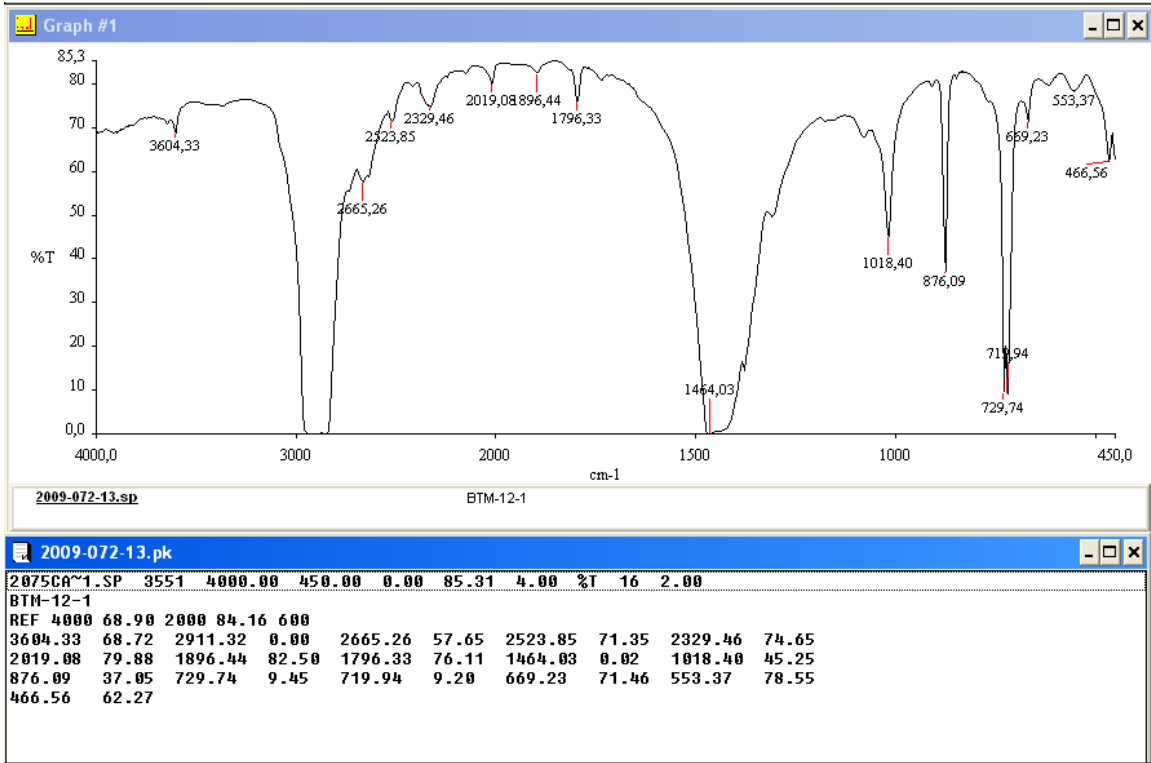


Figura C.13. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos.



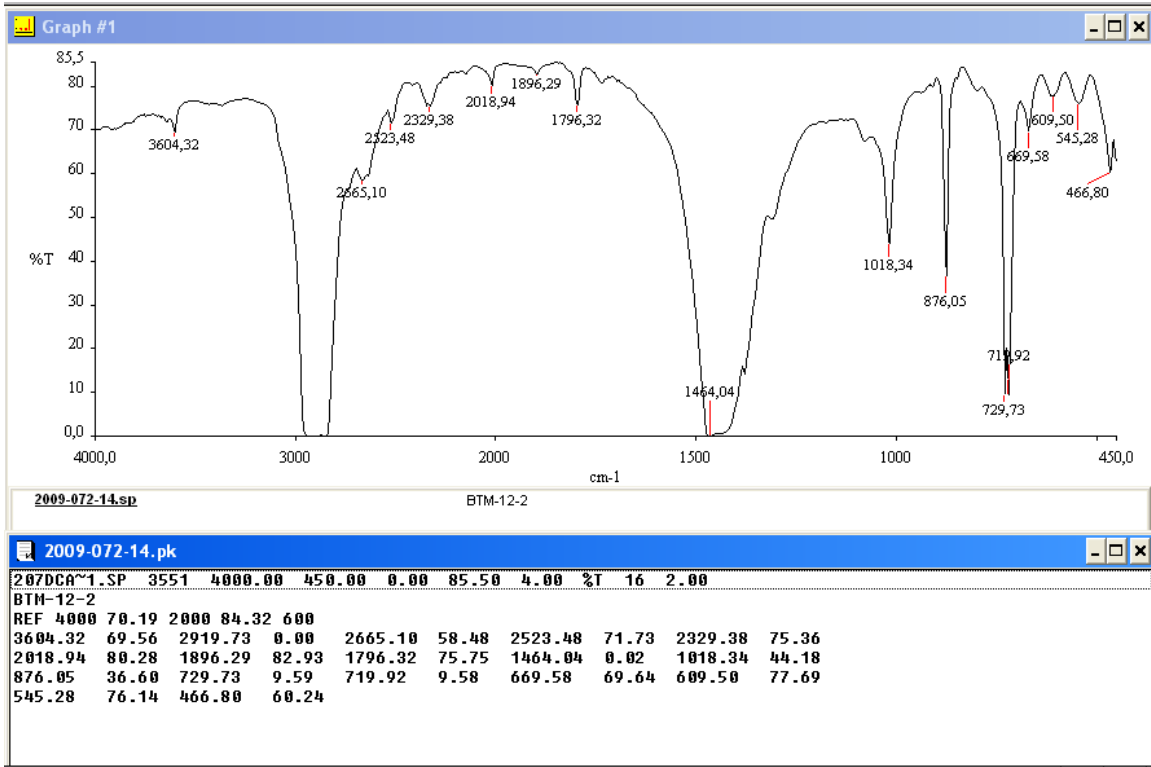


Figura C.14. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos.

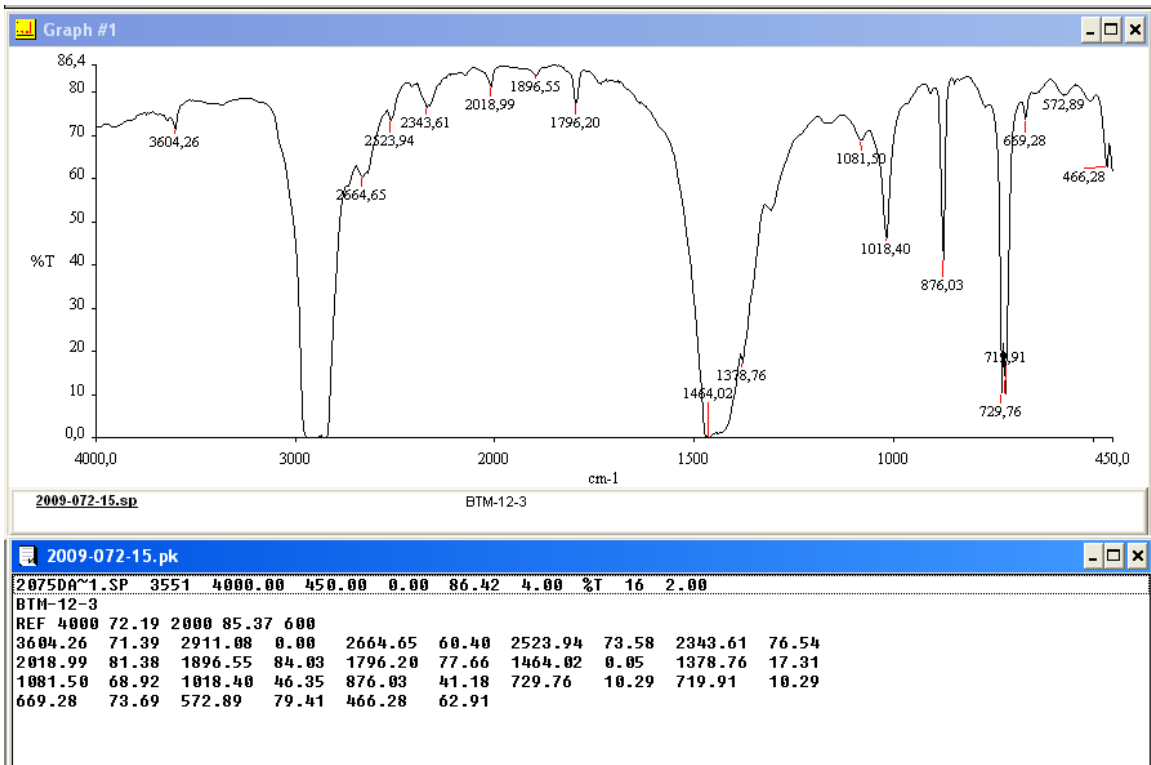


Figura C.15. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas tradicionales enterradas doce meses en Los Mangos.

