

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“Estudio de la biodegradabilidad aeróbica de polietileno de alta densidad mediante compostaje
con aditivos degradables”

Disertación previa a la obtención del título Licenciada en Ciencias Químicas con mención en
Química Analítica

MARÍA JUDITH TERÁN SANTAMARÍA

Quito, 2017

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas, con mención en Química Analítica, de la candidata María Judith Terán Santamaría ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Fecha: Quito, 27 de enero de 2017

Dra. Lorena Meneses Olmedo PHD

Directora de la Disertación

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme valentía, fortaleza y sabiduría durante toda mi carrera. A mi madre Judith por guiarme, apoyarme y orientarme en lo largo de mi camino, por ser mi mayor ejemplo de vida, a mi hermano Marco Ramiro por todo sus enseñanzas y paciencia a lo largo de mi camino, a mi papá Ramiro por confiar en mí y darme la oportunidad de concluir mis estudios superiores; también a Rosa Bolaños, mi segunda madre, que me enseñó el valor de la fe, la tolerancia y el trabajo duro. A Fabio por darme su confianza, amor y apoyo. A Sarita porque su llegada llenó de luz y alegría nuestro hogar.

AGRADECIMIENTOS

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por brindar calidad educativa y abrirme las puertas para formar parte de una maravillosa experiencia académica.

A la Escuela de Ciencias Químicas, por ser la esencia de mi formación profesional ya que cuenta con nobles maestros que imparten el conocimiento científico ligado a valores éticos, personal administrativo y de servicio dispuesto a brindar una atención de alta calidad y cordialidad que me enseñaron el valor del servicio.

A la Dra. Lorena Meneses, por toda su ayuda y paciencia a lo largo de la elaboración del proyecto de disertación.

Al Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la PUCE (CESAQ- PUCE), por su apoyo económico y técnico en la elaboración del estudio.

Al personal del Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la PUCE (CESAQ- PUCE), por su soporte durante todas las dificultades.

A David Romero, por su confianza en entregarme la tarea de la elaboración del proyecto de investigación, también por toda su colaboración técnica.

A Carlos Rodríguez, por su amistad y siempre estar dispuesto a ayudarme en los momentos más difíciles.

A Vanesa Escobar, por ser una gran amiga y compañera, también por brindarme apoyo a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Polietileno.....	5
1.2. Combustión de polietileno.....	7
1.3. Contaminación ambiental debida a polímeros plásticos.....	7
1.4. Aditivos.....	8
1.5. Métodos de degradación de polímeros.....	8
1.6. Biodegradabilidad.....	11
1.7. Compostaje.....	13

1.8. Materia orgánica (MO).....	15
1.8.1. Carbono orgánico total (COT).....	16
1.8.2. Determinación de carbono orgánico total (COT).....	17
1.8.3. Determinación de materia orgánica.....	18
1.9. Microorganismos en el suelo.....	18
1.10. Factores del compostaje.....	19
1.10.1. Relación carbono/nitrógeno (C/N).....	19
1.10.2. Influencia del pH en el proceso de compostaje.....	21
1.10.3. Temperatura.....	21
1.10.4. Humedad.....	22
1.10.5. Tamaño de partícula.....	22
1.10.6. Oxígeno.....	22
1.11. Análisis de alcalinidad.....	23
CAPÍTULO II.....	24
2. METODOLOGÍA.....	24
2.1. Unidad de análisis.....	24
2.2. Universo o muestras.....	24
2.3. Materiales.....	25
2.4. Equipos.....	25
2.5. Reactivos.....	26

2.6. Procedimiento	27
2.6.1. Ensayos preliminares	27
a. Análisis en materiales plásticos y celulosa	28
❖ Determinación de sólidos totales	28
❖ Análisis de materia orgánica.....	29
b. Determinación de condiciones de trampas de CO ₂	30
c. Análisis de suelos	34
❖ Determinación de pH en suelos	35
❖ Determinación de humedad en suelos	36
❖ Contenido de cenizas y materia orgánica en suelos.....	36
❖ Determinación de CO ₂ por gramo de materia orgánica en suelos	37
2.6.2. Determinación de la biodegradabilidad de polietileno de alta densidad mediante compostaje.....	38
d. Evaluación estadística del porcentaje de biodegradabilidad en base a la producción de CO ₂	40
2.6.3. Ensayos en suelos después del compostaje	41
e. Determinación de pH en suelos	41
f. Contenido de materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total en suelos.....	41
g. Determinación de nitrógeno total en suelos.....	41
CAPÍTULO III	43

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1. Análisis de materiales de ensayo	43
3.1.1. Determinación de materia orgánica y cenizas	43
3.1.2. Determinación de sólidos secos totales en materiales de ensayo	45
3.2. Condiciones para las trampas de CO ₂	46
3.2.1. Estudio de Saturación de Trampas de CO ₂	46
3.2.2. Estudio de Eficiencia de Trampas de CO ₂	52
3.3. Selección del inóculo	54
3.3.1. Determinación de pH en suelos.	55
3.3.2. Determinación de humedad, cenizas, materia orgánica y carbono orgánico total en suelos.....	56
3.3.3. Ensayo de 10 días en condiciones de compostaje aerobio	58
3.4. Biodegradabilidad de polietileno de alta densidad con aditivos.....	60
3.4.1. Biodegradabilidad por generación de CO ₂ en condiciones de compostaje aerobio.....	60
3.4.2. Producción de CO ₂ diaria.	62
3.4.3. Porcentaje de biodegradabilidad obtenido después del compostaje del polietileno de alta densidad.....	63
3.4.4. Porcentaje de biodegradabilidad con referencia al valor teórico	64
3.4.5. Biodegradabilidad por pérdida de peso	65
3.5. Ensayos finales en suelos.....	66

3.5.1. Determinación de cenizas, materia orgánica y carbono orgánico total de los suelos después del compostaje	67
3.5.2. Nitrógeno total y relación carbono/nitrógeno en suelos después del compostaje	68
3.5.3. Determinación de pH en suelos después del compostaje	69
3.6. Control de temperatura	70
3.7. Análisis de resultados después del compostaje	71
CAPÍTULO IV	74
4. CONCLUSIONES	74
5. RECOMENDACIONES	77
6. BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura molecular del polietileno	5
Figura 1.2 Esquema de polímeros lineales, b. Esquema de polímeros ramificados.....	6
Figura 1.3 Esquema de bioasimilación de polímeros	11
Figura 1.4 Microorganismos y procesos en el compostaje	13
Figura 1.5 Ciclo de la materia orgánica del suelo	16
Figura 1.6 Relación C/N y periodo de tiempo de descomposición de residuos	21
Figura 2.1 Procedimiento general.....	27
Figura 2.2. Proceso de ensayos preliminares.....	28
Figura 2.3 Diagrama de trampas de CO ₂ con conexión en serie	34
Figura 2.4 Conexiones de trampas de CO ₂ para prueba de saturación.....	34
Figura 2.5 Diagrama del sistema de compostaje	38
Figura 2.6 Esquema del sistema de compostaje empleado en el estudio	39
Figura 3.1 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos para una solución 0,1 M de NaOH	48
Figura 3.2 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos en una solución 0,1 M de KOH	49
Figura 3.3 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos en una solución 0,5 M de KOH	52
Figura 3.4 Cantidad de CO ₂ generado por materiales de ensayo en función del tiempo	61
Figura 3.5 Producción diaria de CO ₂	62
Figura 3.6 Control de temperatura.....	70
Figura 3.7 Resultados de materiales poliméricos después del compostaje	72

Figura 3.8 Porcentaje de cenizas, MO y relación de C/N en el blanco	73
Figura A.6.1 Muestra de HDPE con aditivo A1	89
Figura A.6.2 Muestra de HDPE con aditivo A2.....	89
Figura A.6.3 Muestra de HDPE con aditivo A3.....	89
Figura A.6.4 Cenizas de materiales plásticos y celulosa.....	90
Figura A.6.5 Trampas conectadas en serie de KOH.....	95
Figura A.6.6 Sistema de titulación de soluciones de KOH	95
Figura A.6.7 Sistema de compostaje de materiales poliméricos	146
Figura A.6.8 Blanco de ensayo al iniciar el estudio	146
Figura A.6.9 Celulosa al iniciar el estudio	147
Figura A.6.10 HDPE con aditivo A1 al iniciar el estudio	147
Figura A.6.11 HDPE con aditivo A2 al iniciar el estudio	148
Figura A.6.12 HDPE con aditivo A3 al iniciar el estudio	148
Figura A.6.13 Blanco de ensayo al final del estudio	149
Figura A.6.14 Celulosa al final del estudio	149
Figura A.6.15 HDPE A1 al final del estudio.....	149
Figura A.6.16 HDPE A2 al final del estudio.....	150
Figura A.6.17 HDPE A3 al final del estudio.....	150
Figura A.6.18 Mapa de suelos de Pichincha-Taxonomía.....	156

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Normas para la medición de biodegradabilidad de acuerdo a las condiciones	9
Tabla 1.2 Normas para la medición de biodegradabilidad por generación de CO ₂	10
Tabla 1.3 Normas para la medición de biodegradabilidad de acuerdo a la evolución de CH ₄ y CO ₂	10
Tabla 1.4 Características de las etapas del compostaje	14
Tabla 2.1 Relaciones de alcalinidad	31
Tabla 3.1. Porcentaje de cenizas y materia orgánica en materiales plásticos analizados y celulosa	44
Tabla 3.2. Porcentaje de humedad en materiales plásticos de ensayo y celulosa.....	45
Tabla 3.3 Valores de alcalinidad por NaOH, Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃ y volumen de CO ₂ captado en función del tiempo de ensayo	47
Tabla 3.4. Valores de alcalinidad por KOH, K ₂ CO ₃ y KHCO ₃ y cantidad de CO ₂ captado en función del tiempo	49
Tabla 3.5 Valores de alcalinidad por KOH, K ₂ CO ₃ y KHCO ₃ y cantidad de CO ₂ captado en función del tiempo para la solución de KOH 0,5 M.....	51
Tabla 3.6. Valores de alcalinidad de KOH, K ₂ CO ₃ y KHCO ₃ medidos para determinar la eficiencia de trampas de KOH 0.1 M	53
Tabla 3.7. Valores de alcalinidad de KOH, K ₂ CO ₃ y KHCO ₃ medidos para determinar la eficiencia de trampas de KOH 0.5 M	54
Tabla 3.8 Muestras de suelos, procedencia y taxonomía	55
Tabla 3.9 Resultados de pH en muestras de suelo y compost	55

Tabla 3.10. Valores obtenidos de materia orgánica, humedad, cenizas y COT en suelos estudiados	56
Tabla 3.11 Resultados del contenido de humedad de los suelos estudiados	57
Tabla 3.12. Valores de alcalinidad y generación de CO ₂ en el ensayo de 10 días con 300 g de suelo.....	58
Tabla 3.13. Valores de alcalinidad y generación de CO ₂ en el ensayo de 10 días con 600 g de suelo.....	59
Tabla 3.14 Biodegradabilidad de materiales plásticos con referencia a la celulosa en función de la cantidad de CO ₂ generado en 90 días	64
Tabla 3.15. Biodegradabilidad para cada material de ensayo en función de la estequiometria de la reacción de descomposición de HDPE.....	65
Tabla 3.16. Biodegradabilidad de los materiales ensayados por pérdida de peso.....	66
Tabla 3.17. Materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total en suelos después del compostaje.....	67
Tabla 3.18 Relación carbono/nitrógeno en suelos compostados	68
Tabla 3.19. pH en suelos después del compostaje.....	69
Tabla A.1 Contenido de cenizas y materia orgánica en materiales poliméricos	87
Tabla A.2 Contenido de humedad en materiales poliméricos	88
Tabla A.3 Trampa de NaOH 0,1 M.....	92
Tabla A.4 Trampa de KOH 0,1 M.....	92
Tabla A.5 Trampa de KOH 0,5 M.....	93
Tabla A.6 Prueba de eficiencia KOH 0,1 M.....	93
Tabla A.7 Prueba de eficiencia KOH 0,5 M.....	94
Tabla A.8 Determinación del contenido de humedad en suelos.....	97

Tabla A.9 Determinación de materia orgánica y cenizas	97
Tabla A.10 Ensayo de 10 días bajo condiciones de compostaje aerobio con 300 g de suelo ...	98
Tabla A.11 Ensayo de 10 días bajo condiciones de compostaje aerobio con 600 g de suelo ...	99
Tabla A.12 Volúmenes de titulación de las trampas de CO ₂ para el blanco de ensayo	101
Tabla A.13 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el blanco de ensayo	104
Tabla A.14 Cantidades de CO ₂ y carbono generado por el blanco de ensayo	107
Tabla A.15 Volúmenes de titulación de las trampas de CO ₂ para la celulosa.....	110
Tabla A.16 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para la celulosa	113
Tabla A.17 Tabla de cantidades de CO ₂ y carbono generado por la celulosa.....	116
Tabla A.18 Volúmenes de titulación de las trampas de CO ₂ para el HDPE A1	119
Tabla A.19 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A1	122
Tabla A.20 Cantidades de CO ₂ y carbono generado por el HDPE A1.....	125
Tabla A.21 Volúmenes de titulación de las trampas de CO ₂ para el HDPE A2	128
Tabla A.22 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A2	131
Tabla A.23 Cantidades de CO ₂ y carbono generado por el HDPE A2.....	134
Tabla A.24 Volúmenes de titulación de las trampas de CO ₂ para el HDPE A3	137
Tabla A.25 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A3	140
Tabla A.26 Cantidades de CO ₂ y carbono generado por el HDPE A3.....	143
Tabla A.27 Determinación del contenido de cenizas, materia orgánica y COT en suelos.....	152
Tabla A.28 Determinación de nitrógeno total y relación carbono nitrógeno en suelos	153

Tabla A.29 Control de temperatura154

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS PRELIMINARES EN MATERIALES POLIMÉRICOS	86
ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRAMPAS DE CO ₂	91
ANEXO 3. ENSAYOS PARA LA SELECCIÓN DEL INÓCULO	96
ANEXO 4. BIODEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD MEDIANTE COMPOSTAJE	100
ANEXO 5. ENSAYOS EN SUELOS DESPUÉS DEL COMPOSTAJE	151
ANEXO 6. MAPA DE SUELOS DE PICHINCHA - TAXONOMÍA	155

RESUMEN

En el presente estudio se determinó el grado de biodegradabilidad de tres muestras de polietileno de alta densidad (HDPE siglas en inglés), con aditivos para acelerar el proceso de degradación, las muestras se identificaron como A1, A2 y A3. Para la determinación de biodegradabilidad se empleó el método de compostaje aerobio a condiciones controladas de pH, temperatura y flujo de aire libre de CO₂ por 90 días, de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 2640:2012. Antes de iniciar el ensayo se realizaron pruebas de materia orgánica y sólidos totales en las muestras de materiales plásticos. También fue necesario seleccionar el inóculo, para ello se evaluaron cuatro muestras de suelo en las que se estimó la cantidad de CO₂ generado durante un proceso de compostaje. Para la captación de CO₂ se emplearon trampas de hidróxido de potasio 0,1 y 0,5 M, estas soluciones fueron seleccionadas de acuerdo al tiempo de saturación y a la capacidad de captación. La cantidad de CO₂ producido por los materiales de ensayo fue cuantificado mediante el método de alcalinidad de acuerdo al procedimiento APHA 2320D. Como material de referencia de biodegradabilidad se empleó celulosa y el blanco de ensayo consistió en el inóculo, usado en el proceso de compostaje. Los resultados obtenidos del blanco se restaron de los materiales de ensayo. Al concluir los 90 días del estudio se estableció el grado de degradación de los materiales usando los gramos de CO₂ producidos en cada contenedor. El porcentaje de biodegradación tomando como referencia la celulosa para el HDPE A1 fue del 75%, para el HDPE A2 y A3 fue 44 % y 22 % respectivamente. Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que el HDPE A1 supera el 60 % de generación de CO₂ respecto de la celulosa, por lo tanto es compostable de acuerdo con la norma NTE INEN 2643 “Especificaciones para plásticos compostables”.

ABSTRACT

The study determinate the biodegradability degree of three samples of high density polyethylene (HDPE), with additives to accelerate the degradation process. The samples were identified as A1, A2 and A3. To determinate de biodegradability we applied the Aerobic composting method with controlled conditions of pH, temperature and flow of free CO₂ for 90 days, according with the NTE INEN 2640:2012. Before starting the trial, tests of total organic matter and solid samples were performed in plastic materials, it was also necessary to select the inoculum for four samples of soil on which the estimated amount of CO₂ generated during a process composting were evaluated; to capture CO₂ traps were used with potassium hydroxide 0.5 and 0.1 M, these solutions were selected according to the saturation time and the efficiency. The amount of CO₂ produced by the test materials was quantified by the method according to the procedure alkalinity APHA 2320D. As reference material of biodegradability was used cellulose and the blank consisted in the inoculum of composting process, the results were subtracted from the blank test materials. At the conclusion of 90 days the study the degree of degradation of materials was established using grams of CO₂ produced in each jar. The percentage of biodegradation taking as reference the cellulose for HDPE A1 was 75 %, for HDPE A2 and A3 was 44 % and 22 % respectively. Finally, the results show the HDPE A1 exceeds 60 % of CO₂ generation in relation to cellulose, therefore it is a compostable material according the NTE INEN 2643 "Specifications for compostable plastics".

INTRODUCCIÓN

La industria de los polímeros plásticos en el Ecuador es considerada una de las más dinámicas, ya que de acuerdo al Gobierno Nacional, es uno de los 9 sectores más importantes para el cambio de la matriz productiva [1]. Genera 800 millones de dólares en exportaciones y alrededor de 1500 empleos. En vista de que la producción de polímeros plásticos se encuentra en aumento, el país se ve obligado a tomar medidas respecto al reciclaje y manejo de los productos de esta industria, para reducir la contaminación visual y ambiental [1,2]. Por esta razón, el Ministerio de Ambiente incentiva a las empresas que recolectan, manejan y reciclan envases plásticos en el país con reconocimientos como “diplomas verdes” [3].

Otra alternativa al reciclaje de plásticos, es el uso de aditivos químicos que facilitan la degradación de estos materiales. Los aditivos son añadidos en porcentaje menor al del polímero principal, para que no se activen al momento de fabricar el producto plástico, sino al final de la vida útil del polímero bajo ciertas condiciones [4].

La degradación y biodegradación se provocan mediante procesos físicos, químicos y/o microbiológicos, las cadenas poliméricas se fragmentan y se transforman en compuestos más sencillos que pueden ser aprovechados por microorganismos o plantas en calidad de nutrientes [5].