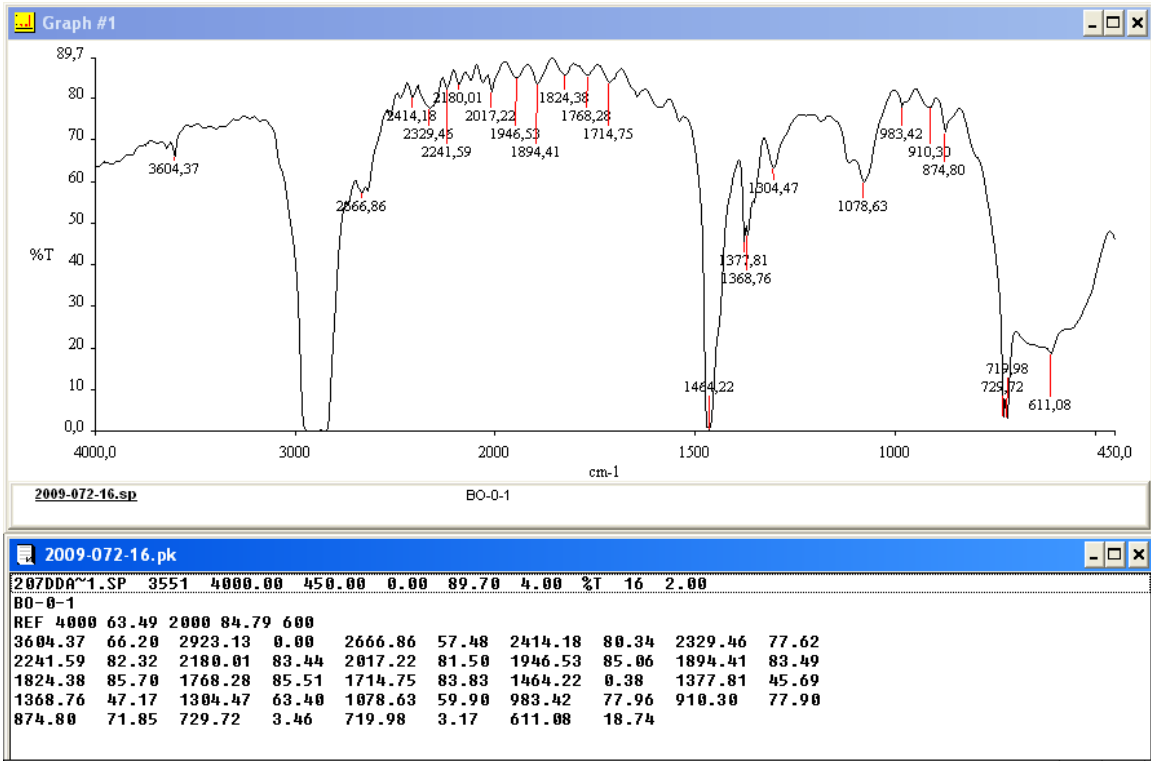


Figura C.16. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición.

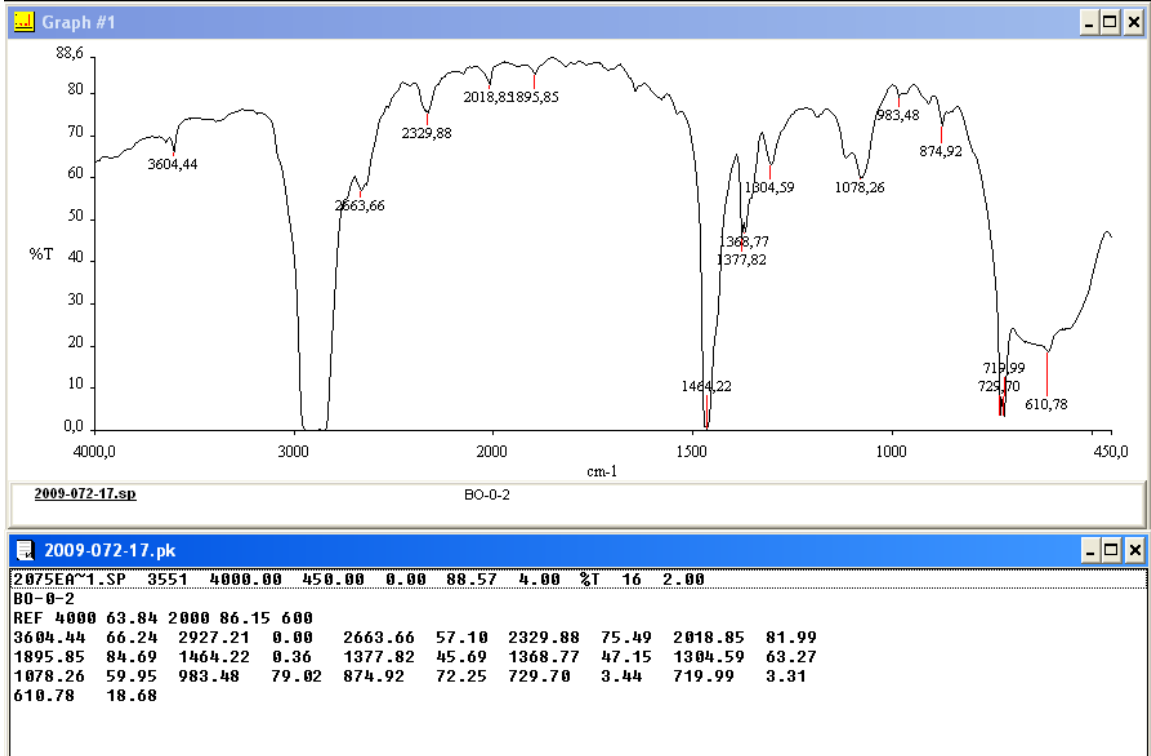


Figura C.17. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición.

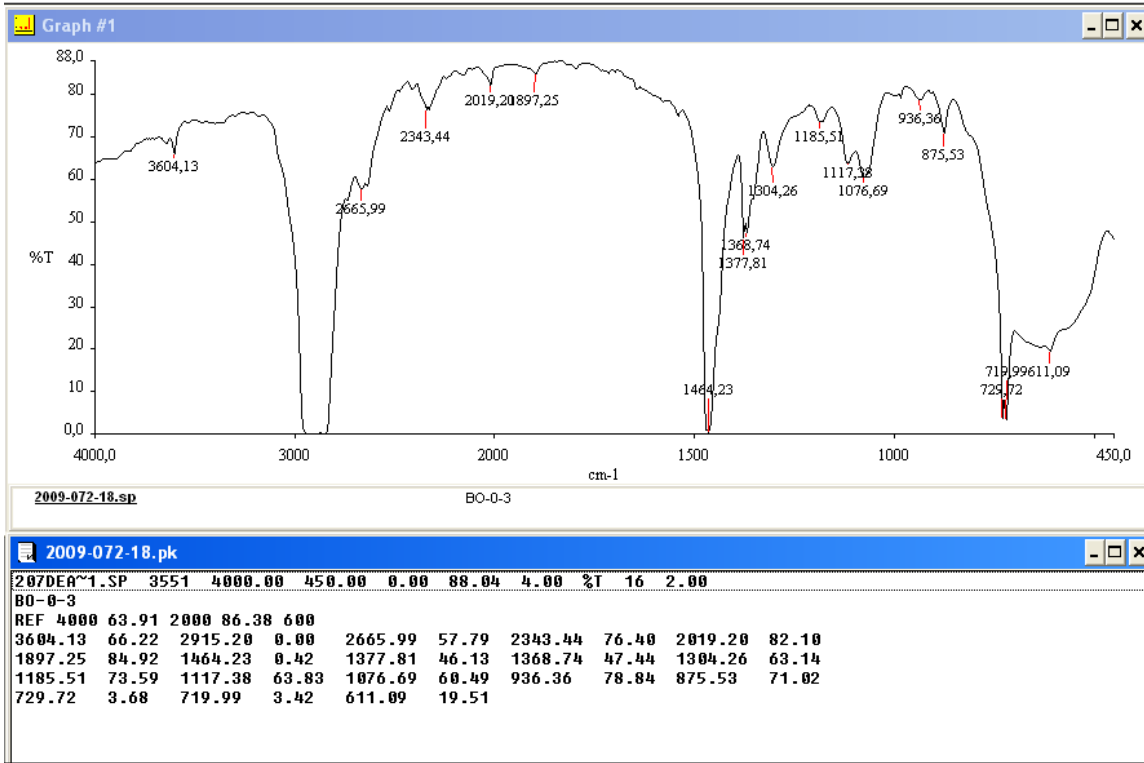


Figura C.18. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables con cero meses de exposición.

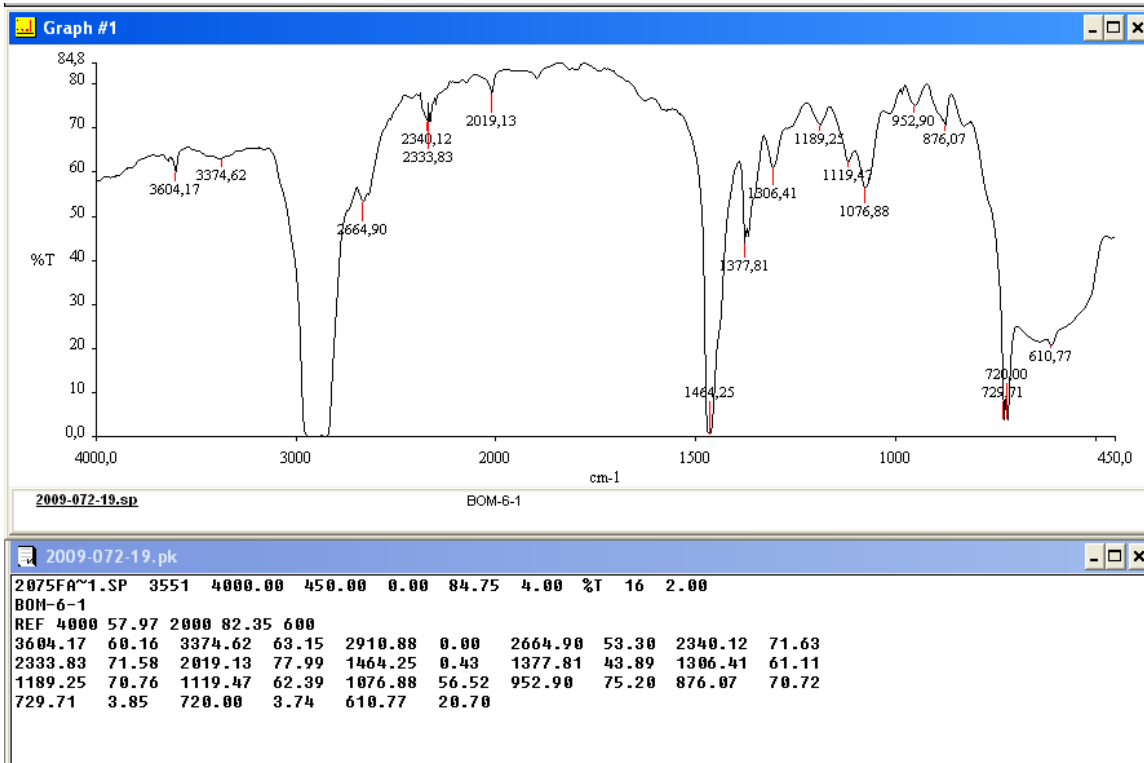
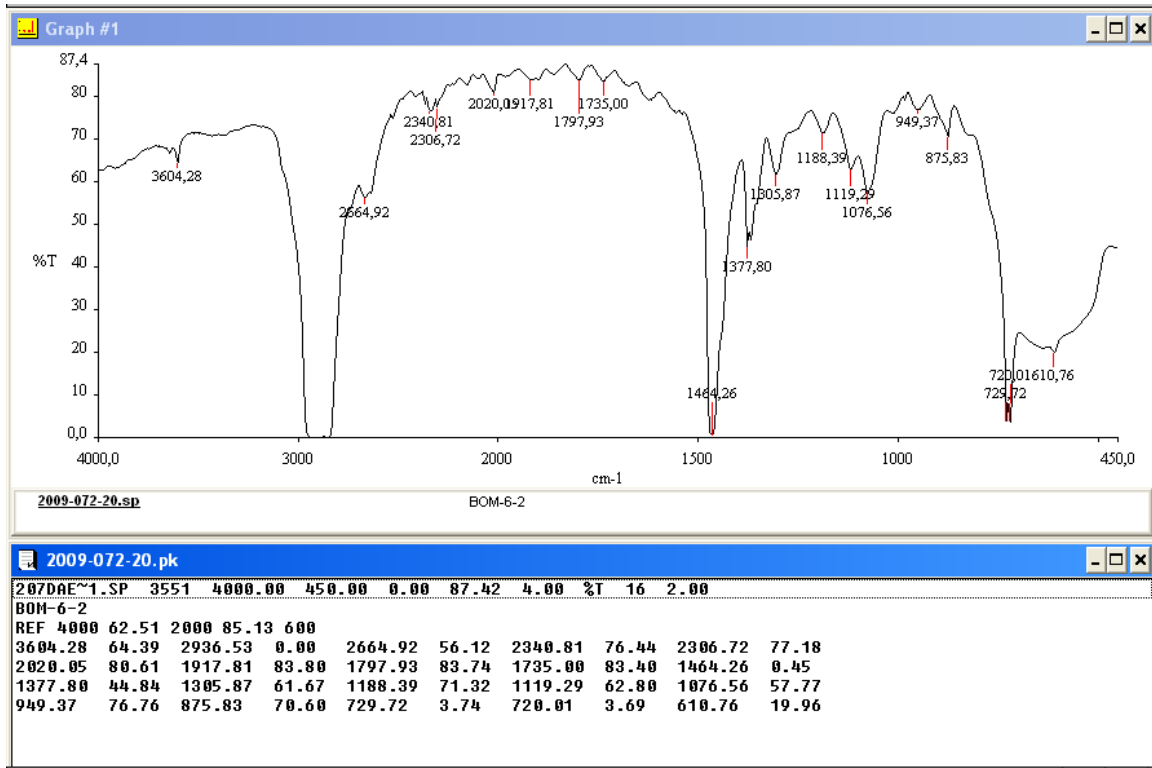
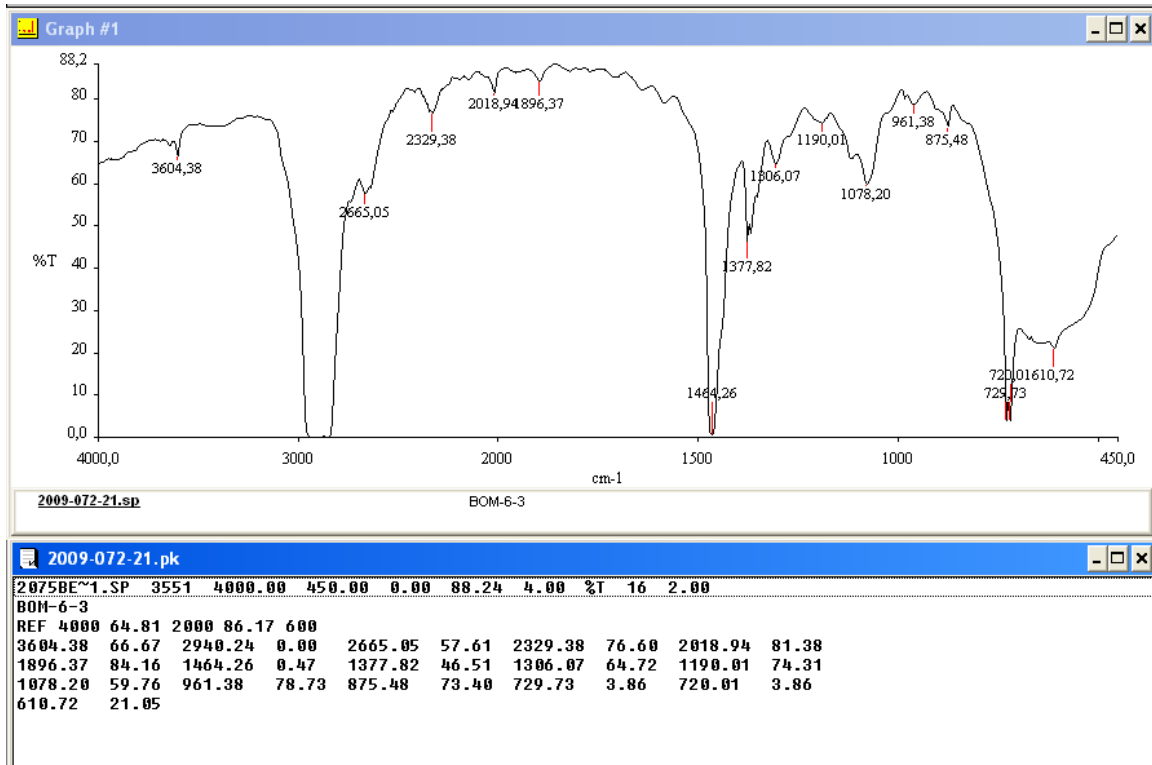