La American Society of Testing Materials (ASTM) e International Organization for Standardization (ISO) elaboraron métodos normados para estudiar la degradación y

biodegradación de materiales plásticos sometiéndolos a distintas condiciones. Mediante la aplicación de los métodos se obtienen resultados que establecen si los materiales de ensayo cumplen las especificaciones para denominarse como un plástico degradable o biodegradable y así, determinar las características de disposición final [6, 7].

El compostaje aerobio es una técnica empleada en la agricultura para la conservación de los recursos del suelo, que también se aplica para la biodegradación de materiales plásticos. Consiste en un proceso en el que la actividad de los microorganismos provocan la fragmentación de las cadenas poliméricas a partir de la formación de una biocapa en la superficie del material polimérico y atrae a otros microorganismos que realizan procesos enzimáticos formando productos de fácil asimilación y generando compuestos mineralizados que nutren el suelo; de esta manera el material polimérico aditivado aporta con la conservación del ambiente. La temperatura del sistema acelera la ruptura de enlaces [8, 9].

Una publicación de la American Chemical Society (ACS) menciona que materiales plásticos como el polietilentereftalato (PET) y polietileno de baja densidad (LDPE), no necesariamente son biodegradables a pesar de que se empleen aditivos prodegradantes que aseguren el fraccionamiento del material lo cual no significa que sea asimilable para los microorganismos del suelo [10]. Por otro lado, la Universidad Politécnica de Valencia efectuó estudios con ácido poliláctico (PLA), polihidroxibutirato (PHB), polietileno de baja densidad (LDPE) aditivado y determinó porcentajes de biodegradabilidad del 52, 67 y 44 % respectivamente para cada material, esto muestra que existen materiales que pueden biodegradarse debido a su composición química y a las condiciones de compostaje a las que se encuentran sometidos [11]. En el país

existen estudios que muestran los cambios en las propiedades mecánicas de polímeros plásticos aditivados que fueron sometidos a condiciones de compostaje y a radiación UV pero no se determina el grado de biodegradación puesto que los cambios más evidentes son de tipo físico, mecánico y en algunos casos químico, aunque esto no demuestra una biodegradación de los materiales [12, 13].

El material considerado en el estudio es el polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) con aditivos A1, A2 y A3; A1 es considerado por el proveedor un aditivo biodegradable, A2 y A3 son aditivos oxodegradables. Estos aditivos son los más empleados en el país por múltiples empresas; por las dificultades en la disposición final de los plásticos, es necesario determinar cuál de las tres muestras consideradas en el estudio se descomponen bajo condiciones de compostaje aerobio, para conocer el material que se biodegradaría con mayor facilidad, estableciéndose de este modo las acciones que se deben implementar para la disposición final de los desechos de los plásticos analizados.

Adicionalmente, en el país se encuentra limitada información y estudios comparativos de biodegradabilidad de materiales plásticos en condiciones de compostaje, por lo que los resultados obtenidos, se convertirán en una fuente de consulta y punto de partida para futuras investigaciones.

Los objetivos del estudio son conocer el grado de biodegradabilidad de las muestras de HDPE con aditivos A1, A2 y A3 bajo condiciones de compostaje aerobio durante un período de 90 días, tomando a la generación de CO₂ como un indicativo del proceso de biodegradación. Además,

determinar la cantidad de sólidos secos totales y materia orgánica en las muestras de plásticos mediante gravimetría y establecer las condiciones de captación de CO₂ provenientes del material de ensayo y del ambiente, a partir de mediciones de alcalinidad. También, la selección del suelo para compostaje que simule la fracción orgánica de residuos urbanos mediante determinaciones de materia orgánica y sometiendo a condiciones de compostaje por 10 días.

El estudio se dividió en cuatro capítulos, el Capítulo I contiene información bibliográfica, en la que se menciona al polietileno de alta densidad (HDPE), sus propiedades físicas y químicas, el impacto ambiental de los polímeros plásticos, los métodos de estudio de biodegradabilidad de polímeros plásticos y los parámetros más importantes en el desarrollo de un proceso de compostaje.

El Capítulo II detalla la metodología aplicada en la investigación, los parámetros de análisis para la selección del inóculo de compostaje, ensayos previos en las muestras poliméricas, puesta a punto del sistema de compostaje aerobio y describe el procedimiento para obtener los resultados del grado de biodegradabilidad de cada muestra y los ensayos al final del estudio.

En el Capítulo III se presentan los resultados obtenidos de los ensayos y puesta a punto del sistema, los que permitieron explicar las razones del comportamiento del HDPE aditivado. El Capítulo IV contiene las conclusiones, recomendaciones del estudio y fuentes bibliográficas empleadas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Polietileno

El polietileno es un polímero simple constituido por varias unidades de $-\text{CH}_2-$, como se presenta en la Figura 1.1, éste es un ejemplo de un polímero de adición [14].

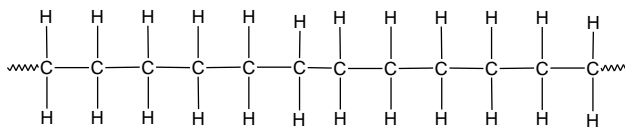


Figura 1.1 Estructura molecular del polietileno [14]

Puede ser polimerizado por acción de iniciadores y catalizadores. Los iniciadores son comúnmente oxígeno o peróxidos, que generan radicales libres y provocan una reacción en cadena. Los metales de transición son ampliamente empleados en las industrias como catalizadores, esto proporciona al polietileno diferentes propiedades. Un ejemplo es el alquil aluminio, descubierto por Ziegler en 1951, el mecanismo de catálisis está basado en la interacción de los electrones d del metal de transición con los electrones π del doble enlace de las alfa olefinas. En el proceso de polimerización es necesario el uso de agentes que permitan la transferencia de cadenas, éstos pueden ser olefinas, cetonas o aldehídos [15].

El control de la polimerización se efectúa a través de la presión de operación (1500-3000 atm), así como la temperatura, tiempo de residencia y proporciones de iniciador o de agente de transferencia [16].

El polietileno posee gran resistencia química y puede ser procesado por innumerables formas, pero generalmente el producto de los reactores industriales son gránulos translucidos denominados “pellets” que facilita la manipulación y transporte [17].

Uno de los tipos de polietileno es el de alta densidad y baja presión HDPE. Consiste en un polímero lineal en el que sus unidades monoméricas se unen unas a otras formando cadenas sencillas como se indica en la Figura 1.2 a. Las cadenas de los polímeros lineales pueden unirse entre sí por fuerzas de Van der Waals. Otra forma de polietileno es el de baja densidad y alta presión (LDPE por sus siglas en inglés). Se trata de un polímero cuya cadena principal está conectada lateralmente con otras cadenas secundarias, como se muestra en la Figura 1.2 b. Las ramas que forman parte de la cadena molecular principal, son el resultado de reacciones locales que ocurren durante la síntesis del polímero [18].

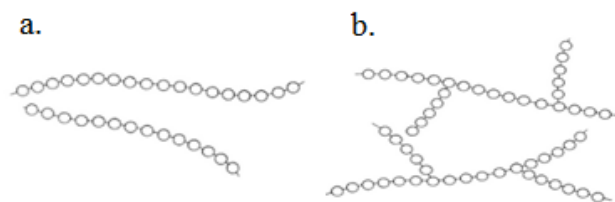
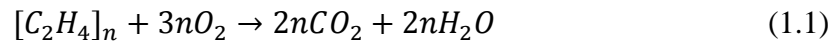


Figura 1.2 Esquema de polímeros lineales, b. Esquema de polímeros ramificados [18]

El polietileno posee amplias propiedades que están relacionadas con características morfológicas y moleculares de la resina del polietileno. Así el polietileno de alta densidad HDPE tiene mayor resistencia a la tracción y dureza en comparación con el polietileno de baja densidad LDPE; la resistencia química y eléctrica es similar en los dos tipos de polietileno PE [19,20].

1.2. Combustión de polietileno

El polietileno está compuesto por carbono e hidrógeno y en combustión completa produce dióxido de carbono y agua [21, 22]:



n= grado de polimerización del polietileno

Los coeficientes de la ecuación de combustión se ajustan de acuerdo al grado de polimerización. El valor de n se calcula tomado en cuenta que el polímero consiste en una mezcla de cadenas largas, medianas y cortas; con diferentes pesos moleculares, por lo que se debe determinar el promedio del peso molecular del polímero y el peso molecular del monómero; de acuerdo con la siguiente ecuación [23]:

$$\text{Peso Molecular Polímero} = n * \text{Peso Molecular Monómero} \quad (1.2)$$

Peso molecular promedio de polietileno de alta densidad = $5 \cdot 10^5$ [21]

1.3. Contaminación ambiental debida a polímeros plásticos

La preocupación por el efecto que provocan los materiales plásticos se ha mantenido por varias décadas y esto se debe a la falta de métodos que aseguren una degradación completa e inocua. El

uso de polímeros plásticos no puede ser descartado en su totalidad, pero su disposición final enfocada en el reciclaje como parte de la solución al fuerte impacto ambiental, no se ha transformado en una salida completamente eficaz y su incineración genera compuestos tóxicos, que son altamente contaminantes. Muchos de los plásticos son descartados en rellenos municipales o en océanos, provocando que animales se asfixien al consumir por accidente los plásticos. Por esta razón se han desarrollado compuestos que se acoplan a los polímeros y pueden ser de origen natural o sintético y provocan la degradación de los plásticos en distintas condiciones [24, 25, 26, 27].

1.4. Aditivos

El aditivo es una sustancia que incorporada al polímero permite obtener un efecto determinado, en este caso, provee al material características de degradabilidad y biodegradabilidad. Adicionalmente, los aditivos confieren a los plásticos propiedades como durabilidad general, rigidez y resistencia, aislamiento acústico, resistencia al impacto, a la temperatura, a la flexión y al desgaste, entre otros. Finalmente, los aditivos pueden ser de origen orgánico como los alquilfenoles, hidroxibenzofenonas; inorgánicos como los óxidos y sales; y organometálicos como los metocarboxilatos, complejos de Ni, aceleradores de Zn, etc. [4].

1.5. Métodos de degradación de polímeros

El uso de materiales plásticos ha provocado grandes avances en muchos campos, pero es importante encontrar sustitutos para disminuir la afectación ambiental.

La preocupación pública, ha estimulado el interés en la investigación en polímeros biodegradables como alternativas a los polímeros no degradables convencionales, tales como polietileno, poliestireno, etc. Antes del uso de materiales poliméricos biodegradables, es necesario considerar: las tasas de degradación en diversas condiciones, cambios en las propiedades mecánicas durante el almacenamiento, el potencial para el crecimiento microbiano, y la liberación de compuestos nocivos en los productos alimenticios envasados [28].

La ASTM ha desarrollado métodos para el estudio del deterioro de las propiedades físicas de los plásticos en una variedad de condiciones ambientales específicas incluyendo compostaje simulado, como se muestra en la Tabla 1.1 [6, 7].

Tabla 1.1 Normas para la medición de biodegradabilidad de acuerdo a las condiciones [6, 7]

Norma	Denominación
ASTM D5509	Exposición de plásticos en un entorno de compostaje simulado.
ASTM D5512	Exposición de plásticos en un entorno de compostaje simulado con un reactor externo.
ASTM D5525	Exposición de plásticos a un vertedero simulado.
ASTM D5247	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica de plásticos degradables por microorganismos específicos.
ATSTM D5437	Meteorización de plásticos bajo exposición marina flotante.

La Tabla 1.2 contempla las normas ASTM que están dirigidas al estudio de generación de CO₂ en entornos aeróbicos [6, 7].

Tabla 1.2 Normas para la medición de biodegradabilidad por generación de CO₂ [6, 7]

Norma	Denominación
ASTM D5209	Prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de los materiales plásticos en presencia de lodos de depuradora municipal.
ASTM D5271	Prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de los materiales plásticos en un lodo de aguas residuales activado por sistemas de pos tratamiento.
ASTM D5338	Prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones de compostaje, incorporando temperaturas termofílicas.

En la Tabla 1.3 se encuentran las normas ASTM que abordan la evolución de CH₄ y CO₂ [6, 7].

Tabla 1.3 Normas para la medición de biodegradabilidad de acuerdo a la evolución de CH₄ y CO₂ [6, 7]

Norma	Denominación
ASTM D5210	Prueba estándar para determinar la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en presencia de lodos de depuradora municipal.
ASTM D5511	Prueba estándar para determinar la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos bajo alto contenido de sólidos anaerobios en condiciones de digestión.
ASTM D5526	Prueba estándar para determinar la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en condiciones de vertedero acelerado.

Tres normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO siglas en inglés) han establecido los criterios por los que actualmente se evalúan los plásticos biodegradables

Europeos. Una de las normas es la ISO 14855 dirigida a la biodegradación aeróbica final bajo condiciones de compostaje controladas, la norma ISO 14852 establece la biodegradación aeróbica en ambientes acuosos, la ISO 15985 determina la biodegradación anaeróbica en un ambiente alto de sólidos. La norma ISO 14855 es una prueba de compostaje aeróbica controlada, las ISO 14851 e ISO 14852 son pruebas de biodegradación diseñadas específicamente para materiales poliméricos [7].

1.6. Biodegradabilidad

No se conoce un mecanismo específico de la biodegradación pero se sabe que los microorganismos utilizan los compuestos que pueden atravesar la pared celular y mediante enzimas internas mineralizarlos. Los microorganismos presentes en el suelo y el compost son más complejos, por esta razón son más propensos a degradar compuestos poliméricos ya que existe un rango amplio de enzimas y metabolitos que pueden actuar dentro y fuera de la pared celular [29].

En la Figura 1.3 se indica un esquema general de biodegradación de polímeros por acción enzimática proveniente de microorganismos.

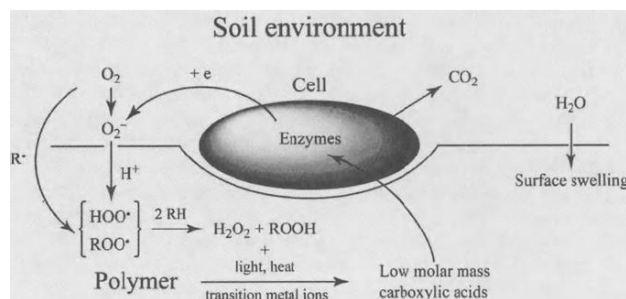
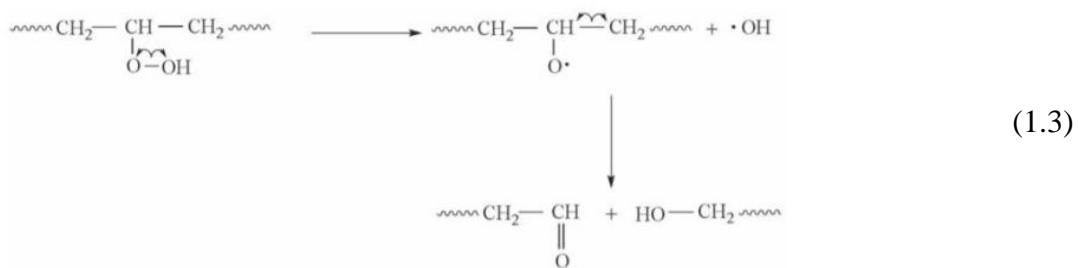


Figura 1.3 Esquema de bioasimilación de polímeros [30]

Los citocromos, peroxidasa y catalasa generan especies reactivas de oxígeno, a partir de la transferencia de un electrón de las enzimas al oxígeno, esta especie del oxígeno es soluble en medio acuoso y a la vez muy reactivo como radical libre. De esta manera se inician una serie de reacciones radicalarias, donde el superóxido reacciona con cadenas alquílicas (R·) formando peróxidos e hidroperóxidos a partir de hidrógenos de las cadenas alquílicas o del medio acuoso. El radical hidroperóxil es organosoluble y es capaz de reaccionar con enlaces carbono-hidrógeno de los polímeros de acuerdo con la ecuación 1.3 (en el caso del polietileno), donde la formación de un carbonilo del tipo C=O le proporciona al polímero una pigmentación amarillenta [30,31].



A la vez, se inicia la peroxidación de radicales libres, produciendo peróxido de hidrógeno en la superficie del polímero. También es posible obtener peróxido de hidrógeno a partir de las enzimas oxidasas de los microorganismos. En presencia de metales como Mn^{2+} , Fe^{3+} y Co^{2+} se generarán reacciones que producirán radicales hidroxilo, los cuales son más reactivos que el hidroperóxil y extraerá átomos de hidrógeno del hidrocarburo, de esta manera la fragmentación de las cadenas poliméricas se acelera y se forman compuestos asimilables para los microorganismos [30, 31].

1.7. Compostaje

El compostaje consiste en la descomposición biológica de residuos orgánicos y lo más relevante de ésta técnica es la descomposición aerobia, en la cual se involucran una amplia diversidad de microorganismos. Los factores que afectan la descomposición aerobia son: temperatura, humedad, aireación, pH, aditivos, tamaño de partícula y la relación carbono nitrógeno (C/N); éste último es un parámetro importante que afecta tanto al proceso de compostaje como el producto, se sugiere que posea valores entre 25 y 30:1, si los materiales no contienen una relación adecuada pueden mezclarse para ajustar la relación y de esta manera asegurar la consistencia del producto [33].

En la Figura 1.4 se observan los procesos involucrados en el compostaje. También se encuentra la cantidad y tipo de microorganismos involucrados, temperatura del proceso y relación C/N [36].

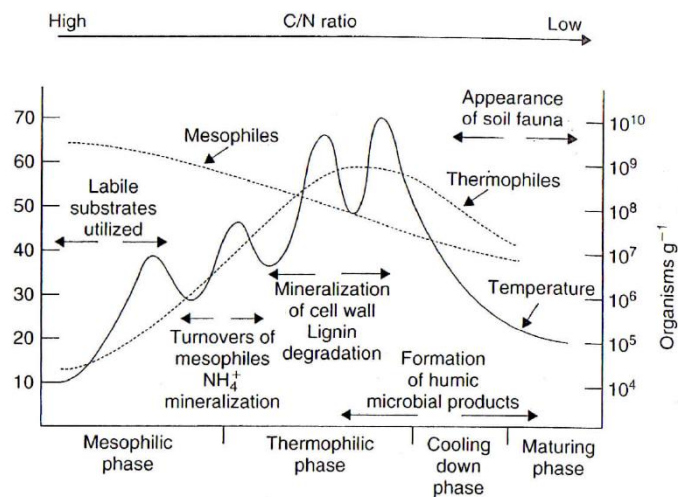


Figura 1.4 Microorganismos y procesos en el compostaje [33]

La Tabla 1.4 muestra las etapas del proceso de compostaje, sus características y los microorganismos involucrados.