Figura C.19. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos.



**Figura C.20.** Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos.



**Figura C.21.** Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Los Mangos.

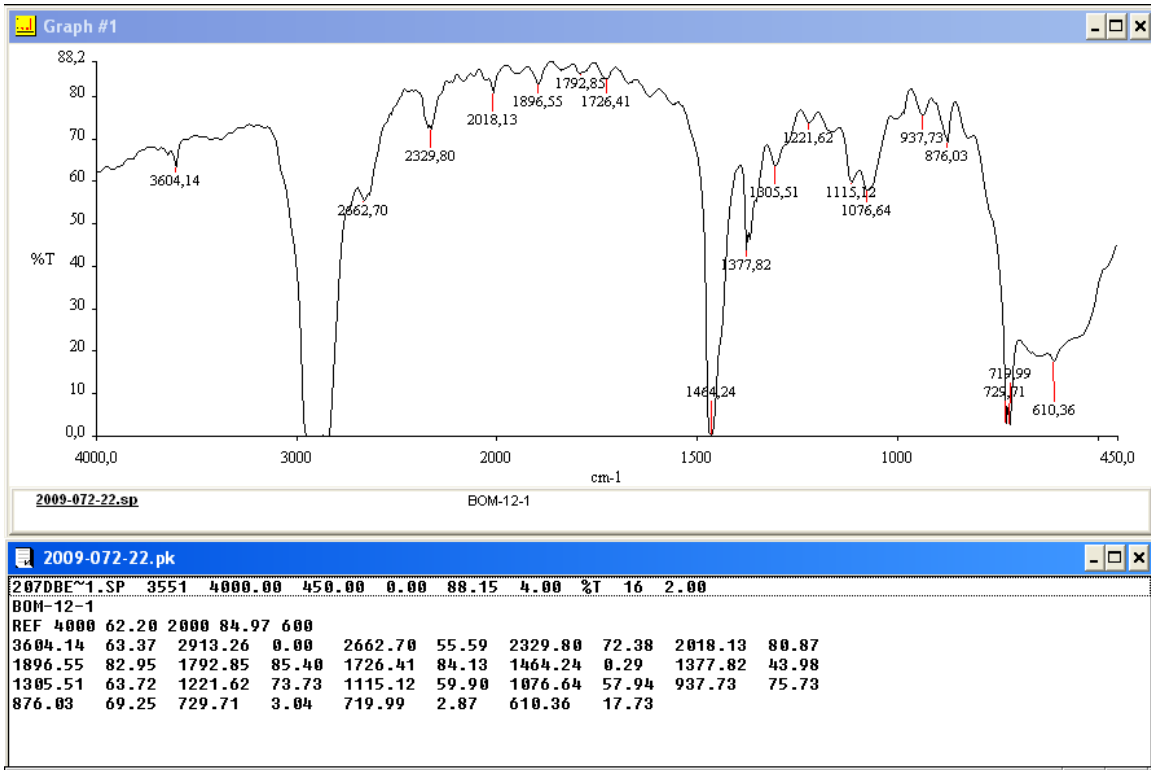


Figura C.22. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos.

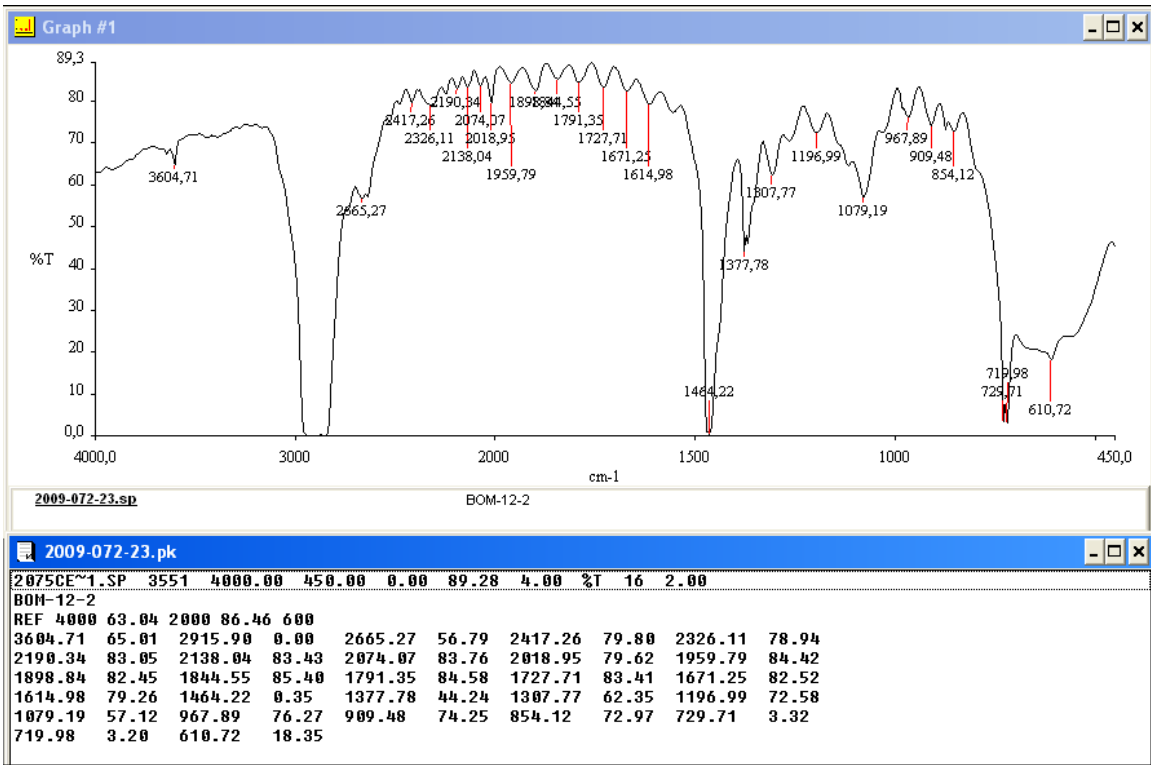


Figura C.23. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos.

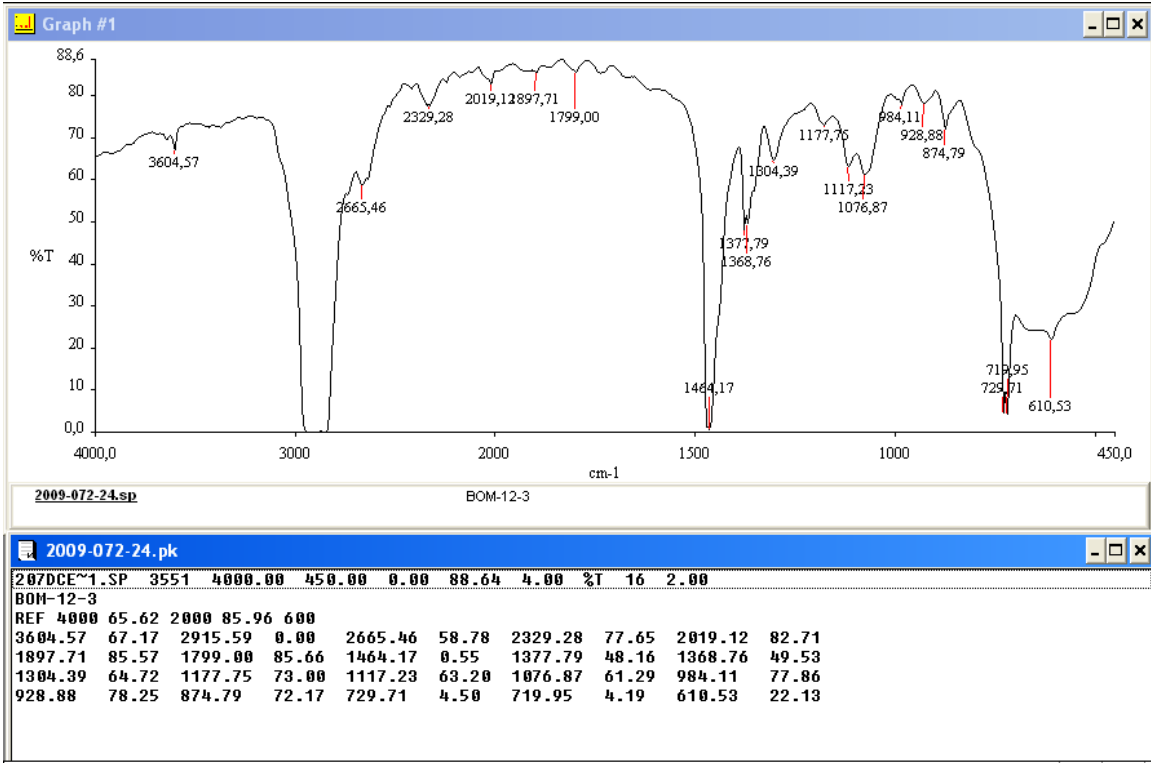


Figura C.24. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Los Mangos.

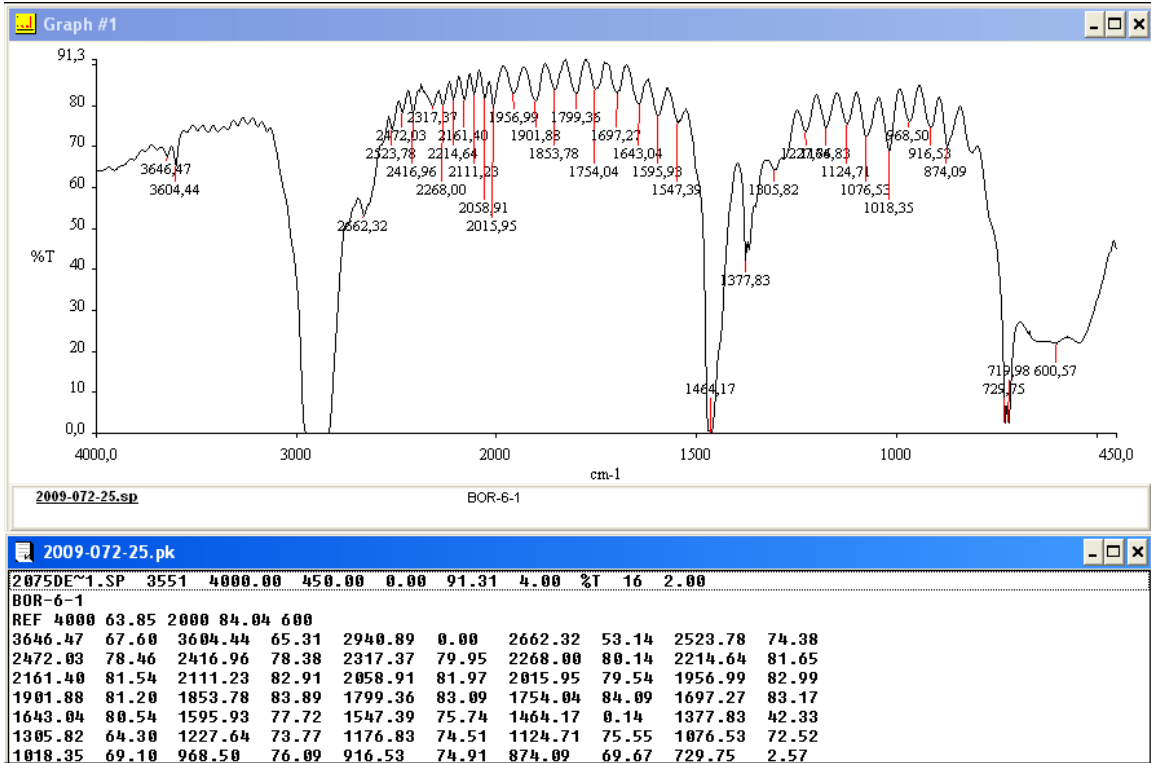


Figura C.25. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Río Azul.

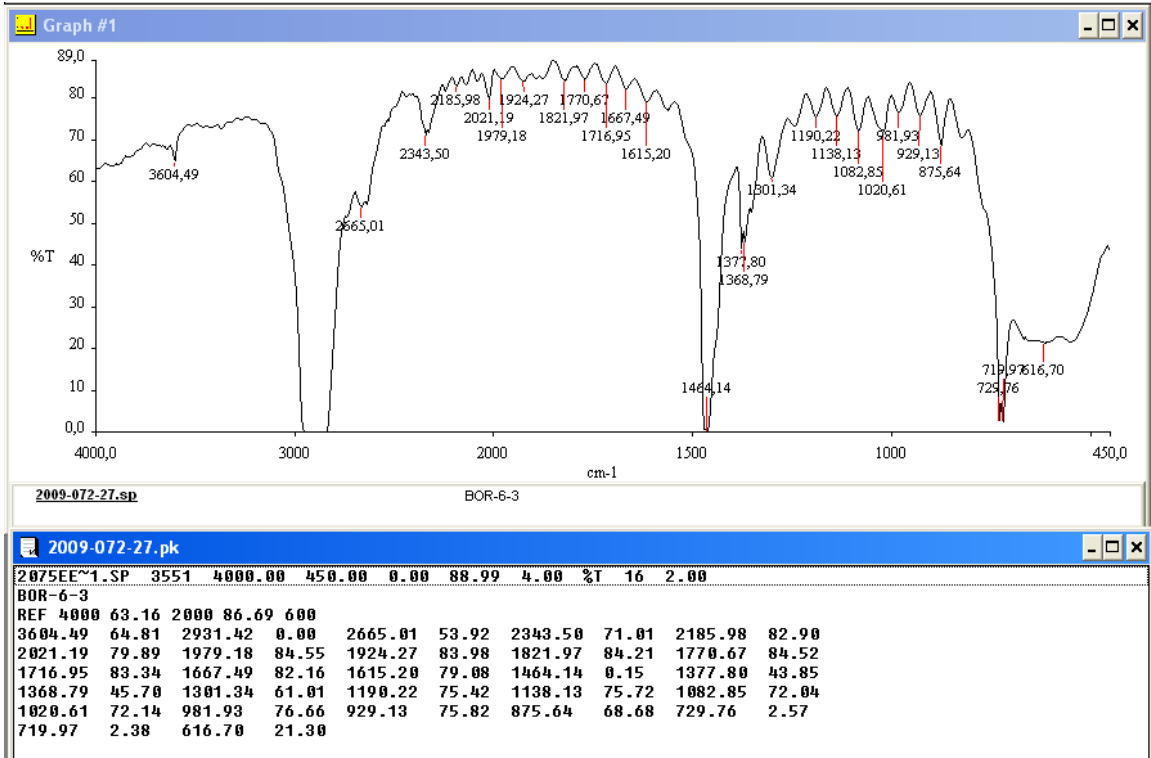


Figura C.26. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas seis meses en Río Azul.