Tabla 1.4 Características de las etapas del compostaje [32, 33]

Fase	Características
Mesofílica	El sustrato incrementa rápidamente la producción de carbono lábil, generando calor. Existe una mezcla de bacterias, actinomicetos y hongos que contribuyen en el proceso de descomposición.
Termofílica	La temperatura alcanza los 40 °C y el sistema pasa a la fase termofílica lo cual favorece a bacterias termofílicas y actinomicetos; donde los <i>Bacillus</i> es el género dominante y contribuyen el 10 % de la descomposición, estos son: <i>Brevis</i> , <i>Circulans</i> , <i>Coagulans</i> , <i>Licheniformis</i> y <i>Subtilis</i> ; éstos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco. En ésta etapa la temperatura más favorable se encuentra entre 50 y 60 °C ya que elimina bacterias y contaminantes fecales como <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i> spp, al igual que quistes, huevos de helminto y esporas de hongos fitopatógenos; así se asegura un producto higienizado.
Enfriamiento	La descomposición permanece en la fase termofílica hasta que el sustrato se termina y la temperatura disminuye gradualmente. Organismos mesofílicos aparecen nuevamente en especial los hongos, éstos posee afinidad por la celulosa y la lignina restantes del sustrato. Los hongos involucrados en el 30 a 40 % de la descomposición son: <i>Absidia</i> , <i>Mucor</i> , <i>Allescheria</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Thermophilum</i> , <i>Dactylomyces</i> .
Maduración	En ésta fase los actinomicetos como: <i>Nocardia</i> , <i>Streptomyces</i> <i>Thermofocus</i> y <i>S. Thermoviolaceus</i> ; son importantes en reacciones de descomposición y condensación para concluir con la formación de materiales húmicos, así también son responsables del 15 al 30 % de la descomposición del material compostado.

1.8. Materia orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo contribuye directamente al crecimiento de plantas y microorganismos mediante su influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. También es la fuente primaria de nutrientes esenciales como N, P y S; así también comprende la biomasa microbiana, restos vegetales y animales en descomposición. La MO se relaciona con minerales secundarios como arcillas y óxidos amorfos para formar organominerales complejos y constituye a la estructura del suelo mediante la creación de agregados. Dichos agregados permiten que la estructura física del suelo mejore, mediante el ordenamiento de los granos del suelo que favorecen la aireación, infiltración y almacenamiento de agua [33]. La MO es uno de los principales indicadores de calidad de suelo; se ha relacionado con un efecto positivo en la sustentabilidad del sistema productivo a largo plazo [34].

La MO está compuesta por tres fracciones principales de acuerdo con la composición y calidad: la primera es soluble y de fácil descomposición, la segunda es insoluble pero de fácil degradabilidad, se compone de celulosa y hemicelulosa; la tercera se conserva por mayor cantidad de tiempo y suele estar compuesta de ceras, lípidos, ligninas y carbohidratos lignificados [35].

En la Figura 1.5 se encuentra un esquema simplificado del ciclo de la MO del suelo.

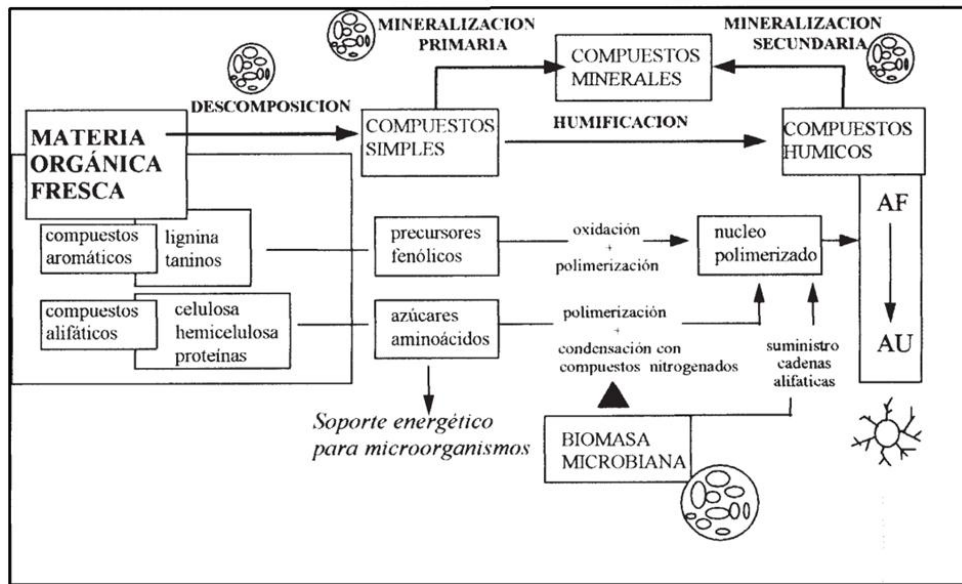


Figura 1.5 Ciclo de la materia orgánica del suelo [36]

La mineralización primaria afecta a la materia orgánica original. La secundaria corresponde a las sustancias húmicas, ya que los compuestos húmicos poseen gran complejidad y la formación de enlaces con los componentes minerales del suelo, dificultan su mineralización [36].

La velocidad de humificación y mineralización depende de la actividad biológica, a su vez, es también función de las condiciones climáticas (temperatura y humedad), edáficas (porosidad, textura, estructura, permeabilidad, pH, contenido en elementos minerales, etc.) y de cultivo (secuencias de cultivo, laboreo, riegos, fertilización, medidas contra la erosión, etc.) [36].

1.8.1. Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico (CO) es el elemento más importante del suelo ya que es una parte indispensable del ciclo global del carbono, ocupa el 69,8 % del carbono orgánico de la biosfera.

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados, humus o formas condensadas de composición próximas al carbono elemental [37]. “A condiciones

naturales, el carbono orgánico del suelo proviene del equilibrio entre la incorporación al suelo de material orgánico fresco y la salida de C tanto en forma de CO₂ a la atmósfera como por erosión y lixiviación. En condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable” [37].

El carbono Orgánico es indispensable en la actividad biológica del suelo, sirve de fuente energética para organismos presentes en el suelo y a la vez proporciona coloides que favorecen el intercambio catiónico. Tiene un efecto en propiedades físicas como estructura y distribución de espacios porosos del suelo [38]. El carbono orgánico puede modificar la acidez y alcalinidad del suelo haciendo que los valores de pH tiendan a la neutralidad [39].

1.8.2. Determinación de carbono orgánico total (COT)

Una de las maneras de determinar el valor de carbono orgánico total del suelo es a partir del porcentaje de materia orgánica (MO) y consiste en emplear un factor que permite la conversión a porcentaje de COT. Inicialmente se empleaba el factor de Van Bemmelen que era 1,724 y se asumía que la MO del suelo contenía 58% de carbono orgánico (CO). Esto era efectivo para algunos suelos, pero factores como condiciones climáticas, vegetación, estructura física y química, provocan variaciones en el criterio del contenido de CO, por ésta razón algunos autores han obtenido una serie de factores de acuerdo al tipo de suelo que se analice. De esta manera se efectuaron estudios que emplean el método de Walkely y Black para establecer valores de recuperación de carbono orgánico y los resultados obtenidos para suelos de taxonomía Mollisol revelaron del contenido de MO el 83,5 % corresponde a carbono orgánico, para el caso de suelos con taxonomía Inceptisoles es del 75 %, 74 % para Alfisoles y 75,5 % para Entisoles [40, 41]

1.8.3. Determinación de materia orgánica

La determinación por calcinación es un método comúnmente usado debido a que es posible cuantificar la materia orgánica del suelo directamente y está basado en la técnica gravimétrica, en la que la muestra por el efecto de altas temperaturas, sufre una pérdida de peso. Las temperaturas de ignición pueden variar desde los 250 °C a los 600 °C empleando un horno mufla así también, los tiempos de exposición a la temperatura pueden ser de 2 a 24 h. Este método posee un pretratamiento de secado de la muestra de suelos a una temperatura de 105 °C durante 24 h [34].

El método de ignición es considerado exacto y de bajo costo pero se deben tomar consideraciones como: que a temperaturas superiores a 550 °C los carbonatos se descomponen al igual que sales hidratadas y óxidos, si la temperatura es muy baja se obtienen valores reducidos [34, 40].

1.9. Microorganismos en el suelo

El suelo contiene varios tipos de microorganismos con distinta capacidad degradativa, que dependen de las condiciones ambientales en las que se encuentran. Los factores que definen los tipos de microorganismos con una cantidad adecuada de nutrientes son el pH y la cantidad de oxígeno; si el medio es neutro las bacterias son abundantes, si es ácido los hongos son los principales degradadores; si el oxígeno es bajo predominan las bacterias anaerobias y facultativas [42].

Las condiciones ambientales bajo las que se realiza el proceso de compostaje, regula la eficiencia del metabolismo bacteriano. La variación de estas condiciones puede alterar los productos finales

obtenidos como CO₂, así, reacciones ácidas o alcalinas alteran frecuentemente el tipo de producto [33].

1.10. Factores del compostaje

El compostaje aerobio requiere del control de parámetros como la relación carbono nitrógeno (C/N), pH, temperatura, humedad, tamaño de partícula y oxígeno; con el objetivo de proporcionar condiciones que aseguren el crecimiento de microorganismos para la descomposición de la materia orgánica [35].

1.10.1. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Los microorganismos son los mayores contribuidores al flujo de carbono y nitrógeno del suelo a la atmósfera a través del proceso de descomposición de la materia orgánica; también, la descomposición permite que los nutrientes del suelo sean reciclados ya que biomoléculas complejas son degradadas y bioelementos son transformados en formas disponibles para las plantas. Los microorganismos usan el C como fuente de energía y el N para la constitución de su pared celular, formación de proteínas y compuestos que constituyen parte de su desarrollo biológico [43].

“La cantidad de nitrógeno consumido por la población microbiana es proporcional a la cantidad de carbono que ingresa a ella” [44]. Una relación C/N de 32:1 es el punto de equilibrio para la descomposición de materia orgánica en semanas; si la relación es menor, es indicativo de que los microorganismos mineralizarán el nitrógeno ya que si el sustrato posee un exceso de nitrógeno los organismos descomponedores transforman las formas orgánicas del nitrógeno a nitrógeno

inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-); pero si es mayor, el nitrógeno será inmovilizado puesto que si el sustrato tiene un déficit de nitrógeno los organismos descomponedores toman el nitrógeno mineralizado y lo convierten en formas orgánicas aprovechables para los mismos, así, un rango ideal de C/N es de 15 a 40 [43, 44].

La relación C/N influye en la velocidad de descomposición de materiales orgánicos, puesto que si los microorganismos se encuentran en presencia de niveles altos de nitrógeno, los procesos de asimilación e incorporación metabólica son más rápidos y mineralizan inmediatamente el C; en el caso de niveles bajos de N la mineralización es más lenta y la velocidad de descomposición disminuye, pues los procesos biológicos de los microorganismos se ven limitados. Además, después de la descomposición de la materia orgánica, la relación C/N disminuye debido a la pérdida de C en forma de CO_2 , mientras que el N se conserva en el suelo en forma orgánica o inorgánica [45].

La Figura 1.6 muestra la influencia de la relación C/N en la inmovilización y mineralización del N; la escala de tiempo indica el periodo necesario para la descomposición de residuos.

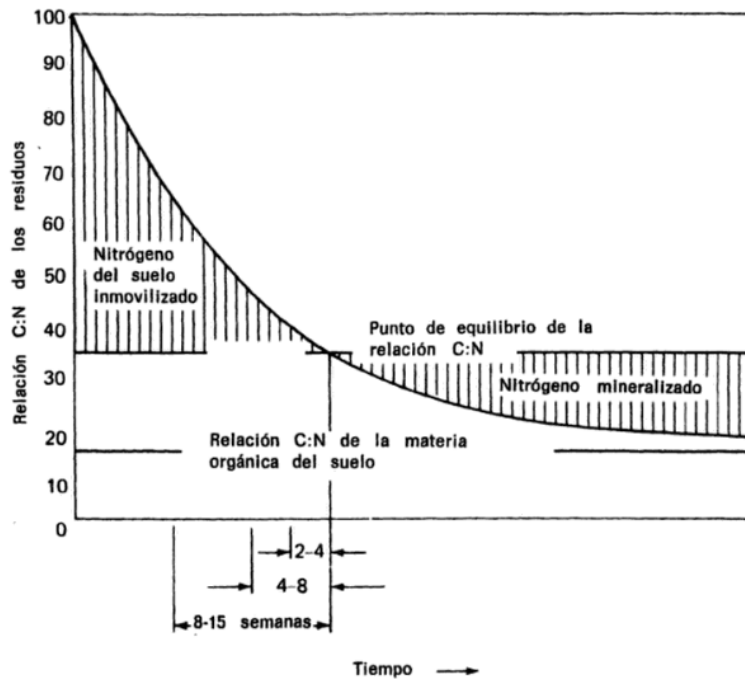


Figura 1.6 Relación C/N y periodo de tiempo de descomposición de residuos [44].

1.10.2. Influencia del pH en el proceso de compostaje

El pH es un factor que afecta la actividad de los microorganismos del suelo, así también la solubilidad de compuestos orgánicos e inorgánicos. En fase termófila, el amonio se transforma en amoníaco en consecuencia el pH sube, para luego estabilizarse en valores cercanos al neutro. De acuerdo al pH se favorece el crecimiento de distintos tipos de microorganismos, así también su supervivencia. Un rango ideal de pH es de 7 a 8,5 [32, 33].

1.10.3. Temperatura

La temperatura varía de acuerdo a la fase del proceso. La temperatura no debe decaer demasiado rápido, puesto que a mayor temperatura, mayor es la velocidad de descomposición e higienización. Las altas temperaturas caracterizan el proceso de compostaje aeróbico y son

indicativos de la actividad microbiana. Mezclar el material y la aireación permite regular la temperatura; un rango ideal es 55 a 60 °C [9, 32].

1.10.4. Humedad

La humedad del sistema de compostaje funciona como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular de microorganismos. La humedad óptima se encuentra alrededor del 55 %, en caso de que la humedad se encuentre bajo 45 %, disminuye la actividad microbiana y no se completan todas las fases de la degradación. Si la humedad se encuentra por sobre 60 %, el agua satura los poros e interfiere en la oxigenación del material provocando un ambiente propicio para microorganismos anaerobios [9, 32].

1.10.5. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula afecta la actividad de microbiana puesto que el acceso al sustrato se facilita si existe una mayor superficie específica, la aireación y la humedad del sistema también dependen de éste parámetro. Un tamaño de partícula adecuado para el suelos empleado en el compostajes es <10 mm y para el material a compostar entre 5 a 10 cm [32].

1.10.6. Oxígeno

El compostaje aerobio debe mantener aireación constante y adecuada para la respiración de los microorganismos, a la vez elimina el exceso de calor, vapor de agua y gases atrapados. Demasiada aireación genera un descenso de temperatura y pérdida excesiva de humedad por lo cual los microorganismos se deshidratan y la actividad enzimática, que es la encargada de la degradación, se detiene. Una baja aireación provoca que la humedad del sistema se incremente debido a la falta de evaporación del agua y limita el crecimiento de microorganismos aerobios ya

que el ambiente es propicio para microorganismos anaerobios. Valores entre el 5 y 10 % son aconsejables [9, 32].

1.11. Análisis de alcalinidad

La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de las bases titulables con el uso de ácidos de concentración conocida. Se debe principalmente a la presencia de iones carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos. Los aniones indicados se pueden originar incluso a partir del CO₂ presente en la atmósfera que puede solubilizarse en el agua por procesos de turbulencia en caso de sistemas loticos como ríos, produciendo ácido carbónico a partir de la reacción con el agua. El ácido carbónico formado se disocia en el agua formando carbonatos y bicarbonatos. Los iones hidroxilo se forman a partir de la reacción entre el carbonato y el agua dando como resultado bicarbonatos e hidroxilos [46, 47].

Los resultados de alcalinidad se expresan como alcalinidad de la fenolftaleína y alcalinidad total, las que se determinan por titulación. La muestra se valora con una solución de ácido mineral hasta pH de 8.3 y entre 4 y 5. Estos puntos finales se determinan visualmente usando indicadores y son puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los iones que producen la alcalinidad. En el indicador fenolftaleína, el pH de 8.3 es próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de todo el hidróxido y la mitad del carbonato, mientras que el pH de 4 y 5 está próximo al punto de equivalencia para el ión hidrógeno y el bicarbonato, lo que permite establecer la alcalinidad total; en este último caso el indicador es el verde de bromo cresol [47, 48].

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se establecen las condiciones, materiales y métodos utilizados para el estudio de la biodegradabilidad de polietileno de alta densidad mediante condiciones de compostaje con aditivos que aceleran la degradabilidad de este polímero, también se exponen diagramas en los que se explica los procesos que se siguieron para obtener las condiciones necesarias para el compostaje y los cambios que el polietileno atraviesa durante su biodegradación. La metodología sigue la norma NTE INEN 2640:2012 que consiste en un “Método de Ensayo para Determinar la Biodegradabilidad Aeróbica de Materiales Plásticos Bajo Condiciones Controladas de Compostaje” [49].

2.1. Unidad de análisis

Fundas plásticas tipo camiseta de polietileno de alta densidad con los aditivos A3, A2 y A1, empleadas en el empaque para transporte de productos de supermercado.

2.2. Universo o muestras

Las muestras fueron proporcionadas por un cliente del Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (CESAQ-PUCE), que solicitó el estudio del comportamiento de las fundas plásticas en condiciones controladas de compostaje, ya que son distribuidas en las cadenas de supermercados más visitados en el país y posee interés por el impacto ambiental que generan estos productos plásticos al momento de su disposición al final de su vida útil.

2.3. Materiales

- Erlenmeyers de 2 L
- Mangueras de 1,5 m y 6 mm de diámetro
- Tapones de caucho
- Frascos borboteadores de 500 mL
- Erlenmeyers de 100 mL
- Bureta de 10 mL ± 0.05 mL
- Papel aluminio
- Espátulas
- Tamiz N° 12, Mesh 10 de 1.70 mm
- Vasos de precipitación de 100 mL
- Pipetas volumétricas de 5 mL y 2 mL
- Crisoles de porcelana
- Cápsulas de porcelana
- Pipeta Pasteur
- Balones aforados de 100 mL, 500 mL, 1000 mL y 2000 mL.