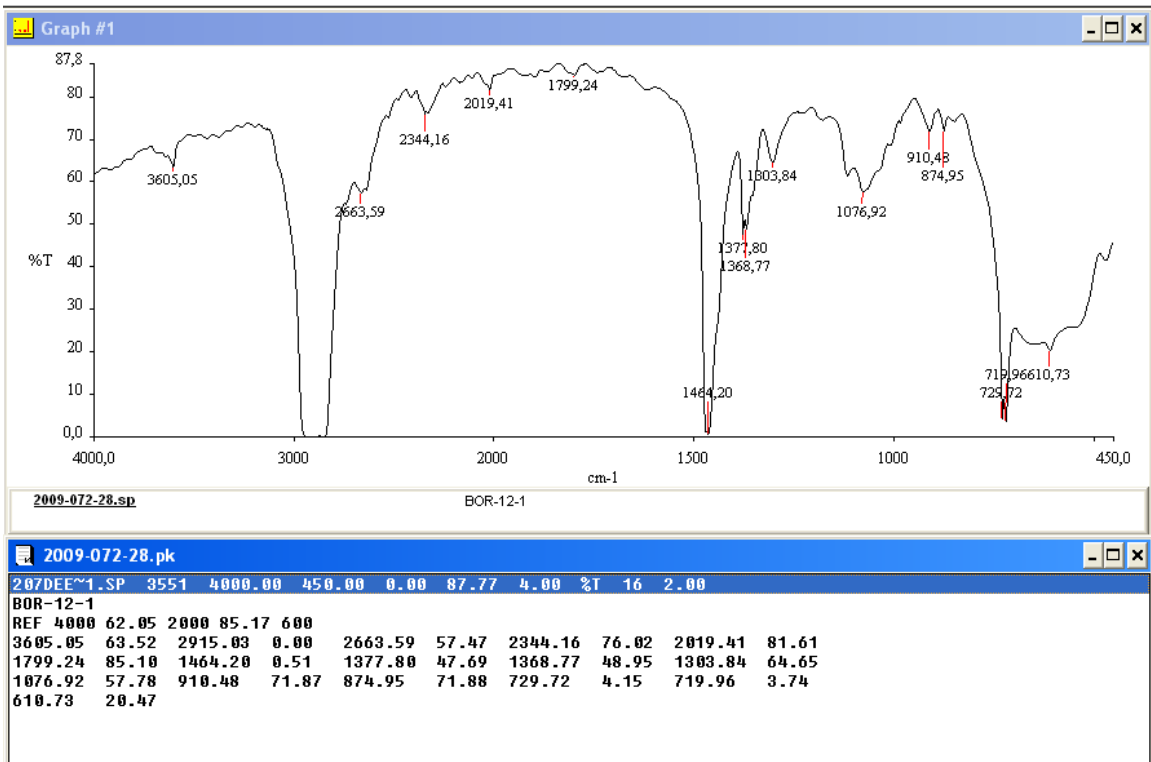


Figura C.27. Espectro Infrarrojo #1 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul.

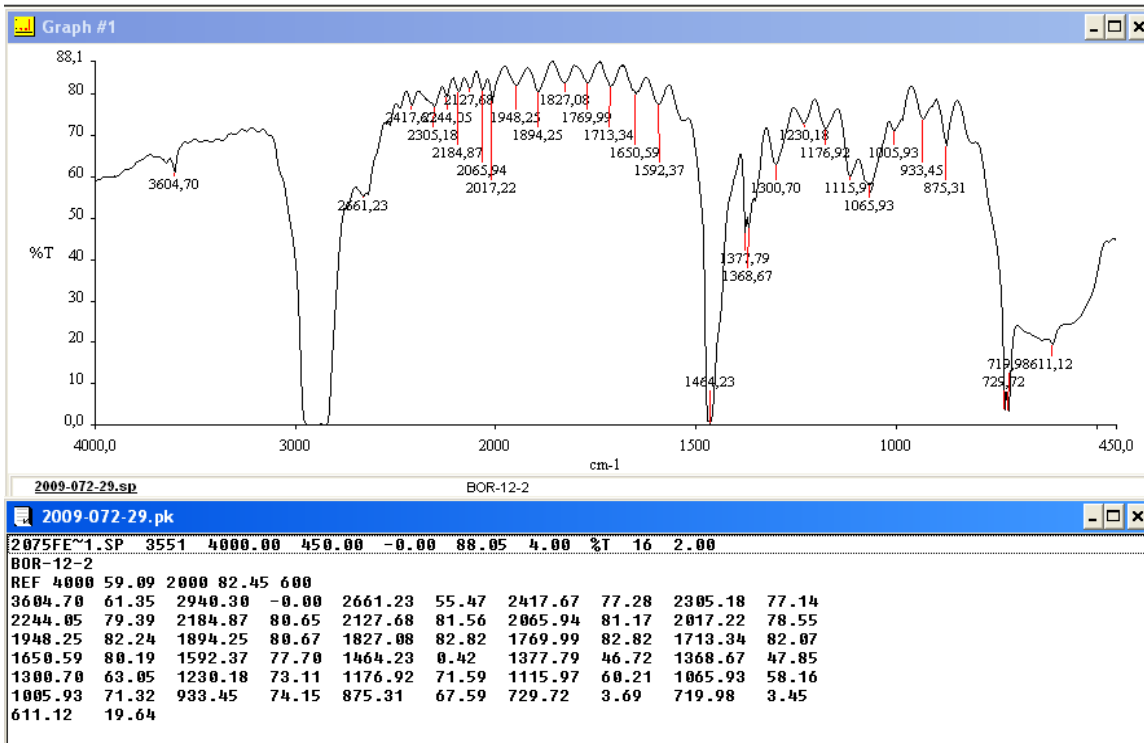


Figura C.28. Espectro Infrarrojo #2 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul.