2.4. Equipos

- Baño termostático con control automático de temperatura y volumen de agua.
- Bombas de aire con reguladores de flujo Power 500
- Mufla Tecnodalvo, modelo TDHM2
- Estufa Memert, modelo SM 200

- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo MS series
- Balanza electrónica Digital Precision, modelo ES-4000H
- Potenciómetro HACH, modelo sensION1
- Espectrofotómetro UV/vis HACH, DR 5000

2.5. Reactivos

- Hidróxido de sodio grado analítico MERCK
- Hidróxido de potasio grado analítico MERCK
- Verde de bromocresol
- Fenolftaleína
- Bicarbonato de sodio grado analítico MERCK
- Soluciones 0,1 y 0,5 M de hidróxido de sodio y potasio
- Solución 0,1 M de ácido clorhídrico
- Viales HACH para Nitrógeno Total en rango alto
- Reactivo Hidróxido NT HACH
- TN Reactivo A HACH
- TN Reactivo B HACH
- Ácido TN HACH

2.6. Procedimiento

En la Figura 2.1 se muestra el procedimiento general que permitió obtener el grado de degradabilidad del polietileno de alta densidad con los aditivos A1, A2 y A3 en condiciones de compostaje aerobio.

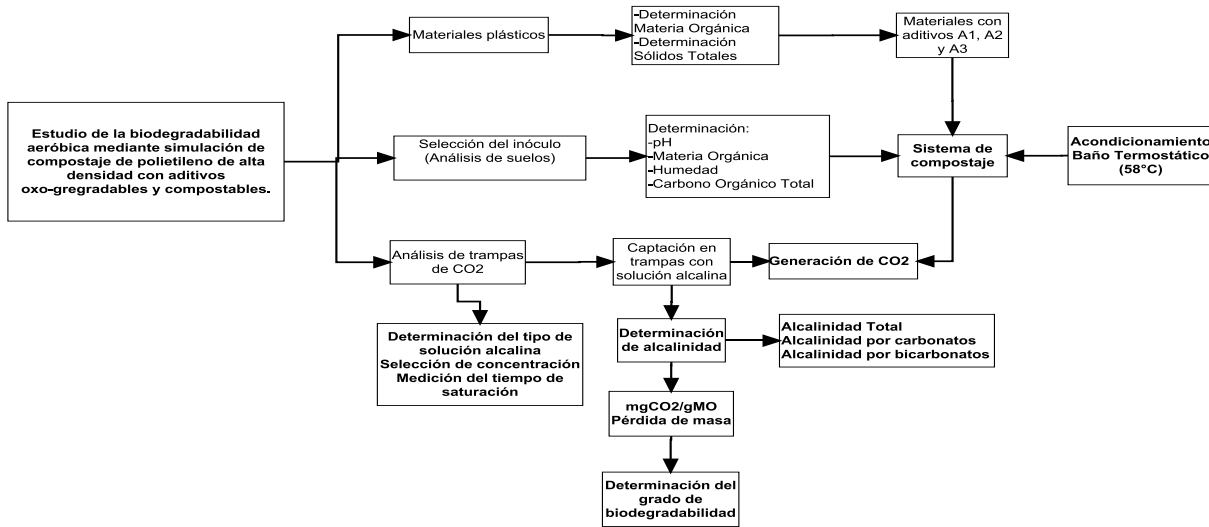


Figura 2.1 Procedimiento general

2.6.1. Ensayos preliminares

Los ensayos preliminares que permitieron establecer las condiciones del compostaje de las muestras de ensayo, siguieron el proceso indicado en la Figura 2.2.

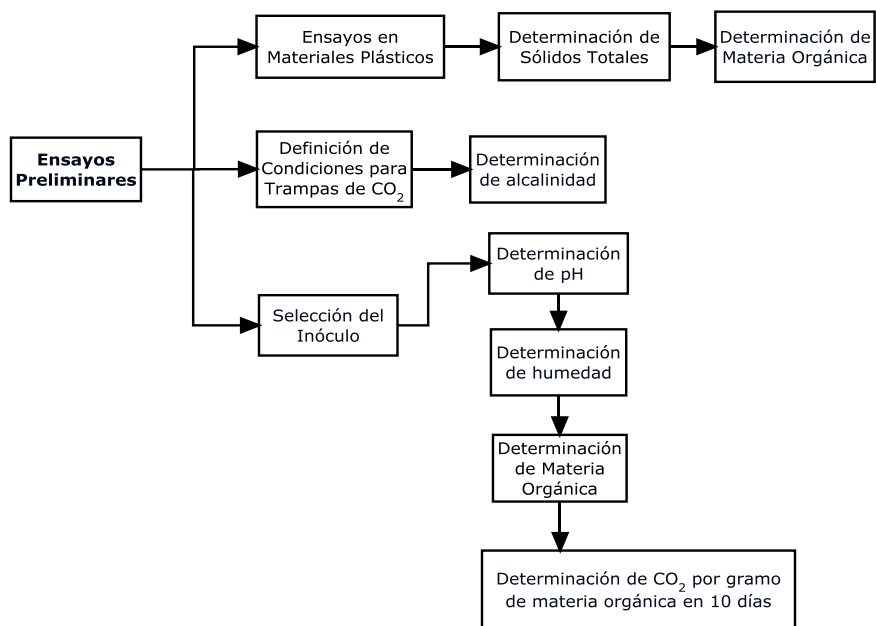


Figura 2.2. Proceso de ensayos preliminares

a. Análisis en materiales plásticos y celulosa

A continuación se detallan los procedimientos para la determinación de sólidos totales y materia orgánica en los materiales poliméricos.

❖ Determinación de sólidos totales

El método descrito a continuación se basa en la norma ASTM D 4959:2016 “Método de determinación de sólidos totales en suelos” [50].

- Colocar cápsulas de porcelana en la estufa a 105 °C por una hora.
- Extraer las cápsulas de la estufa y colocar en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente.

- Pesar las cápsulas en una balanza analítica y anotar el peso, este valor corresponde al peso inicial P_0 .
- Cortar los materiales de ensayo en pequeños trozos.
- Pesar 2 g de cada material en las cápsulas P_m .
- Colocar las cápsulas, en el interior de la estufa a 105 °C por una hora.
- Sacar las cápsulas de la estufa y colocar en el desecador hasta que alcancen temperatura ambiente.
- Pesar las cápsulas con el material seco en una balanza analítica, el valor corresponde al peso final P_f .
- Calcular el contenido de sólidos totales de acuerdo a la ecuación 2.1.

$$\%H = \frac{P_m(g) - (P_f(g) - P_0(g))}{P_m(g)} * 100 \quad (2.1)$$

❖ **Análisis de materia orgánica**

Este método está basado en la norma ASTM D2974:2016, “Método para determinación de materia orgánica y cenizas en suelos” [51].

- Colocar los crisoles de porcelana en la mufla precalentada a 550 °C, por una hora.
- Extraer los crisoles de la mufla y colocar en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente.
- Pesar los crisoles en una balanza analítica y anotar el peso, este valor corresponde al peso inicial P_0 .
- Cortar los materiales de ensayo en pequeños trozos.

- Pesar 2 g de cada material en los crisoles, los materiales deben estar libres de humedad antes de iniciar el ensayo P_m .
- Colocar los crisoles tapados, en el interior de la mufla a 180 °C por media hora.
- Elevar la temperatura de la mufla a 250 °C por media hora, al concluir este tiempo volver a elevar 100 °C en intervalos de media hora hasta alcanzar 550 °C y esperar una hora.
- Sacar los crisoles de la mufla y colocar en el desecador hasta que alcancen temperatura ambiente.
- Pesar los crisoles con el material calcinado en una balanza analítica, el valor corresponde al peso final P_f .
- Calcular el contenido de materia orgánica de acuerdo a la ecuación 2.2 y el contenido de cenizas de acuerdo a la ecuación 2.3.
-

$$\%Materia\ Orgánica = \frac{P_m(g) - (P_f(g) - P_0(g))}{P_m(g)} * 100 \quad (2.2)$$

$$\%Cenizas = \%Materia\ Orgánica - 100 \quad (2.3)$$

b. Determinación de condiciones de trampas de CO₂

Las trampas de CO₂ están constituidas por soluciones de hidróxido de sodio o potasio 0,1 y 0,5 M; para determinar la eficiencia de captación de las trampas y qué concentraciones se deben emplear para una captación de 24 h y 72 h, el ensayo a efectuar es una determinación de alcalinidad total, por bicarbonatos y carbonatos, de acuerdo a lo indicado en la Norma NTE

INEN 2640:2012; las trampas que captaron mayor cantidad de CO₂ en el tiempo requerido fueron las empleadas en el ensayo [49].

La Tabla 2.1 contiene las relaciones de alcalinidad entre los valores obtenidos por la titulación con fenolftaleína y la alcalinidad total obtenida de la suma del valor del verde de bromocresol y la fenolftaleína

Tabla 2.1 Relaciones de alcalinidad [52]

Resultado de la titulación	Alcalinidad por hidróxidos	Alcalinidad por carbonatos	Alcalinidad por bicarbonatos
F=0	0	0	T
F<1/2T	0	2F	T-2F
F=1/2T	0	2F	0
F>1/2T	2F-T	2(T-F)	0
F=T	T	0	0

F= Alcalinidad obtenida por Fenolftaleína

T= Alcalinidad Total

El procedimiento descrito a continuación se basa en el método de determinación de alcalinidad 2320 B del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater [52].

- Preparar 500 mL de soluciones de KOH y NaOH 0,1 y 0,5 M.
- Colocar estas soluciones en frascos borboteadores conectados a bombas de aire.
- Transcurridas 24 h de burbujeo, tomar una alícuota de 5 mL de cada trampa y titular con una solución estandarizada de HCl 0,1 M.

- En la primera titulación emplear fenolftaleína como indicador, al observar la pérdida de coloración, anotar el volumen de titulación V_{FT} y obtener el resultado de alcalinidad de fenolftaleína con la ecuación 2.4.
- Agregar verde de bromocresol y continuar con la segunda titulación hasta el cambio de coloración, anotar el volumen de titulación V_{VBC} y calcular el valor de alcalinidad de verde de bromocresol con la ecuación 2.5.
- Obtener el valor de alcalinidad total con la ecuación 2.6 y relacionar con el valor de fenolftaleína según la Tabla 2.1 para obtener la concentración de carbonatos o bicarbonatos.
- Para la eficiencia de captación emplear 3 trampas conectadas en serie, con las soluciones captadoras a prueba y efectuar el análisis de alcalinidad en cada una de ellas.
-

$$\text{Alcalinidad Fenolftaleína, } mgK_2CO_3/L = \frac{V_{FT}(mL) * M(mol/L) * 69000}{\text{Volumen de muestra (mL)}} \quad (2.4)$$

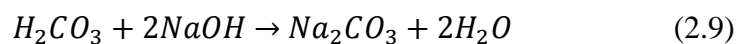
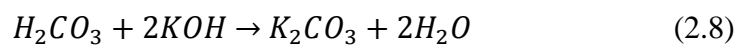
$$\text{Alcalinidad Verde de Bromocresol, } mgK_2CO_3/L = \frac{V_{VBC}(mL) * M(mol/L) * 69000}{\text{Volumen de muestra(mL)}} \quad (2.5)$$

$$\text{Alcalinidad Total, } \frac{mgK_2CO_3}{L} = \text{AlcalinidadFT}(mgK_2CO_3/L) + \text{AlcalinidadVB}(mgK_2CO_3/L)C \quad (2.6)$$

M= molaridad del ácido

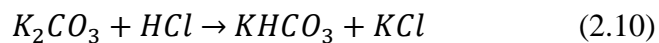
69000= número de equivalentes del carbonato de potasio por 1000 del análisis de unidades

Reacciones de captación de CO₂ en soluciones de KOH y NaOH [49]

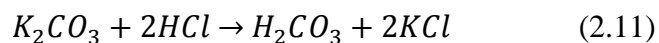


Reacciones de titulación de las trampas de CO₂ [49]

Titulación con fenolftaleína



Titulación con verde de bromocresol



La Figura 2.3 muestra la conexión en serie para la prueba de eficiencia de captación de CO₂. Cada frasco contuvo 500 mL de KOH 0,1 M para la primera prueba de eficiencia y para la segunda prueba se empleó 500 mL de KOH 0,5 M.

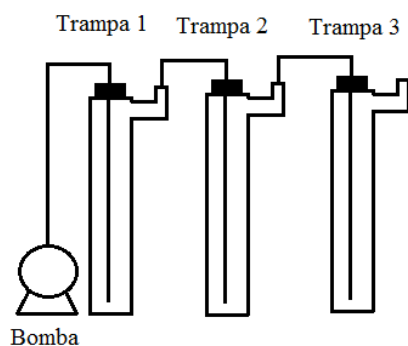


Figura 2.3 Diagrama de trampas de CO₂ con conexión en serie

La Figura 2.4 muestra las conexiones para la prueba de tiempo de saturación de trampas de CO₂. Cada frasco contuvo soluciones de NaOH 0,1 M, KOH 0,1 M y 0,5 M

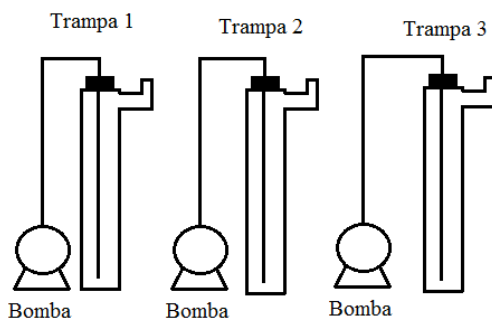


Figura 2.4 Conexiones de trampas de CO₂ para prueba de saturación

c. Análisis de suelos

El inóculo de compostaje consistió en un suelo que funcionó como un agente para la biodegradación de los materiales plásticos y debía cumplir con las características siguientes:

- Producir entre 50 y 150 mg CO₂/g materia orgánica durante los primeros diez días de ensayo.

- Tener un contenido de cenizas inferior al 70 %.
- pH entre 7,0 y 8,2.
- Sólidos secos totales entre 50 y 55 %.
- Tamaño de partícula menor a 10 mm.
- Hallarse libre de materiales inertes de mayor tamaño, piedras, vidrio etc.
- Relación Carbono Nitrógeno C/N entre 10 y 40.

De acuerdo a la NORMA NTE INEN 2640:2012, como suelo para biodegradación se sugiere compost proveniente de plantas de compostaje o que se estime que poseen una carga orgánica proveniente de desechos de jardín o mezclas de residuos vegetales, el suelo empleado en el estudio se trató de una Tierra Negra proveniente de Pifo y de acuerdo con el mapa de suelos de Pichincha del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca se trató de un Mollisol, que se caracterizan por poseer un alto contenido mineral y una superficie oscura, ricos en compuestos orgánicos; la incorporación de residuos vegetales y minerales genera el oscurecimiento en la superficie denominada epipedón móllico [44, 49, 54]:

❖ **Determinación de pH en suelos**

Este procedimiento está basado en la norma ASTM D4972:2016 “Método de determinación de pH en suelos” [55].

- Colocar 2 g de los suelos secos en un vaso de precipitación y agregar 50 mL de agua destilada.
- Agitar por 30 min y dejar reposar hasta que todo el material haya sedimentado

- Medir el pH del sobrenadante con un potenciómetro.

❖ **Determinación de humedad en suelos**

El método descrito a continuación se basa en la norma ASTM D 4959:2016 “Método de determinación de sólidos totales en suelos”[50].

- Colocar cápsulas de porcelana en la estufa precalentada a 105 °C por una hora.
- Sacar las cápsulas y colocar en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente; pesar las cápsulas en una balanza analítica este valor corresponde al peso inicial P_0 .
- Pesar 2 gramos de suelos (P_m) y colocar en cápsulas de porcelana; llevar a la estufa a 105 °C por 24 horas.
- Sacar las cápsulas de la estufa y colocar en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente; finalmente pesar las capsulas y anotar el valor P_f .
- Calcular la cantidad de humedad de acuerdo a la ecuación 2.1.

❖ **Contenido de cenizas y materia orgánica en suelos**

Este método está basado en la norma ASTM D2974:2016, “Método para determinación de materia orgánica y cenizas en suelos” [51].

- Pesar 1 g de los suelos secos en crisoles de porcelana previamente tarados como indica el procedimiento de determinación de humedad en suelos.
- Colocar los crisoles tapados con las muestras en la mufla a 180 °C por media hora, luego elevar la temperatura a 250 °C por 15 minutos, elevar la temperatura 100 °C en intervalos de 15 minutos hasta alcanzar 550 °C y permanecer a esa temperatura por 1 hora.

- Extraer los crisoles de la mufla y colocar en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente.
- Pesar los crisoles en una balanza analítica y anotar el valor P_f .
- Calcular el porcentaje de materia orgánica y ceniza de acuerdo a las ecuaciones 2.2 y 2.3
-

❖ **Determinación de CO_2 por gramo de materia orgánica en suelos**

Los suelos que cumplieron con las características indicadas en el apartado c análisis de suelos, continuaron con este ensayo [49].

- Pesar 300 y 600 g de los suelos y colocar en dos erlenmeyers de 2 L.
- Sumergir el recipiente en un baño termostático a 58 ± 2 °C.
- Conectar los recipientes a las trampas de CO_2 , que contendrán una solución 1 M de KOH de igual forma a la bomba que proporciona oxígeno libre de CO_2 .
- Determinar la cantidad de CO_2 por gramo de materia orgánica cada 24 horas por 10 días de acuerdo a la ecuación 2.12
- y seleccionar la cantidad de suelo que cumpla con el rango de 50 a 150 mg CO_2/g materia orgánica.

$$CO_2/g \text{ materia orgánica} = \left(\frac{\text{Alcalinidad Carbonatos } (gK_2CO_3) * 0.5L * 44g/mol * 100}{\text{masa suelo } g * 138g/mol * MO \text{ g}} \right) * 1000$$

(2.12)

2.6.2. Determinación de la biodegradabilidad de polietileno de alta densidad mediante compostaje.

Para esta determinación se consideró que los recipientes deben contener cada material de ensayo en proporción 6:1 con el inóculo, excepto el blanco que consistió en el inóculo únicamente, el aire que ingresó al sistema debía encontrarse libre de CO₂ y en la salida del sistema debió colocarse condensadores en caso de que la humedad del inóculo pase a las trampas de salida de CO₂; en la Figura 2.5 se puede observar la distribución del sistema de compostaje.

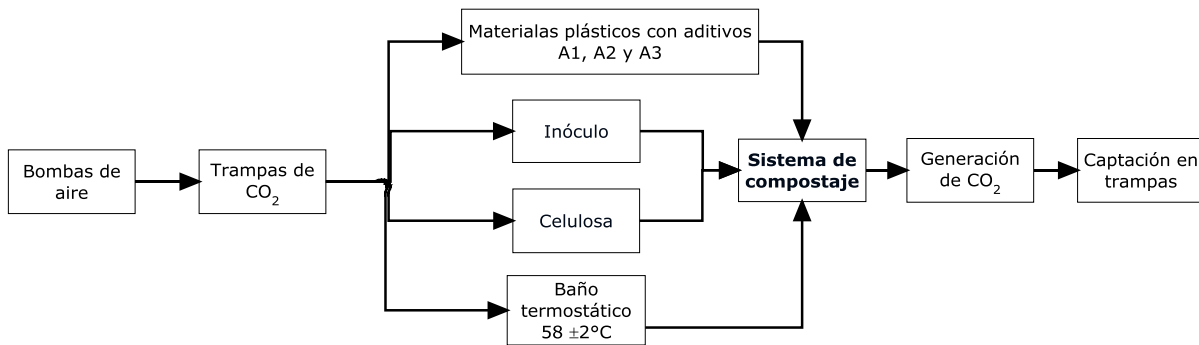


Figura 2.5 Diagrama del sistema de compostaje

La Figura 2.6 es el esquema del sistema de compostaje que se empleó en el estudio de biodegradabilidad aeróbica de polietileno de alta densidad mediante compostaje con aditivos degradantes.

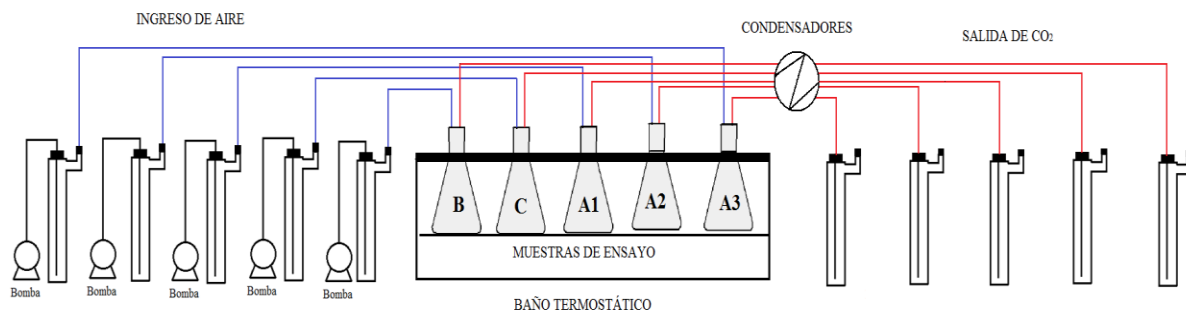


Figura 2.6 Esquema del sistema de compostaje empleado en el estudio

B= Blanco de ensayo (inóculo)

C= Celulosa (control positivo)

A1= Muestra de HDPE con aditivo A1

A2= Muestra de HDPE con aditivo A2

A3= Muestra de HDPE con aditivo A3

- Cortar el material plástico y la celulosa en trozos de 2 cm x 2 cm.
- Pesar 100 g de cada material.
- Pesar 600 g de inóculo en una balanza electrónica y tamizar en una malla <10 mm.
- Colocar el material plástico en erlenmeyers de 2 L con el inóculo.
- Ajustar la humedad del inóculo a 50 % con agua destilada.
- Colocar los erlenmeyers con los materiales plásticos, blanco y celulosa en el baño termostático a 58 ± 2 °C.
- Conectar las trampas de entrada de aire y salida de CO₂ generado por los materiales de ensayo, asegurar hermeticidad en el sistema.
- Encender las bombas de aire y dejar que el sistema funcione por 24 h.

- Una vez transcurridas las 24 h, tomar alícuotas de las trampas de salida de CO₂ como de las trampas de entrada de aire, con pipetas de 5 mL.
- Determinar alcalinidad por carbonatos y bicarbonatos, con estos valores establecer la cantidad de CO₂, según la ecuación 2.13
- Realizar estas determinaciones cada 24 h por 90 días, en los días que no sea posible analizar a las 24 h, el ensayo debe ser continuo por lo que la concentración de las trampas debe ser mayor con relación a la concentración empleada diariamente.

$$\text{CO}_2 \text{ generado, g} = \frac{\text{Alcalinidad Carbonatos (gK}_2\text{CO}_3) * 0.5\text{L} * 44\text{g/mol}}{138\text{g/mol}} \quad (2.13)$$

d. Evaluación estadística del porcentaje de biodegradabilidad en base a la producción de CO₂

La norma NTE INEN 2640:2012 establece que se deben ensayar por lo menos tres réplicas de las muestras poliméricas para el cálculo del error estándar del porcentaje de biodegradación, así como la desviación estándar de carbono gaseoso producido. Estos cálculos no se efectuaron debido a los altos costos generados, principalmente en la adquisición de equipos adicionales para la captación de CO₂ y baños termostáticos con capacidad para las réplicas, los cuales estuvieron fuera del presupuesto previamente establecido para el proyecto. Adicionalmente, para la ejecución de la metodología, empleando mínimo tres réplicas de cada material polimérico, es necesario el uso de aproximadamente 12 L de solución de HCl y 930 L de solución de KOH para cumplir con los 90 días de ensayo y de esta manera, asegurar las condiciones de captación de CO₂ y medición de la alcalinidad; por lo que el estudio se efectuó con una muestra de cada material polimérico [49].

2.6.3. Ensayos en suelos después del compostaje

Al concluir el ensayo es necesario conocer el estado de los suelos de cada material de ensayo por lo que se efectuaron los siguientes procedimientos:

e. Determinación de pH en suelos

Ver procedimiento de determinación de pH en suelos en la sección c de análisis de suelos [55].

f. Contenido de materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total en suelos

Ver procedimiento de determinación de materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total en suelos en la sección c de análisis de suelos [51].

g. Determinación de nitrógeno total en suelos

El procedimiento descrito a continuación está basado en el método HACH 10072 para determinación de nitrógeno total [56].

- Pesar 1 g de suelo y 0,5 g de persulfato de potasio en un erlenmeyer
- Agregar 50 mL de agua destilada y digerir hasta alcanzar 10 mL de solución
- Filtrar y aforar a 50 mL con agua destilada
- Tomar 0,5 mL de la solución y colocar en un vial de digestión de Hidróxido TN; para la preparación del blanco usar 0,5 mL de agua destilada
- Invertir los viales varias veces por 30 s.
- Colocar en el termoreactor HACH a una temperatura de 105 °C por 30 min.
- Abrir el vial y agregar una almohadilla de TN Reactivo A, agitar por 15 s y luego dejar reposar por 3 min
- Agregar TN Reactivo B, agitar por 15 s y dejar en reposo por 2 min.

- Tomar 2 mL del vial y colocar en el vial Reactivo Acido TN C.
- Agitar 10 veces, si hay presencia de nitrógeno la solución se tornará amarilla.
- Analizar el vial de la muestra y el blanco en el espectrofotómetro UV/Vis a 410 nm, el cual contiene la curva de calibración con rango 5 mg/L a 150 mg/L.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos efectuados en los materiales poliméricos, suelos y trampas de CO₂; a partir de estos valores se establecieron las condiciones del sistema de compostaje y se obtuvieron los valores de porcentajes de biodegradabilidad por producción de CO₂ con respecto a la celulosa y a valores teóricos; también se muestran los resultados de pérdida de masa.

3.1. Análisis de materiales de ensayo

A continuación se encuentran los resultados obtenidos en la determinación del porcentaje de humedad, cenizas y materia orgánica de cada material polimérico ensayado.

3.1.1. Determinación de materia orgánica y cenizas

En la Tabla 3.1 se observan los valores obtenidos para materia orgánica y cenizas al final del proceso de calcinación en HDPE aditivado y celulosa; este procedimiento se realizó por triplicado y se determinó el promedio en porcentaje.

Tabla 3.1. Porcentaje de cenizas y materia orgánica en materiales plásticos analizados y celulosa

Materiales de ensayo	Materia Orgánica (%)	Promedio Materia Orgánica (%)	CV (%)	Cenizas (%)
HDPE-A1	97,75	98,45	0,63	1,55
	98,68			
	98,92			
HDPE-A2	95,70	97,53	2.03	2,47
	97,25			
	99,63			
HDPE-A3	97,81	98,17	0,68	1,83
	98,95			
	97,75			
Celulosa	98,53	98,16	0,97	1,84
	98,88			
	97,07			

Las muestras de polietileno de alta densidad con aditivos degradantes poseen una fracción orgánica y otra inorgánica que al someterse a la temperatura de calcinación de 550 °C, la fracción orgánica es volatilizada y transformada en CO₂, agua y otros compuestos volátiles, pero la fracción inorgánica se conserva en los recipientes de calcinación ya que no se alcanza la temperatura de descomposición para ésta fracción. De acuerdo a la Tabla 3.1 se aprecia que los materiales de polietileno de alta densidad contienen un porcentaje de materia orgánica alrededor del 98 %. Además, se observa que los HDPE aditivados poseen una cantidad de material inorgánico cercano al 2 %, que es proveniente de pigmentos empleados en pinturas para el gravado de logos así como de compuestos que brindan características físicas al producto como: agentes estabilizantes, retardantes, entre otros [22]. La celulosa es un material de origen vegetal por esta razón el contenido de materia orgánica es alto, pero en la Tabla 3.10 se aprecia que posee

un fracción inorgánica esto se debe a que el material empleado en el estudio se trata de papel de impresión (papel bond) que es tratado con compuestos inorgánicos para adquirir propiedades físicas [62]. Los valores de coeficiente de variación para cada muestra se encuentran bajo el 5 % esto indica que el error es bajo y es posible hacer uso de los resultados para cálculos siguientes.

3.1.2. Determinación de sólidos secos totales en materiales de ensayo

En la Tabla 3.2 se observa los porcentajes de humedad eliminados, al tratar los HDPE aditivados y la celulosa a una temperatura de 105 °C; éste ensayo se efectuó por triplicado.

Tabla 3.2. Porcentaje de humedad en materiales plásticos de ensayo y celulosa

Materiales de ensayo	Humedad (%)	Promedio Humedad (%)	CV (%)
HDPE A1	1,34	1,42	4,23
	1,44		
	1,47		
HDPE A2	1,28	1,24	4,01
	1,35		
	1,10		
HDPE A3	1,37	1,32	3,04
	1,13		
	1,45		
Celulosa	2,03	2,02	4,46
	2,12		
	1,89		

Los bajos porcentajes de humedad obtenidos muestran que la afinidad de los HDPE aditivados por el agua contenida en el ambiente es mínima, esto es consecuencia de sus propiedades químicas y físicas como baja porosidad, resistencia a la adsorción y absorción, lo cual le confiere impermeabilidad; así el HDPE no sufre procesos de oxidación por la humedad y oxígeno del

medio ambiente, limitando la supervivencia de los microorganismos en su superficie. La celulosa es el material con mayor porosidad y capacidad de absorción de humedad ambiental con respecto a los materiales plásticos, se evidencia que el valor de contenido de humedad es mayor [15]. Los valores de coeficientes de variación para cada muestra se encuentran bajo el 5 % esto evidencia que los resultados son aceptados ya que su error es bajo pero es conveniente mencionar que el método muestra gran sensibilidad debido a que los valores están alrededor del 4 %.

3.2. Condiciones para las trampas de CO₂

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos al medir la alcalinidad de las soluciones de NaOH y KOH después de burbujear aire del ambiente para establecer el tiempo que tardan en saturarse y definir la eficiencia de captación de las soluciones alcalinas.

3.2.1. Estudio de Saturación de Trampas de CO₂

Mediante la determinación de alcalinidad, al cabo de 72 horas, es posible establecer la concentración de carbonatos que se forman al reaccionar soluciones de hidróxido de potasio o sodio con CO₂ del ambiente de acuerdo a las ecuaciones 2.7, 2.8 y 2.9. Por lo tanto, aquellas trampas que dentro de un período de 72 h contengan bicarbonatos, usando la relación detallada en la metodología, inician el proceso de saturación y la consecuente disminución de hidroxilos de las soluciones básicas. A continuación se presentan los resultados obtenidos para las concentraciones de 0,1 y 0,5 M de KOH y NaOH.

La Tabla 3.3 muestra los resultados de alcalinidad, obtenidos para la trampa de CO₂ preparada con hidróxido de sodio 0,1 M.

Tabla 3.3 Valores de alcalinidad por NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃ y volumen de CO₂ captado en función del tiempo de ensayo

Solución NaOH	Volumen de muestra (±0.003mL)	Tiempo (h)	Alcalinidad por NaOH (mg/L)	Alcalinidad por Na₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad por NaHCO₃ (mg/L)	CO₂ Captado (mg/L)
0,1 M	10,00	12:00	5353,00	106,00	0,00	44,00
	10,00	24:00	2915,00	1272,00	0,00	528,00
	10,00	36:00	3021,00	2120,00	0,00	880,00
	10,00	48:00	2703,00	2226,00	0,00	924,00
	10,00	72:00	2226,00	3286,00	0,00	1364,00

Como se observa en la Tabla 3.3, la concentración de CO₂, captado por la trampa, incrementa durante el ensayo; además, se evidencia que existe una relación inversa entre la alcalinidad por hidróxido de sodio que disminuye y la alcalinidad por carbonato de sodio que se incrementa. La diferencia del consumo de hidróxido de sodio en el período de 12 a 24 h es de 2438 mg/L en comparación con las siguientes horas que no superan 500 mg/L, lo que significa que el poder reactivo del hidróxido de sodio es alto en las primeras 24 horas, dando a entender que la velocidad de reacción en el intervalo de las 12 a 24 horas es mayor que en el resto de intervalos, esto se debe al consumo de los reactivo. Así también, se observa que la alcalinidad por bicarbonato de sodio es nula a las 72 h, lo cual significa que no existe saturación durante todo el período de prueba [59].

En el Figura 3.1 se muestra el comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos en función del tiempo de acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 3.3.

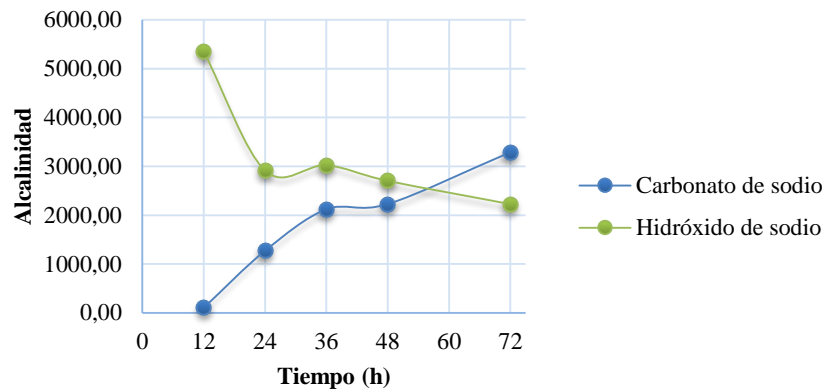


Figura 3.1 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos para una solución 0,1 M de NaOH

En la Figura 3.1 se observa que las concentraciones de hidróxido de sodio y carbonato de sodio se igualan en el punto de intersección de sus curvas debido a que alcanzan el equilibrio químico, así también, se aprecia que a las primeras 24 horas se obtiene un descenso significativo de la curva de alcalinidad por hidróxido de sodio, lo cual evidencia un máximo de captación de CO_2 durante ese periodo en razón del alto número de iones presentes para la reacción.

La Tabla 3.4 muestra los resultados de alcalinidad para la solución de hidróxido de potasio 0.1M, después de un período de burbujeo de 72 h.

Tabla 3.4. Valores de alcalinidad por KOH, K₂CO₃ y KHCO₃ y cantidad de CO₂ captado en función del tiempo

Solución KOH	Volumen de muestra (±0.003mL)	Tiempo (h)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K ₂ CO ₃ (mg/L)	Alcalinidad por Bicarbonatos KHCO ₃ (mg/L)	CO ₂ Captado (mg/L)
0,1 M	10,00	12:00	3795,00	966,00	0,00	308,00
	10,00	24:00	2139,00	2622,00	0,00	836,00
	10,00	36:00	1173,00	4002,00	0,00	1276,00
	10,00	48:00	345,00	5106,00	0,00	1628,00
	10,00	72:00	0,00	5382,00	414,00	1716,00

En la Tabla 3.4 se observa que a ésta concentración de KOH se incrementa la captación de CO₂ durante el período de ensayo. A diferencia de lo obtenido con el NaOH 0,1 M se forman bicarbonatos a las 72 h disminuyendo la alcalinidad por hidróxido de potasio a cero, esto se debe a que el potasio es químicamente más reactivo que el sodio ya que el electrón de valencia del potasio se encuentra más lejano del núcleo en comparación al sodio.

El Figura 3.2 muestra el comportamiento de la alcalinidad por carbonato e hidróxido de potasio a medida que transcurre el tiempo.

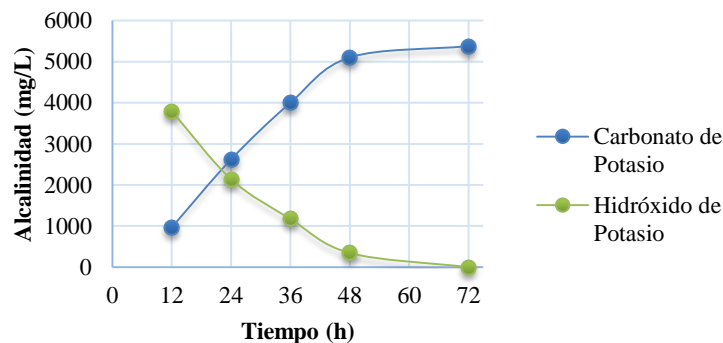


Figura 3.2 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos en una solución 0,1 M de KOH

La Figura 3.2 muestra la disminución de la alcalinidad de hidróxido de potasio a medida que se capta CO_2 , incrementando la concentración de carbonatos. La intersección de las curvas se encuentra en el período de 12 a 24 h a diferencia de las curvas de la Figura 3.1 obtenidas con la solución de hidróxido de sodio 0,1 M. Esto demuestra que las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos se igualan con mayor rapidez a la concentración de 0,1 M de KOH.

Comparando los resultados de las tablas 3,4 y 3,5 se aprecia que la concentración de CO_2 captado es superior en la solución de hidróxido de potasio que en la solución de hidróxido de sodio lo que confirma el poder reactivo del KOH en solución, es importante considerar que el KOH se disocia en solución acuosa con mayor facilidad que el NaOH, esto permite que mayor cantidad de CO_2 reaccione con iones K^{1+} en menor tiempo. Adicionalmente, se debe considerar que la energía libre de Gibbs estándar de formación de iones para el potasio es -67,46 Kcal/g ion del sodio es -62.58 Kcal/g ion, lo que demuestra que la formación de iones de potasio es más espontánea que el sodio confirmando el motivo por el cual el KOH se disocia en solución con mayor facilidad y por consiguiente la captación de CO_2 es mayor en el KOH que en el NaOH. Finalmente, se aprecia que la alcalinidad de carbonatos es superior en la solución de hidróxido de potasio 0,1 M en relación a la trampa de hidróxido de sodio 0,1 M, que concuerda con las indicaciones descritas por la norma NTE INEN 2642:2012, para el análisis de biodegradabilidad de materiales plásticos después del compostaje, la cual sugiere el uso de trampas de CO_2 con soluciones de hidróxido de potasio [10, 35, 49, 57, 59].