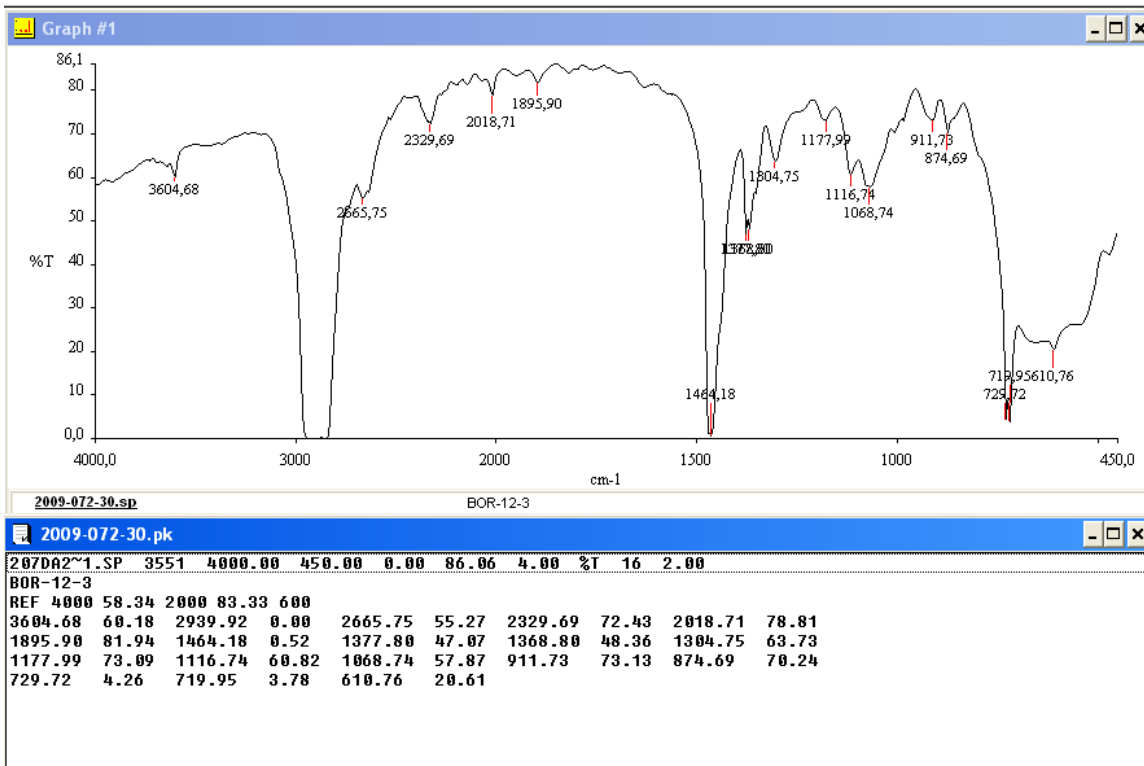


Figura C.29. Espectro Infrarrojo #3 obtenido de las bolsas blancas oxodegradables enterradas doce meses en Río Azul.



# APÉNDICE D

## Muestra de Cálculo

### D.1 Cálculo de promedio

Para cada uno de los grupos de datos experimentales, se calculan los promedios mediante la ecuación D.1., siendo  $n$  el número de valores reportados para cada uno de los tratamientos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{D.1})$$

Utilizando los datos del Cuadro A.21, fila 2, columnas 2 a 7, se calcula el promedio de los valores experimentales de tensión como se muestra a continuación:

$$\bar{x} = \frac{4,19 + 4,44 + 4,63 + 4,16 + 4,52 + 4,32}{6} = 4,38$$

El resultado de este cálculo se reporta en el Cuadro B.61, fila 2, columna 3. De igual manera se obtienen los valores del Cuadro B.61, fila 2, columnas 4, 5 y 6.

### D.2 Cálculo de varianza

Utilizando los promedios calculados en D.1 y los valores experimentales, se calcula la varianza mediante la siguiente ecuación:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (\text{D.2})$$

Utilizando nuevamente los valores experimentales del Cuadro A.21, fila 2, columnas 2 a 7, se obtiene la varianza de la siguiente manera:

$$s^2 = \frac{(4,19 - 4,38)^2 + (4,44 - 4,38)^2 + (4,63 - 4,38)^2 + (4,16 - 4,38)^2 + (4,52 - 4,38)^2 + (4,32 - 4,38)^2}{(6 - 1)} = 0,035$$

Valor reportado en el Cuadro B.61, fila 3, columna 3. De igual manera se obtienen los valores del Cuadro B.61, fila 3, columnas 4, 5 y 6.

### D.3 Cálculo de Suma de Cuadrados de los Tratamientos ( $SS_{\text{Tratamientos}}$ )

Para calcular la suma de cuadrados de los tratamientos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$SS_{\text{Tratamientos}} = n \sum_{i=1}^a (\bar{x} - \bar{x}_t)^2 \quad (\text{D.3})$$

Se utilizan los promedios calculados anteriormente y reportados en el Cuadro B.61, fila 2, columnas 3 a 6, además del promedio total ( $\bar{x}$ ) calculado a continuación:

$$\bar{x} = \frac{4,38 + 3,17 + 3,41 + 3,03}{4} = 3,50$$

Entonces el cálculo de la suma de cuadrados de los tratamientos se hace de la siguiente manera:

$$SS_{\text{Tratamientos}} = 6 * ((4,38 - 3,50)^2 + (3,17 - 3,50)^2 + (3,41 - 3,50)^2 + (3,03 - 3,50)^2) = 6,644$$

El valor obtenido se reporta en el Cuadro B.61, fila 4, columna 3.

### D.4 Cálculo de Suma Total de Cuadrados ( $SS_T$ )

La suma total de cuadrados se calcula utilizando la ecuación D.4.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x}_t)^2 \quad (\text{D.4})$$

Utilizando los datos experimentales del Cuadro A.21 y el promedio total calculado anteriormente, se calcula la suma total de cuadrados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} SS_T = & ((4,19 - 3,50)^2 + (4,44 - 3,50)^2 + (4,63 - 3,50)^2 + (4,16 - 3,50)^2 + (4,52 - 3,50)^2 + (4,32 - 3,50)^2) + \\ & ((3,13 - 3,50)^2 + (3,21 - 3,50)^2 + (3,11 - 3,50)^2 + (3,11 - 3,50)^2 + (3,27 - 3,50)^2 + (3,19 - 3,50)^2) + \\ & ((3,20 - 3,50)^2 + (3,24 - 3,50)^2 + (3,41 - 3,50)^2 + (3,66 - 3,50)^2 + (3,63 - 3,50)^2 + (3,34 - 3,50)^2) + \\ & ((3,45 - 3,50)^2 + (2,47 - 3,50)^2 + (2,76 - 3,50)^2 + (2,87 - 3,50)^2 + (3,43 - 3,50)^2 + (3,19 - 3,50)^2) \end{aligned}$$

$$SS_T = 7,802$$

Este valor se muestra en el Cuadro B.61, fila 5, columna 3.

### D.5 Cálculo de Suma de Cuadrados del Error ( $SS_E$ )

La suma de cuadrados del error se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tratamientos}} \quad (\text{D.5})$$

Los valores de  $SS_T$  y  $SS_{Tratamientos}$  calculados anteriormente, se sustituyen en la ecuación D.5 para calcular  $SS_E$ , como se muestra a continuación:

$$SS_E = 7,802 - 6,644 = 1,157$$

El valor obtenido de  $SS_E$  se reporta en el Cuadro B.61, fila 6, columna 3.

#### D.6 Cálculo de la Media de Cuadrados para Tratamientos ( $MS_{Tratamientos}$ )

La media de cuadrados para tratamientos se calcula utilizando la ecuación D.6.

$$MS_{Tratamientos} = \frac{SS_{Tratamientos}}{(a-1)} \quad (D.6)$$

Se sustituyen los valores de  $SS_{Tratamientos}$  y  $a$  para obtener la media de cuadrados para tratamientos:

$$MS_{Tratamientos} = \frac{6,644}{(4-1)} = 2,215$$

El valor de  $MS_{Tratamientos}$  se reporta en el Cuadro B.61, fila 7, columna 3.

#### D.7 Cálculo del Error Cuadrático Medio ( $MS_E$ )

El error cuadrático medio se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$MS_E = \frac{SS_E}{a(n-1)} \quad (D.7)$$

Sustituyendo los valores previamente calculados, se obtiene:

$$MS_E = \frac{1,157}{4(6-1)} = 0,058$$

#### D.8 Cálculo de Intervalos de Confianza

El cálculo de un intervalo de confianza del  $100(1-\alpha)$  por ciento para la media de cada uno de los grupos de datos experimentales, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, a(n-1)} \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \leq \bar{x} \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, a(n-1)} \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \quad (D.8)$$

Utilizando los valores de  $\bar{x}$  y  $MS_E$  calculados anteriormente y tomando  $\alpha=0,05$ , se obtiene:

$$t_{\alpha/2, a(n-1)} = t_{0,025, 20} = 2,086$$

$$4,38 - 2,086\sqrt{\frac{0,058}{6}} \leq \bar{x} \leq 4,38 + 2,086\sqrt{\frac{0,058}{6}}$$

$$4,17 \leq \bar{x} \leq 4,58$$

El valor de  $t_{\alpha/2, a(n-1)}$ , se obtiene de las tablas de valores críticos de la distribución t.

El valor del intervalo de confianza se reporta en el Cuadro B.62, fila 2, columnas 2 y 4.