En la Tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos de alcalinidad al incrementar la concentración de la solución de hidróxido de potasio a 0,5 M.

Tabla 3.5 Valores de alcalinidad por KOH, K₂CO₃ y KHCO₃ y cantidad de CO₂ captado en función del tiempo para la solución de KOH 0,5 M

Solución KOH	Volumen de muestra (±0.003mL)	Tiempo (h)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad por Bicarbonatos KHCO₃ (mg/L)	CO₂ Captado (mg/L)
0,5 M	5,00	12:00	5382,00	1104,00	0,00	352,00
	5,00	24:00	4140,00	1932,00	0,00	616,00
	5,00	36:00	3312,00	2208,00	0,00	704,00
	5,00	48:00	2346,00	3588,00	0,00	1144,00
	5,00	72:00	1932,00	4140,00	0,00	1320,00

Como se observa en la Tabla 3.5, a la concentración 0,5 M de hidróxido de potasio no se produce bicarbonato de potasio, por esta razón la trampa no se saturó en el periodo de 72 h, por lo cual se empleó en etapas más largas de captación, esto se explica porque la solución tiene disponibles mayor cantidad de iones K¹⁺ en relación con la de 0,1 M capaces de desplazar los dos hidrógenos del ácido carbónico casi en la totalidad de las moléculas presentes. El ensayo no se ejecutó con el NaOH debido a que su capacidad de captación de CO₂ es menor en relación con el KOH dando como resultado baja generación de carbonatos y por lo tanto baja eficiencia de la trampa [10, 59].

En la Figura 3.3 se observan las tendencias de las alcalinidades por hidróxido y carbonato de potasio durante 72 h.

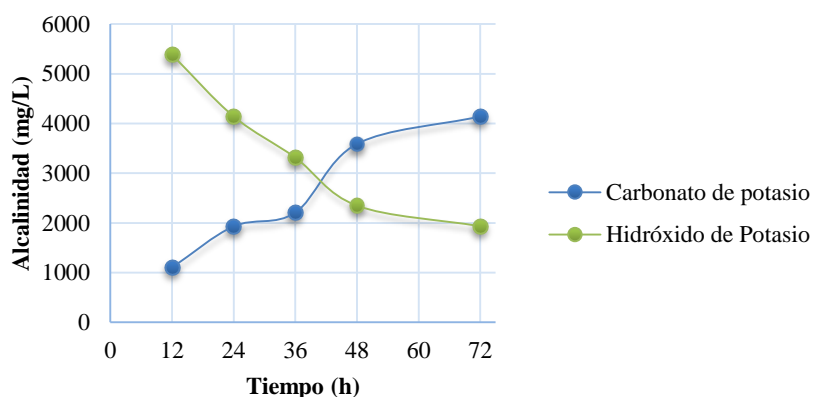


Figura 3.3 Comportamiento de la alcalinidad por hidróxidos y carbonatos en una solución 0,5 M de KOH

En la Figura 3.3 se observan la tendencia de las concentraciones de hidróxido y carbonato de potasio durante 72 h. La concentración de KOH disminuye durante las 72 h, sin embargo a diferencia de la trampa de KOH 0,1 M, la concentración no llega a cero, por lo que se mantiene la presencia de iones K^{1+} , esto se traduce en mayor tiempo de captación de CO_2 , siendo ideal para los periodos más largos de captación como los fines de semana. Por otra parte, se observa que el incremento en la concentración de carbonato de potasio es menor en relación a las concentraciones de NaOH 0,1 M y KOH 0,1 M, no obstante, su concentración va en aumento ya que se dispone de un mayor periodo de saturación.

3.2.2. Estudio de Eficiencia de Trampas de CO_2

El estudio de eficiencia de captación, permite establecer la cantidad de CO_2 que es retenido en cada una de las trampas y se empleó el método 2320 B del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater para la determinación de la alcalinidad. La disminución de la eficiencia depende de la velocidad de burbujeo y la capacidad de reacción del CO_2 con el KOH [59].

En la Tabla 3.6, se presentan los resultados de alcalinidad por hidróxidos y carbonatos obtenidos al burbujear por un período de 24 h en trampas conectadas en serie de hidróxido de potasio 0,1 M.

Tabla 3.6. Valores de alcalinidad de KOH, K₂CO₃ y KHCO₃ medidos para determinar la eficiencia de trampas de KOH 0.1 M

Soluciones	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.003 mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos KHCO₃ (mg/L)
Trampa 1	4140,00	2346,00	5,00	0,00
	4140,00	2484,00	5,00	0,00
	4071,00	2346,00	5,00	0,00
Trampa 2	6348,00	0,00	5,00	0,00
	6348,00	0,00	5,00	0,00
	6417,00	0,00	5,00	0,00
Trampa 3	6348,00	0,00	5,00	0,00
	6417,00	0,00	5,00	0,00
	6417,00	0,00	5,00	0,00

Al conectar las trampas en serie se esperaba que la cantidad de CO₂ que no sea retenida en la primera trampa se retenga en las siguientes, sin embargo, los resultados presentados en la Tabla 3.6 muestran que la Trampa 1 de hidróxido de potasio 0,1 M, capta CO₂ con un 100 % de eficiencia ya que las Trampas 2 y 3 no muestran presencia de carbonato de potasio [10, 47, 59].

El análisis de eficiencia también se efectuó en la trampa de hidróxido de potasio 0,5 M y los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Valores de alcalinidad de KOH, K₂CO₃ y KHCO₃ medidos para determinar la eficiencia de trampas de KOH 0.5 M

Soluciones	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.003 mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos KHCO₃ (mg/L)
Trampa 1	24150,00	10350,00	2,00	0,00
	25875,00	7245,00	2,00	0,00
	24150,00	10350,00	2,00	0,00
Trampa 2	33810,00	0,00	2,00	0,00
	33982,50	0,00	2,00	0,00
	33810,00	0,00	2,00	0,00
Trampa 3	33810,00	0,00	2,00	0,00
	33982,50	0,00	2,00	0,00
	33982,50	0,00	2,00	0,00

Los resultados de la Tabla 3.7 evidencian que las Trampas 2 y 3 no reaccionaron con CO₂ que provenga de la Trampa 1, probando que la primera trampa capta la totalidad de CO₂ que ingresa del ambiente por los mismos motivos antes indicados.

3.3. Selección del inóculo

La selección del inóculo es una parte crucial en el ensayo de biodegradabilidad porque aporta con los microorganismos encargados de la biodegradación, por esta razón en varios suelos compostados y ricos en materia orgánica, se analizaron los parámetros que la norma NTE INEN 2640:2012 específica para asegurar que el inóculo sea el adecuado [49].

En la Tabla 3.8 se muestra la procedencia y la taxonomía de acuerdo al orden de suelo para cada muestra analizada.

Tabla 3.8 Muestras de suelos, procedencia y taxonomía

Suelos	Procedencia	Taxonomía
Compost 1	Pifo	Entisol
Compost 2	Pifo	Inceptisol
Compost de champiñones	Nayón	Entisol
Tierra Negra	Pifo	Mollisol

Compost 1 es procedente de la parroquia Pifo y consiste en un suelo Entisol, Compost 2 es proveniente de la parroquia Pifo y se encuentra conformado por una mezcla de cáscara de arroz y suelo Inceptisol, el Compost de champiñones fue tomado de la parroquia Nayón y consiste en una mezcla de champiñones y suelo Entisol; la muestra Tierra Negra fue colectada en la parroquia Pifo, está conformada por un suelo Mollisol. A estas muestras se realizaron análisis de pH, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, contenido de cenizas, carbono orgánico total y se sometieron al ensayo de compostaje por 10 días para determinar la cantidad de CO₂ que pueden generar.

3.3.1. Determinación de pH en suelos.

La Tabla 3.9 muestra los resultados de pH en las muestras de compost y suelo analizados.

Tabla 3.9 Resultados de pH en muestras de suelo y compost

Suelos	pH	Criterio de Aceptación 7.0-8.2pH
Compost 1	5,9	No Cumple
Compost 2	6,2	No Cumple
Compost de champiñones	9,5	No Cumple
Tierra Negra	7,6	Cumple

De acuerdo con la Tabla 3.9, la muestra Tierra negra cumple con el criterio de pH ya que se encuentra dentro del rango establecido por la norma NTE INEN 2640:2012, el cual es adecuado para supervivencia de microorganismos aerobios [32, 33, 49].

3.3.2. Determinación de humedad, cenizas, materia orgánica y carbono orgánico total en suelos.

En la Tabla 3.10 se exponen los resultados en porcentaje de los parámetros de materia orgánica, humedad, cenizas y carbono orgánico total establecidos por la norma NTE INEN 2640:2012 [49].

Tabla 3.10. Valores obtenidos de materia orgánica, humedad, cenizas y COT en suelos estudiados

Suelos	Materia Orgánica (%)	Promedio Materia Orgánica (%)	CV (%)	Promedio Cenizas (%)	COT (%)
*Champiñones	58,19	59,53	2,40	40,47	49,71
	61,04				
	59,35				
Tierra Negra	30,98	30,99	4,11	69,00	25,89
	29,73				
	32,28				
Compost 2	31,93	32,30	1,43	67,70	27,17
	32,82				
	32,15				

*Se evaluó el contenido de materia orgánica con fines comparativos para evaluar el efecto de los champiñones sin compostar.

La Tabla 3.10 indica que el contenido de materia orgánica (MO) es superior en la muestra de Compost de Champiñones con respecto a las muestras de Tierra Negra y Compost 2, esto se debe a que la presencia de champiñones aporta con una carga adicional de MO al suelo que no se

encuentra compostada en su totalidad; en el caso del Compost 2 la proporción de materia orgánica como cascarilla de arroz fue visiblemente menor que la aportada por el suelo debido a que esta muestra es producto de un proceso de compostaje y gran parte del material orgánico sólido ya fue degradado, siendo menor en comparación con el Compost de Champiñones; con relación a la Tierra Negra fue la única muestra que cumplió los parámetros de pH 7-8,2 y porcentaje de cenizas (no mayor al 70 %) establecido por la norma NTE INEN 2640:2012 , por lo que se efectuó el ensayo de 10 días en condiciones de compostaje aerobio [49]. No se ensayó el Compost 1 debido a que el valor de pH se encontró muy por debajo del requerimiento y las muestras ensayadas tenían posibilidad de ajustar el pH con material rico en nitrógeno para elevar su pH o material con mayor contenido de carbono para disminuir su pH [35, 49]. El valor de coeficiente de variación indica que para la determinación de materia orgánica el error se encuentra bajo el 5 % y esto se considera como un error tolerable.

La Tabla 3.11 muestra los resultados del contenido de humedad de los suelos que se aproximan al valor de pH establecido en la norma NTE INEN 2640.

Tabla 3.11 Resultados del contenido de humedad de los suelos estudiados

Suelos	Humedad (%)	Promedio Humedad (%)	CV (%)
Champiñones	47,28	47,03	1,03
	46,47		
	47,35		
Tierra Negra	29,43	28,97	1,57
	28,95		
	28,52		

Continúa Tabla 3.11

Compost 2	31,55	32,05	4,24
	33,59		
	31,01		

El contenido de humedad se ajustó de acuerdo a la cantidad de suelo empleado en el ensayo para alcanzar el valor de 50 %, esto se logró agregando volúmenes de agua destilada; 126 mL para 600 g ó 63 mL para 300 g de suelo. El coeficiente de variación muestra que para los ensayos en las tres muestras el error es bajo debido a que se encuentra por debajo del 5 %.

3.3.3. Ensayo de 10 días en condiciones de compostaje aerobio

En este apartado se presentan los resultados de la evaluación de la generación de CO₂ por gramo de MO durante los 10 primeros días en condiciones de compostaje aerobio para muestras de Tierra Negra de 300 y 600 g. La Tabla 3.12 indica los resultados obtenidos después del ensayo de 10 días en condiciones de compostaje; 58 ±2 °C, 50 % de humedad y aireación.

Tabla 3.12. Valores de alcalinidad y generación de CO₂ en el ensayo de 10 días con 300 g de suelo.

Día	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K ₂ CO ₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.003 mL)	Masa Suelo (±0.003 g)	mgCO ₂ /gMO*
1	4747,20	0,04	25,00	300,00	0,08
2	4250,40	0,22	10,00	300,00	0,38
3	4140,00	0,33	10,00	300,00	0,57
4	3919,20	0,55	10,00	300,00	0,95
5	3422,40	1,10	10,00	300,00	1,89

Continúa Tabla 3.12

6	FIN DE SEMANA				
7					
8	16063,20	14,72	5,00	300,00	25,24
9	3775,68	0,93	25,00	300,00	1,59
10	4526,40	0,22	10,00	300,00	0,38
TOTAL					30,69

*MO (Materia Orgánica)

En la Tabla 3.12 se observa que con 300 g de suelo no es posible alcanzar el rango de 50 a 150 mg de CO₂/ g MO como indica la norma NTE INEN 2640:2012 esto se debe a que la cantidad de materia orgánica y microorganismos que se encuentran en 300 g del suelo no son suficientes para asegurar una producción de CO₂ durante el estudio de 90 días [49].

En la Tabla 3.13 se encuentran los resultados después del ensayo de 10 días con 600 g de la muestra de Tierra Negra.

Tabla 3.13. Valores de alcalinidad y generación de CO₂ en el ensayo de 10 días con 600 g de suelo.

Día	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K ₂ CO ₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.003 mL)	Masa Suelo (±0.01 g)	mgCO ₂ /gMO*
1	44,16	5,52	25,00	600,00	4,73
2	772,80	5,08	10,00	600,00	4,35
3	1490,40	4,53	10,00	600,00	3,88
4	993,60	4,97	10,00	600,00	4,26
5	607,20	5,19	10,00	600,00	4,45
6	FIN DE SEMANA				
7					
8	669,30	32,80	10,00	600,00	28,11
9	22,08	5,48	25,00	600,00	4,69
10	386,40	5,19	10,00	600,00	4,45
TOTAL					58,92

*MO (Materia Orgánica)

El resultado de 58,92 mg de CO₂/g MO obtenidos en 600 g de Tierra Negra se encuentra dentro del rango establecido en la NTE INEN 2640:2012 (50-150 mg de CO₂/g MO) esto evidencia que la cantidad de microorganismos y materia orgánica contenida en dicha cantidad de suelo, es suficiente para la producción de CO₂. De esta forma la relación 6:1 que se empleó para la determinación de la biodegradabilidad en los materiales plásticos será 600 g de inóculo y 100 g de material plástico [49].

3.4. Biodegradabilidad de polietileno de alta densidad con aditivos

En esta sección se presentan los resultados del porcentaje de biodegradabilidad obtenidos a partir de la generación de CO₂ tomando como referencia a la celulosa, con respecto a los valores teóricos de CO₂ y a la pérdida de masa de los materiales poliméricos.

3.4.1. Biodegradabilidad por generación de CO₂ en condiciones de compostaje aerobio

Los materiales plásticos y la celulosa sometidos a condiciones controladas de compostaje generaron CO₂ diariamente, como producto de su consumo por microorganismos presentes en la Tierra Negra que constituyó el inóculo para este ensayo.

La Figura 3.4 muestra el comportamiento de la cantidad acumulada de CO₂ generado por los materiales de ensayo y el inóculo.

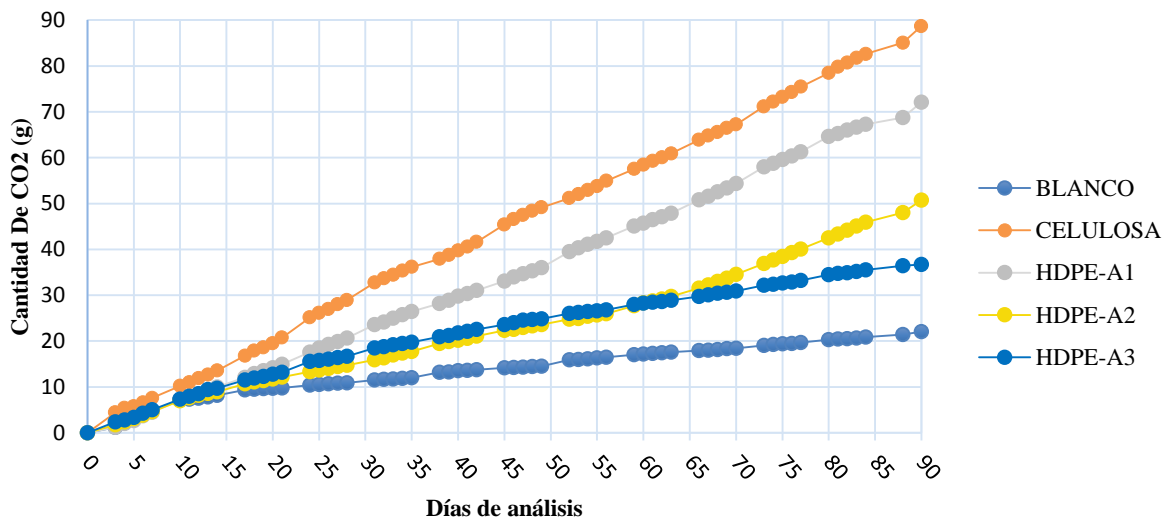


Figura 3.4 Cantidad de CO₂ generado por materiales de ensayo en función del tiempo

En el Figura 3.4 se aprecia que la curva con mayor pendiente es la correspondiente al control positivo del ensayo (celulosa) y muestra que las condiciones de compostaje garantizaron la biodegradación, también se observa que los materiales adoptan una tendencia a partir del día 17; el plástico con A1 empieza a producir CO₂ en mayor cantidad que el resto de muestras, pero menor que la celulosa, lo que indica que el aditivo inició el proceso de compostaje del HDPE; el material plástico A3 se ubica en la parte superior del material A2 hasta el día 60, en el que las curvas se intersectan debido a un incremento notable en la concentración de CO₂; de acuerdo con el proveedor, el aditivo A2 se activa en 60 días [61]. La curva del inóculo mantiene un comportamiento creciente, que es inferior a las curvas de los materiales plásticos y a la celulosa, lo cual indica que existe presencia de actividad microbiana durante los 90 días de ensayo.

3.4.2. Producción de CO₂ diaria.

La Figura 3.5 muestra la producción de CO₂ diaria de los materiales de ensayo. La Gráfica a. corresponde a la celulosa, las Gráficas b, c y d pertenecen a los materiales con aditivos A1, A2 y A3 respectivamente; la Gráfica e. indica la producción del Blanco (Inóculo).

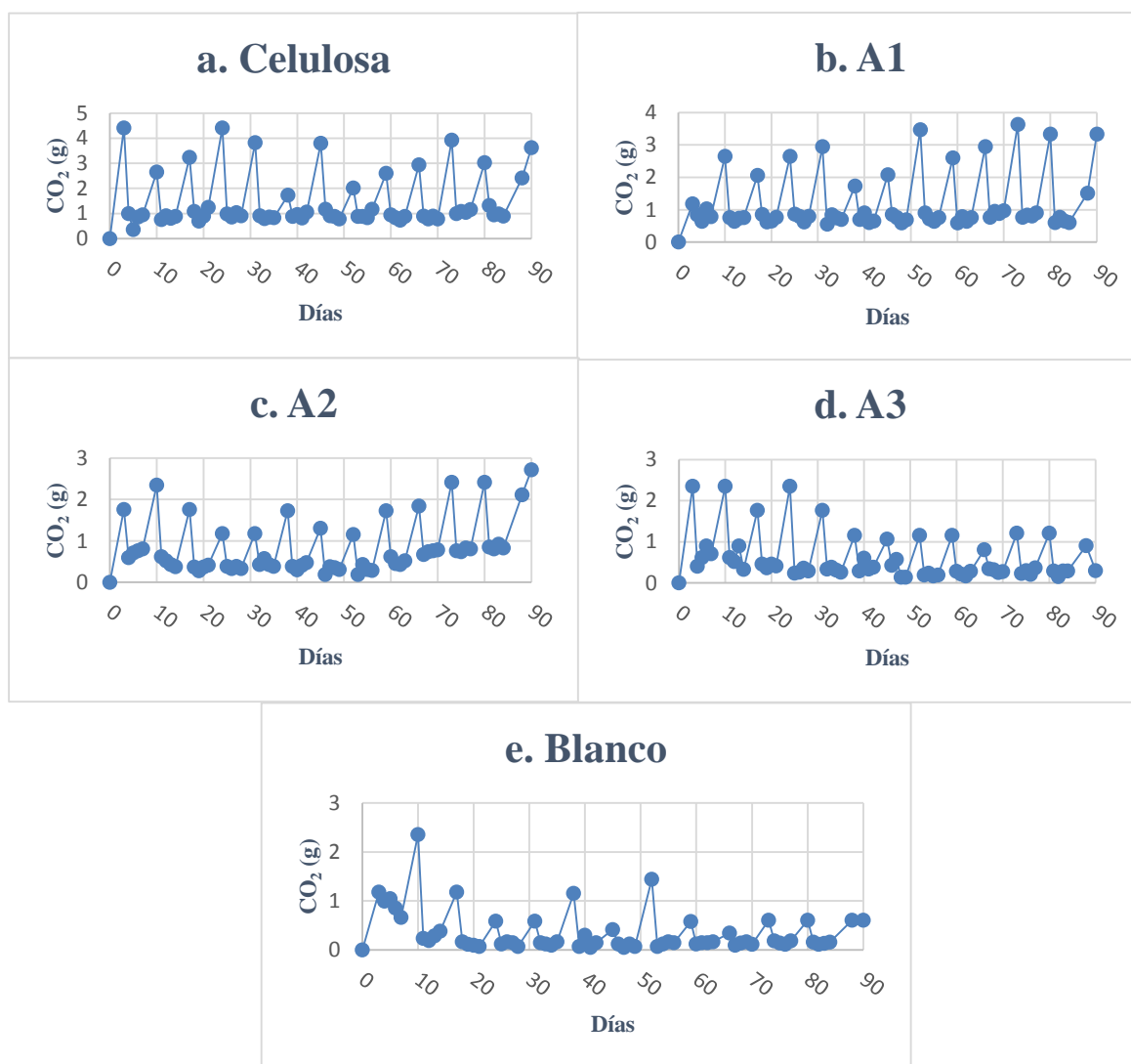


Figura 3.5 Producción diaria de CO₂

En el Figura 3.5 se observa que los materiales de ensayo muestran acumulación de CO₂ cada cuatro días (picos) esto se debe a que los fines de semana no se tituló diario pero se obtuvo un resultado acumulado de viernes a lunes. La Figura a. muestra que la celulosa mantiene un valor constante de alrededor de 1 g de CO₂ durante los días martes a viernes; en el caso de los materiales plásticos los valores de martes a viernes se encuentran bajo 1 g de CO₂, excepto el HDPE A2 (Figura c.) que a partir del día 60 muestra el incremento de producción de CO₂ diaria por la activación del aditivo; el blanco (Figura e.) muestra una formación de CO₂ menor con relación a los otros materiales, pero se mantiene constante durante el ensayo. Cada material de ensayo y el blanco presenta un incremento en la generación de CO₂ en las primeras semanas debido a que los microorganismos se encuentran en una de las fases de mayor consumo de oxígeno (respiración) liberando CO₂ al medio [9, 32].

3.4.3. Porcentaje de biodegradabilidad obtenido después del compostaje del polietileno de alta densidad

La Tabla 3.14 muestra los resultados de porcentaje de biodegradabilidad del HDPE, obtenidos al restar la cantidad de CO₂ generado por el blanco (22,05 g de CO₂) de los valores de CO₂ generados por los materiales de ensayo; luego se consideró que el valor de CO₂ generado por la celulosa (66,62 g de CO₂) corresponde al 100 % de biodegradabilidad y mediante regla de tres simple se obtuvo los porcentajes al que corresponden los resultados de las restas obtenidas.

Tabla 3.14 Biodegradabilidad de materiales plásticos con referencia a la celulosa en función de la cantidad de CO₂ generado en 90 días

Material de ensayo	CO₂ Acumulado (g)	Porcentaje de Biodegradabilidad (%)
HDPE A1	50,04	75
HDPE A2	28,70	43
HDPE A3	14,65	22

De acuerdo con la norma NTE INEN 2643:2012 “Especificación para plásticos compostables” los plásticos que presenten más del 60% de biodegradación con respecto al control positivo se consideran compostables [57]; por esta razón la muestra de HDPE con aditivo A1 es compostable a diferencia del HDPE con A2 y A3 ya que sus valores son de 43 y 22 % respectivamente, situación que se debe a la facilidad para biodegradarse que presenta el aditivo A1 , en vista de que el polímero es igual para los tres materiales [57,58 , 60, 61].

3.4.4. Porcentaje de biodegradabilidad con referencia al valor teórico

Los valores presentados en la Tabla 3.15 corresponden a los resultados experimentales obtenidos durante el ensayo y los valores teóricos obtenidos de la relación estequiométrica de descomposición del polietileno de alta densidad por combustión de acuerdo con la ecuación 1.1 [22].

Tabla 3.15. Biodegradabilidad para cada material de ensayo en función de la estequiometria de la reacción de descomposición de HDPE

Material de ensayo	CO₂ Acumulado Experimental (g)	CO₂ Teórico (g)	Porcentaje de Biodegradabilidad (%)
Celulosa	66,62	73,20	91
HDPE A1	50,04	69,87	72
HDPE A2	28,70	69,21	41
HDPE A3	14,65	69,67	21

Los resultados muestran que la cantidad de CO₂ acumulado experimental con respecto del CO₂ teórico, para la celulosa, equivalen al 91 % de biodegradabilidad, esto demuestra que el papel bond empleado como fuente de celulosa alcanza un valor elevado de degradación a pesar de no tratarse de celulosa al 100 %, por lo que se puede emplear como control positivo para los análisis de biodegradabilidad en condiciones de compostaje aerobio.

Con relación al HDPE con aditivos A2 y A3, se observa que los porcentajes de biodegradabilidad, obtenidos de la relación entre CO₂ acumulado experimental y el teórico son menores al 60 %, lo que significa que la acción del inóculo se ve afectada por la naturaleza del material a degradar y del aditivo, a diferencia de la celulosa y el HDPE A1. En este último, la presencia del aditivo A1 hace que el HDPE sea permeable, facilitando la acción de los microorganismos, a diferencia de los aditivos A2 y A3 [21, 22, 60, 61].

3.4.5. Biodegradabilidad por pérdida de peso

A continuación se presenta la Tabla 3.16 donde se encuentran los resultados de Biodegradabilidad por pérdida de peso al inicio y final del ensayo.

Tabla 3.16. Biodegradabilidad de los materiales ensayados por pérdida de peso

Materiales	Peso Inicial (±0.01 g)	Peso Final (±0.01 g)	Porcentaje de Biodegradabilidad por Pérdida de Masa
Celulosa	100,23	9,30	90,72 %
A1	100,45	30,01	70,12 %
A2	100,01	57,24	42,77 %
A3	100,04	79,04	20,99 %

De acuerdo con la Tabla 3.16 se observa que el HDPE con A1 fue la muestra plástica con mayor pérdida de peso, esto se debe a que gran parte del material fue transformado en CO₂ y biomasa ya que el aditivo provoca cambios en las propiedades del HDPE, lo cual permite que los microorganismos puedan consumir el material polimérico. Los valores de las muestras de HDPE con aditivos A2 y A3 poseen una pérdida menor de peso en comparación con A1, debido a que el proceso para el que están diseñados los dos aditivos es distinto a las condiciones proporcionadas por el compostaje, por esta razón se necesitan condiciones diferentes como la presencia de luz para su activación [5, 60, 61].

3.5. Ensayos finales en suelos

Al concluir el ensayo de biodegradabilidad de materiales plásticos en condiciones de compostaje aerobio, los suelos contenidos en cada recipiente se analizaron bajo los parámetros que indica la norma NTE INEN 2640:2012 y que se detallan a continuación [49].

3.5.1. Determinación de cenizas, materia orgánica y carbono orgánico total de los suelos después del compostaje

La Tabla 3.17 muestra los resultados de materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total de las muestras de ensayo después del compostaje.

Tabla 3.17. Materia orgánica, cenizas y carbono orgánico total en suelos después del compostaje

Muestras	Materia Orgánica (%)	Promedio Materia Orgánica (%)	CV (%)	Promedio Cenizas (%)	Promedio COT (%)
Blanco	18,52	18,67	4,19	81,33	15,59
	19,51				
	17,96				
Celulosa	17,46	17,58	1,46	82,42	14,68
	17,41				
	17,87				
HDPE-A3	16,04	16,05	2,16	83,95	13,40
	16,40				
	15,71				
HDPE-A1	16,98	16,98	1,37	83,02	14,18
	16,74				
	17,21				
HDPE-A2	14,99	15,00	1,17	85,00	12,52
	15,17				
	14,82				

Los resultados obtenidos muestran que el contenido de cenizas es superior al obtenido en la selección del inóculo el cual fue de 69,00 %, esto se debe a que los materiales plásticos y el papel poseen materia inorgánica como parte de sus constituyentes tales como pigmentos, estabilizantes, plastificantes entre otros, así también es necesario considerar la Figura 3.4 de generación de CO₂, el material con menor cantidad de CO₂ generado es el blanco, por lo que únicamente la materia

orgánica contenida en el recipiente del blanco fue mineralizada y el aporte de contenido de cenizas es menor con relación a los polímeros plásticos y a la celulosa [36, 43, 44].

Para obtener los valores de Carbono Orgánico Total se considera que la materia orgánica obtenida por calcinación, el 83,5 % proviene de la fracción de compuestos orgánicos que contiene un suelo de taxonomía Mollisol, por esta razón se consideró dicho porcentaje en la obtención de los resultados de la Tabla 3.17 [41].

3.5.2. Nitrógeno total y relación carbono/nitrógeno en suelos después del compostaje

La Tabla 3.18 contiene los resultados de nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno de los suelos antes y después de iniciado el ensayo de compostaje. El valor de carbono proviene del carbono orgánico total obtenido a partir de la determinación de materia orgánica.

Tabla 3.18 Relación carbono/nitrógeno en suelos compostados

Muestras	Contenido de Nitrógeno ($\pm 1,0$ mg/L)	Contenido de nitrógeno (g/Kg)	Porcentaje de nitrógeno (%)	C/N
*Inóculo antes del ensayo	135	6,75	0,68	38,34
Inóculo después del ensayo	88	4,40	0,44	35,42
Celulosa	115	5,75	0,58	25,53
HDPE - A1	110	5,50	0,55	25,77
HDPE - A2	95	4,75	0,48	26,36
HDPE -A3	99	4,95	0,50	27,08

*Muestra de tierra negra (inóculo) antes de iniciar el ensayo de compostaje

Los resultados muestran que el valor inicial del contenido de nitrógeno en el inóculo es superior a las muestras después del compostaje, esto se debe a que durante la biodegradación por efecto de microorganismo presentes en el inóculo, hay una transformación del carbono disponible a CO₂ provocando la reducción de la relación C/N, también se evidencia que el valor de Nitrógeno Total se reduce por efecto de la biodegradación [32, 33, 35, 36].

El resultado obtenido de la relación de C/N antes del ensayo cumple con el rango de 10 a 40 mencionado en la norma NTE INEN 2640:2012; al final del ensayo el valor alcanzado fue de 35,42 que evidencia el proceso de degradación de la materia orgánica contenida en el inóculo puesto que existe una disminución de la relación C/N.

3.5.3. Determinación de pH en suelos después del compostaje

La Tabla 3.19 muestra los valores de pH en suelos después del compostaje y el criterio de aceptación de acuerdo con la norma NTE INEN 2640:2012 [49].

Tabla 3.19. pH en suelos después del compostaje

Materiales	pH	Criterio de Aceptación pH>7,0
Blanco	7,7	Cumple
Celulosa	8,1	Cumple
A1	8.0	Cumple
A2	7,8	Cumple
A3	7,7	Cumple

Los resultados obtenidos de pH en suelos fueron satisfactorios ya que al poseer un pH mayor a 7 indica que la prueba no presentó formación significativa de ácidos grasos, que pueden invalidar el ensayo, es conveniente mencionar que los ácidos grasos volátiles pueden reaccionar con KOH de las trampas de CO₂ y provocar un falso positivo [5, 49].

3.6. Control de temperatura

De acuerdo con la norma NTE INEN 2640:2012 la temperatura de compostaje se debe mantener en 58 ± 2 °C. A continuación se presenta el Figura 3.6 el control diario de temperatura durante el período de ensayo [49].

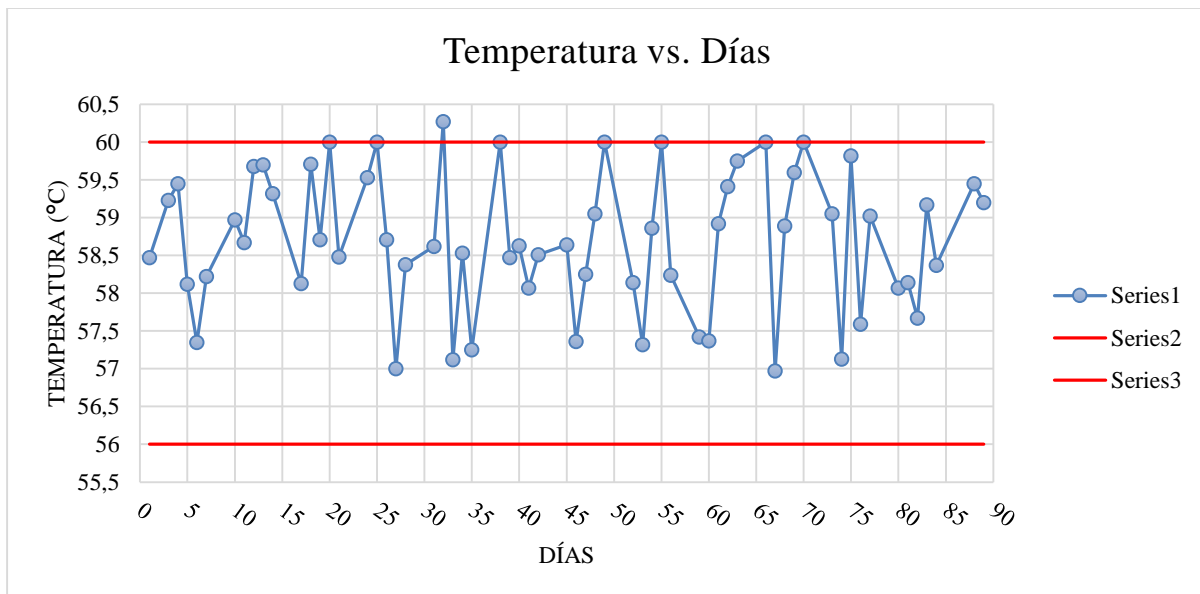


Figura 3.6 Control de temperatura

En el Figura 3.6 se aprecia que el valor máximo alcanzado en temperatura del sistema es 60,27 °C y el valor mínimo es 56,97 °C, éste rango de temperatura permitió que las condiciones de

compostaje aseguren el crecimiento de microorganismos termófilos, que sobreviven a temperaturas de 50 a 60 °C y son los encargados de degradar materiales poliméricos como la celulosa, así se garantiza que durante los 90 días de ensayo los materiales poliméricos se encuentren en un ambiente con microorganismos degradadores [9, 32, 33].

3.7. Análisis de resultados después del compostaje

La Figura 3.7 muestra los resultados en porcentaje de cenizas, MO, TOC, nitrógeno total en los suelos de cada material polimérico después del compostaje, así también se encuentran los porcentajes de biodegradabilidad obtenidos por generación de CO₂, pérdida de peso y de acuerdo a los valores de CO₂ que puede generar cada material.