### D.9 Cálculo de valores porcentuales del intervalo de confianza con respecto a la media inicial

El cálculo del valor porcentual del intervalo de confianza con respecto a la media inicial, se hace de la siguiente manera:

$$\text{ValorPorcentual} = \frac{\text{LímiteIntervaloConfianza}}{\text{MediaInicial}} * 100 \quad (\text{D.9})$$

Sustituyendo los valores del límite del intervalo de confianza y la media inicial reportados en el Cuadro B.62, fila 2, columnas 2 y 3 respectivamente, se calcula el valor porcentual del límite del intervalo con respecto a la media inicial:

$$\text{ValorPorcentual} = \frac{4,58}{4,38} * 100 = 104,7\%$$

Dicho valor se reporta en el Cuadro B.62, fila 2, columna 4.

### D.10 Cálculo de pruebas de hipótesis sobre las medias de datos utilizando T de Student

Se plantean las hipótesis nula y alterna de la siguiente manera:

$$H_0 : \bar{x} = \mu_z \quad (\text{D.10})$$

$$H_1 : \bar{x} \neq \mu_z \quad (\text{D.11})$$

Se toman los valores de  $\bar{x}$  calculados anteriormente para la resistencia a la tensión en 0 meses, 3 meses, 6 meses y 12 meses. Dichos valores se reportan en el Cuadro B.61, fila 2, columnas 3, 4, 5 y 6.

El cálculo del estadístico  $t_z$  se hace mediante la siguiente ecuación:

$$t_z = \frac{\bar{x} - \mu_z}{S/\sqrt{n}} \quad (\text{D.12})$$

El valor de  $\mu_z$  se calcula multiplicando la media inicial de los valores de tensión con una fracción que defina el porcentaje de pérdida de propiedades mecánicas en cada caso:

$$\mu_z = 0,75 * \bar{X}_{0\text{meses}} = 0,75 * 4,38 = 3,285$$

Dado que anteriormente se calculó el valor de las varianzas  $s^2$ , se puede sustituir dicho valor en la ecuación D.12 de la siguiente manera:

$$t_z = \frac{\bar{x} - \mu_z}{S/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu_z}{\sqrt{s^2}/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu_z}{\sqrt{s^2/n}}$$

Por lo tanto, el cálculo de  $t_z$  se hace de la siguiente manera:

$$\text{Cero Meses} \quad t_0 = \frac{4,38 - 3,29}{\sqrt{0,035/6}} = 14,378 \Rightarrow |14,378| = 14,378$$

$$\text{Tres Meses} \quad t_3 = \frac{3,17 - 3,29}{\sqrt{0,004/6}} = -4,272 \Rightarrow |-4,272| = 4,272$$

$$\text{Seis Meses} \quad t_6 = \frac{3,41 - 3,29}{\sqrt{0,038/6}} = 1,650 \Rightarrow |1,650| = 1,650$$

$$\text{Doce Meses} \quad t_{12} = \frac{3,03 - 3,29}{\sqrt{0,155/6}} = -1,582 \Rightarrow |-1,582| = 1,582$$

Una vez obtenido el valor de  $t_z$  se determina si la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza o se acepta comparando  $t_z$  con  $t_{\alpha/2, n-1}$ . La hipótesis nula se rechaza si:

$$t_z > t_{\alpha/2, n-1} \quad (\text{D.13})$$

$$t_z < -t_{\alpha/2, n-1} \quad (\text{D.14})$$

El valor de  $t_{\alpha/2, n-1}$ , se obtiene de las tablas de valores críticos de la distribución t. Utilizando  $\alpha=0,05$ , se obtiene:

$$t_{\alpha/2, n-1} = 2,571$$

Entonces:

Para cero meses	$t_0 = 14,378$	$14,378 > 2,571$	Se rechaza hipótesis nula $H_0$
Para tres meses	$t_0 = 4,272$	$4,272 > 2,571$	Se rechaza hipótesis nula $H_0$
Para seis meses	$t_0 = 1,650$	$1,650 < 2,571$	Se acepta hipótesis nula $H_0$
Para doce meses	$t_0 = 1,582$	$1,582 < 2,571$	Se acepta hipótesis nula $H_0$

### D.11 Cálculo de prueba de rangos múltiples de Duncan

Para aplicar la prueba de rangos múltiples de Duncan para muestras del mismo tamaño, las medias de los a tratamientos se acomodan en orden ascendente, y se determina el error estándar de cada media como:

$$s_{\bar{Y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \quad (D.15)$$

Tomando el valor de  $MS_E$  calculado para los resultados de elongación de las bolsas tradicionales verdes enterradas en Río Azul, y reportado en el Cuadro B.28, fila 8, columna 3, para  $n=7$ , se calcula  $s_{\bar{Y}_i}$  de la siguiente manera:

$$s_{\bar{Y}_i} = \sqrt{\frac{502,23}{7}} = 8,470$$

El valor de  $s_{\bar{Y}_i}$  se reporta en el Cuadro B.75, fila 4, columna 3.

De la tabla de rangos de significancia de Duncan, se obtienen los valores de  $r_\alpha(p, f)$ , siendo  $\alpha$  el nivel de significancia. Posteriormente, se calcula  $R_p$ , de la siguiente manera:

$$R_p = r_\alpha(p, f) * s_{\bar{Y}_i} \quad (D.16)$$

Los valores de  $r_\alpha(p, f)$  se muestran en el Cuadro B.75, columna 3, filas 6 a 8. Los valores de  $R_p$  calculados a continuación, se muestran en el Cuadro B.75, columna 3, filas 9 a 11.

$$R_2 = 2,919 * 8,470 = 24,725$$

$$R_3 = 3,066 * 8,470 = 25,970$$

$$R_4 = 3,160 * 8,470 = 26,766$$

Luego de ordenar los promedios de los resultados de elongación de mayor a menor, se hacen las restas entre cada uno de los datos y se comparan con los valores de  $R_p$  obtenidos para determinar si ambos promedios comparados son estadísticamente iguales o diferentes. Si el valor obtenido de la resta es menor al valor de  $R_p$ , esto significa que los promedios comparados son estadísticamente iguales.

Para comparar los promedios de elongación de las bolsas verdes tradicionales enterradas en Río Azul, se restan los promedios de elongación obtenidos a los doce meses y a los tres meses, y se comparan con el valor obtenido de  $R_4$ .

$$548,464 - 509,453 = 39,011$$

$$R_4 = 26,766$$

$$39,011 > 26,766$$

En este caso, dado que el valor de la resta es mayor al valor de  $R_4$ , esto significa que ambos promedios son estadísticamente diferentes. Dichos valores se reportan en el Cuadro B.76, fila 3, columnas 5 y 7.

#### **D.12 Cálculo de la absorbancia y el índice carbonilo a partir de los valores de transmitancia del espectro IR**

Para calcular la absorbancia de una señal del espectro IR a partir de la transmitancia, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Absorbancia = 2 - \log_{10}(\%Transmitancia) \quad (D.17)$$

Tomando el valor de %Transmitancia reportado en el Cuadro B.77, fila 3, columna 2, se obtiene el respectivo valor de Absorbancia, reportado en el Cuadro B.77, fila 3, columna 6.

$$A = 2 - \log_{10}(83,83) = 0,08$$

Los valores de absorbancia finales para cada tratamiento, se calculan utilizando valores promedio de tres muestras analizadas. El índice carbonilo se calcula tomando los promedios de las absorbancias obtenidas en las regiones de  $1705\text{cm}^{-1}$  a  $1740\text{cm}^{-1}$  y dividiéndolas entre la absorbancia obtenida a  $1465\text{cm}^{-1}$  de la siguiente manera:

$$IndiceCarbonilo = \frac{A(1705-1715) + A(1716-1730) + A(1731-1740)}{A(1465)} \quad (D.18)$$

Tomando los valores reportados en el Cuadro B.77, filas 3 a 6, columna 9, se obtiene el valor del índice carbonilo reportado en el Cuadro B.77, fila 7, columna 9.

$$IndiceCarbonilo = \frac{0,03 + 0,00 + 0,00}{2,41} = 0,0106$$