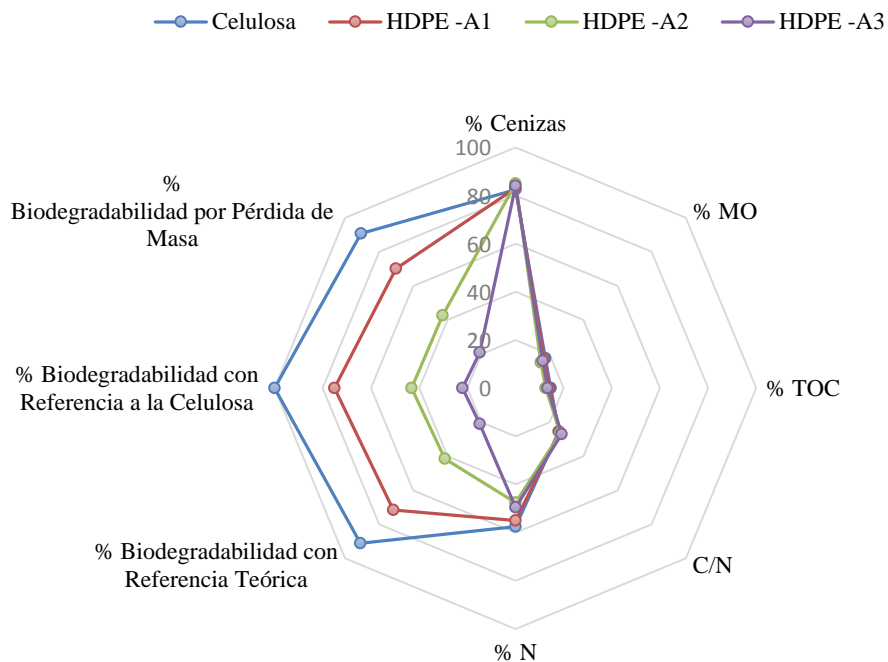


Figura 3.7 Resultados de materiales poliméricos después del compostaje

De acuerdo con la Figura 3.7 el HDPE A1 es el material con mayor porcentaje de biodegradabilidad al compararlo con HDPE A2 y A3, así también es el material con menor relación carbono nitrógeno esto se debe a que en un proceso de degradación, la relación disminuye debido a la mineralización del carbono en CO_2 produciendo una reducción del contenido de carbono en el inóculo. En la Figura 3.7 también se aprecia que el porcentaje de biodegradabilidad de los materiales poliméricos ensayados mantienen un orden de acuerdo con el valor de dicho porcentaje, este orden es independiente de la obtención de resultados para el cálculo del porcentaje de biodegradabilidad, ya que los tres valores provienen de la ruptura de las cadenas del material polimérico y posterior consumo por microorganismos, así el carbono se transforma en CO_2 , que es capturado por las trampas de KOH y se provoca la pérdida de masa del material. Los valores del contenido de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico total y la relación

carbono nitrógeno son similares en todos los materiales poliméricos esto se debe a que en los cuatro sistemas las condiciones de compostaje aerobio se aproximaron y el aporte de compuestos al suelo por parte de los materiales de ensayo es bajo [4, 36, 43, 44, 60, 61].

En la Figura 3.8 se encuentra la comparación de los resultados obtenidos al inicio del ensayo y al final para el blanco (inóculo).

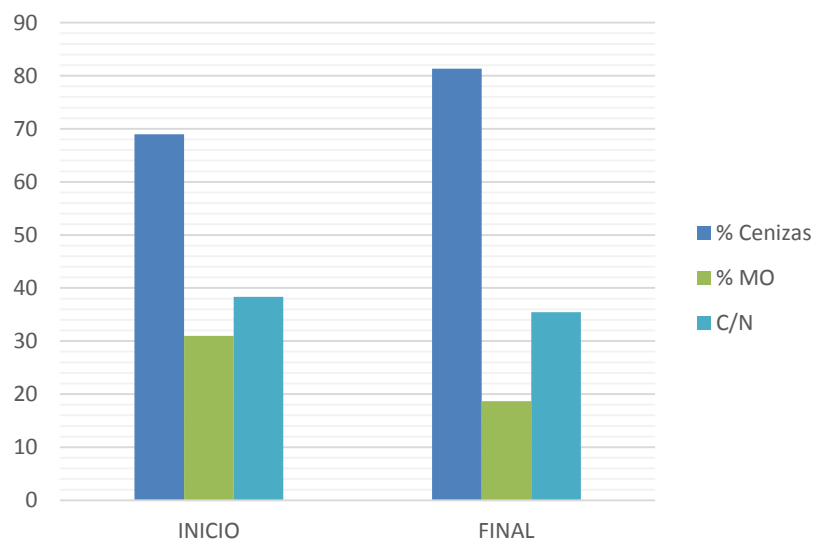


Figura 3.8 Porcentaje de cenizas, MO y relación de C/N en el blanco

La Figura 3.8 muestra que al incrementar el contenido de cenizas, el contenido de materia orgánica disminuye, al igual que la relación carbono nitrógeno. Esto se debe a que el proceso de descomposición estuvo enfocado en la transformación del carbono en CO_2 por efecto microbiano; la relación carbono nitrógeno es un indicativo en un proceso de degradación, puesto que la pérdida de carbono como CO_2 muestra que los microorganismos usan el carbono para generación de energía y componentes biológicos [43-45].

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

- El HDPE con aditivos A1, A2 y A3 mostraron contener alrededor del 2 % de cenizas al someterlos a una temperatura de 550 °C; en el caso de la celulosa presentó un contenido de 1,84 % de cenizas.
- Los materiales de HDPE con aditivos A1, A2 y A3 tienen una baja afinidad con la humedad del ambiente, se obtuvo valores de 1,42, 1,24 y 1,32 %, respectivamente para cada material; la celulosa mostró mayor afinidad con un valor de 2,02 %.
- Las pruebas para establecer el tiempo de saturación de las trampas de CO₂ con soluciones de NaOH y KOH 0,1 M, mostraron que la solución con KOH 0,1 M es más efectiva para captar CO₂ del ambiente y del sistema de compostaje; la trampa de KOH 0,5 M no presentó saturación durante un período de 72 h, por lo que se empleó ésta concentración en los períodos más largos de captación como los fines de semana.
- El estudio de eficiencia para las trampas de KOH 0,1 M y 0,5 M, conectadas en serie con trampas de las mismas características, reveló que la totalidad de CO₂ se retenía en la primera trampa para cada concentración por lo que no existió interferencia del CO₂ ambiental y tampoco hubo pérdida de CO₂ del sistema de compostaje.
- El suelo empleado como inóculo fue un Mollisol colectado en la parroquia Pifo, con pH 7,6, contenido de cenizas 69,00 %, materia orgánica 30,99 %, humedad 28,96

%, carbono orgánico total 25,88 %, nitrógeno total 6,75 g/Kg y relación C/N 38,34; éstos resultados cumplieron con los criterios que dispone la norma NTE INEN 2640:2012 para selección del inóculo, en el caso del contenido de humedad se ajustó con 126 mL de agua destilada para alcanzar el 50 % de humedad requerida; así también el suelo fue sometido a una prueba de 10 días en condiciones de compostaje aerobio, en la que 600 g de suelo generaron 58,92 mg CO₂/g MO, dando cumplimiento con el criterio de 50 a 150 mg CO₂/g MO.

- Los resultados obtenidos de la prueba de generación de CO₂ producido por los materiales poliméricos en un periodo de 90 días mostró que el HDPE con A1 generó 72,09 g de CO₂, A2 y A3 produjeron 50,76 g y 36,70 g de CO₂ en 100 g de plástico respectivamente, la celulosa 88,67 g de CO₂ en 100 g de celulosa y el blanco 22,05 g en 600 g de suelo; así el material con mayor generación de CO₂ es la celulosa seguida de HDPE A1.
- Al transcurrir 60 días de ensayo el HDPE A2 superó la generación de CO₂ al HDPE A3, mostrando que el aditivo fue activado por efecto de la temperatura y la aireación.
- El inóculo se mantuvo con actividad microbiana durante los 90 días de estudio, esto se evidencia en la producción diaria de CO₂ y la celulosa al tratarse del material con mayor generación, mostró que las condiciones de compostaje garantizaron la biodegradación.
- La producción de CO₂ diaria demostró la acumulación de CO₂ en los fines de semana, la celulosa mantuvo un valor constante de producción alrededor de 1g de CO₂; así también los materiales de HDPE con A1 y A3 mantienen valores

constantes bajo 1 g de CO₂ pero el HDPE A2 incrementó su producción a partir del día 60.

- Los porcentajes de biodegradabilidad obtenidos de los materiales de HDPE A1, A2 y A3, al tomar como referencia del 100 % a la celulosa, fueron de 75 % para HDPE A1, 43 % HDPE A2 y 22 % HDPE A3; de acuerdo con la norma NTE INEN 2643:2012 “Especificación para plásticos compostables” los plásticos que presenten más del 60 % de biodegradación con respecto al control positivo se consideran compostables, por lo que HDPE con A1 es compostable; los materiales con A2 y A3 no son considerados compostables.
- Los porcentajes de biodegradabilidad obtenidos de los materiales de HDPE con A1, A2, A3 y celulosa, al comparar con la cantidad de CO₂ que pueden generar teóricamente, fueron de 91 % para la celulosa, 72 % HDPE A1, 41 % A2 y 21 % A3.
- Los porcentajes de biodegradabilidad de los materiales de HDPE con A1, A2, A3 y celulosa, obtenidos de la pérdida de masa fue del 90,72 % para la celulosa, 70,12% HDPE con A1, 42,77% HDPE con A2 y 20,99 % HDPE con A3.
- Al finalizar el estudio, se analizaron los suelos contenidos en cada recipiente y los resultados mostraron que existió una reducción de la relación C/N, confirmando el proceso de degradación, los valores del contenido de cenizas obtenidos revelaron un incremento con relación a los valores iniciales, lo que indica un aporte de material inorgánico de los HDPE aditivados y la celulosa; el contenido de materia orgánica y carbono orgánico total se redujo al final del compostaje evidenciando que el carbono disponible en el sistema fue mineralizado en CO₂.

5. RECOMENDACIONES

- Para el estudio de biodegradabilidad de polímeros plásticos se recomienda que se efectúen curvas de crecimiento de microorganismos para establecer con mayor precisión el consumo de nutrientes y proporcionarlos al inóculo en caso de necesitarlos.
- Efectuar una caracterización microbiológica del inóculo para asegurar que los microorganismos encargados de la biodegradación se mantengan durante el proceso de compostaje.
- Se recomienda profundizar la eficiencia de la biodegradabilidad del HDPE con aditivo A1, efectuando réplicas del material.
- Para asegurar la biodegradabilidad del HDPE con aditivo A1 es conveniente realizar estudios en condiciones distintas (anaerobias, simulación de rellenos, etc) y establecer tiempos menores de biodegradabilidad.
- Es conveniente que el valor de la relación C/N considere al material polimérico como fuente de carbono y el rango establecido por la norma NTE INEN 2640:2012 de 10 a 40 incluya al inóculo de compostaje porque la cantidad de carbono del polímero puede provocar inmovilización del nitrógeno.
- Realizar pruebas de germinación en los suelos empleados en el estudio de biodegradabilidad por compostaje y establecer la fitotoxicidad.
- Se recomienda efectuar caracterizaciones químicas de los polímeros plásticos a lo largo del estudio para evaluar la biodegradabilidad química de las muestras.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. El Telégrafo (2015), *La industria plástica produce al menos \$ 418 millones al año*, <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-industria-plastica-produce-al-menos-418-millones-al-ano>, 12 de enero del 2016.
- [2]. Ecuador al día (2014), *Ecuador produjo más de 1.400 millones de botellas plásticas en 2013*, <http://www.ecuadoraldia.com.ec/blog/2014/05/17/ecuador-produjo-mas-de-1-400-millones-de-botellas-plasticas-en-2013/>, 12 de enero del 2016.
- [3] Acuerdo ministerial 061 (2015), *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente*.
- [4]. Jan C. (2005), *Additives in Polymers*, John Wiley & Sons, Inglaterra, pp. 2- 5
- [5]. Posada B. (2012) La degradación de los plásticos, *Universidad Eafit*, Volumen 30, Número 94, pp. 67-86.
- [6] ASTM Standard D6954 (2004), *“Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation”*, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D6954-04, www.astm.org.
- [7] Polinter (2010), *Métodos para medir la biodegradación*, http://www.polinter.com.ve/publicaciones/boletines/guia_estandar_para_la_exposicion_y_pruebas_de_plasticos_biodegradables.pdf, 11 de julio 2016
- [8]. Casco J. (2008), *Compostaje*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 81
- [9]. FAO (2003), *“On-farm Composting Methods”* FAO, Rome, pp. 3-19

- [10]. Selke S., Auras R. (2015), *Evaluation of Biodegradation-Promoting Additives for Plastics*, *Environmental Science and Technology*, American Chemical Society Publications, Volumen 49, pp. 3769-3777
- [11]. López J. (2008), *Informe sobre biodegradabilidad aeróbica de envases plásticos bajo condiciones de compostaje*, Proyecto de Análisis de Bioplásticos, Universidad Politécnica de Valencia, pp. 31
- [12]. Sandoval M. (2014) *Estudio de la biodegradación de bolsas oxo-biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana*, Proyecto de grado de ingeniería ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito-Ecuador, pp. 58
- [13] Sinche L. (2012), *Estudio de la degradación de polímeros oxo-biodegradables*, *Proyecto de Tesis de Ingeniería Química*, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, pp. 113
- [14]. Baird, C. (2014), *Química Ambiental*, 2da. ed., Reverté, Barcelona, España, pp. 711
- [15]. Ortuño A. (1994), *Introducción a la Química Industrial*, Reverté, Barcelona, España, pp. 350-351.
- [16]. Billmeyer, F. (2004), *Ciencia de los Polímeros*, Reverté, Barcelona, España, pp. 385-386.
- [17]. Malpass B. (2010), *Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, and Processes*, Scrivener, Estados Unidos, pp 2-5
- [18]. Callister W. (2007), *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales 2*, Reverté, Buenos Aires, Argentina, pp. 472-474.
- [19]. Bilurbina L. (1990), *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*, Marcombo S. A., España pp. 25

- [20]. Peacock A. (2000), *Handbook of Polyethylene: Structures, Properties and Application*, Marcel Dekker, pp. 1-3.
- [21]. Ibeh C. Christopher (2011), *Thermoplastic Materials: Properties, Manufacturing Methods and Applications*, Editorial Taylor & Francis, Estados Unidos, pp. 165
- [22]. Friedman R. (2009), *Principles of Fire Protection Chemistry and Physics*, Jones and Bartlett Publishers, Tercera Edición, Estados Unidos, pp. 38
- [23]. Klyosov A. (2007), *Wood-Pastic Composites*, Editorial JHohn Willy & Sons, Estados Unidos, pp 500.
- [24]. Albert L. (1995) *Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos*, <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-01a4.pdf>, 18 de noviembre de 2016
- [25] Capuz S. y Gómez T. (2002), *Ecodiseño: Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, Universidad Politécnica de Valencia, España, pp. 111.
- [26]. Cabildo M. (2008), *Reciclado Y Tratamiento de Residuos*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid España, Tema 10.2
- [27]. Nudelman N. (2004), *Química Sustentable*, Ediciones UNL, Argentina, pp. 105
- [28]. Janssen L. y Moscicki L. (2009) *Thermoplastic Starch*, WILEY-VCH, Alemania, pp. 1, 2
- [29] Ammala A. (2011), An overview of degradable and biodegradable polyolefins, *Progress in polymer science*, Volumen 36, Número 8, Estados Unidos pp 1015-1049
- [30] Emo Chiellini and Roberto Solaro(2003),*Biodegradable Polymers and Plastics*, University Pisa, Pisa-Italia, 23, 24

- [31] San Andrés M. (2010), *Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en conservación: primeros resultados*,
<http://ccfib.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf>, 23 de enero de 2017.
- [32]. Román P. y Martínez M. (2013) *Manual de compostaje del agricultor*, Experiencias en América Latina, Santiago de Chile, pp. 23-30
- [33]. Eldor P. (2007), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, Elsevier Inc., Tercera Edición, Reino Unido, pp 43, 329,483-485
- [34]. Eyherabide M. y Hernán S. (2014), Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo, *Cienc. Suelo*, vol.32 no.1, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- [35]. Kalil P. (2007), *Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado*, Proyecto de grado Microbiología Industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C, pp17
- [36]. Ribó H. (2004), *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, España, pp. 36, 37.
- [37]. Martínez S., Faz A., Acosta J.A. (2009), *Contenido en carbono orgánico como indicador del proceso de desertificación en suelos desarrollados de material parental volcánico en la Región de Murcia*, Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, pp. 327.
- [38]. Aggarwal P. (2003), Bed planting System for increasing water use efficiently of wheat grown on Inceptisol, *Indian J. Agric. Sci.*, vol. 73, No. 8, India, pp. 422-425

- [39]. Acevedo E. (2003), *Agronomía de la cero labranza*, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agrícolas, N° 10, pp. 132
- [40]. Douglas W. (2010), *A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor*, Department of Soil, Water, Climate, University of Minnesota, United States, Elsevier B.V., pp75-78.
- [41]. Carreira, D., (2011), “*Cuantificación de la Materia Orgánica del suelo. Método de WALKLEY & BLACK*”, Jornadas de actualización: Gestión de la calidad en los laboratorios de análisis de suelos agropecuario, SAMLA- PROINS, RILSAV, Argentían.
- [42]. Navarro Ginés (2013), *Química Agrícola*, Ediciones Mundi-Prensa, tercera edición, España, pp. 115
- [43]. Dixon R. (2010) *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*, Springer Science, New York, pp. 61-63, 72.
- [44]. Thomson M. (2002) *Los suelos y su fertilidad*, Editorial Reverté, Cuarta Eedición, España, pp. 308, 309
- [45]. Solis N. (2000), *Fundamentos de Edafología*, Editorial EUNED, San José Costa Rica, pp. 120, 121.
- [46] Quiros O. (2015), *Análisis Volumétrico Determinación de la alcalinidad por el método volumétrico*, Instituto de Costa Rica, Cartago, pp. 1, 2
- [47] Sacrone C. (1996), *Determinación de alcalinidad*, Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes, pp. 101112 1-101112 3
- [48]. Sierra C. (2013), *Análisis Volumétricos- Alcalinidad*, Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas, Colombia, pp. 28-32

- [49]. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2640:2012 *Método de Ensayo para Determinar la Biodegradabilidad Aeróbica de Materiales Plásticos Bajo Condiciones Controladas de Compostaje*.
- [50]. ASTM Standard D 4959 (2016), “*Standard Test Method for Determination of Water Content of Soil By Direct Heating*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D4959-16, www.astm.org.
- [51]. ASTM Standard D 2974 (2016), “*Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D2974-14, www.astm.org
- [52]. APHA, AWWA and WEF Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, (2005), 21 ed., American Public Health Association, Washington, D.C. Alkalinity Method 2320 B, pp. 2-34,2-35, 2-36.
- [53]. Manahan S (2007), *Introducción a la Química Ambiental*, Editorial Reverté, España, pp. 43-48
- [54]. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2012), Provincia de Pichincha Mapa de Suelos – Taxonomía, Coordinación General del Sistema de Información Nacional – CGSIN, escala 1: 250000. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- [55] ASTM Standard D 4972 (2016), “*Standard Test Method for pH of Soils*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D4972, www.astm.org
- [56] HACH 10072 (2005), *Test de Nitrógeno Total rango alto*, HACH Company, Alemania.
- [57]. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2642:2013, *Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica en el suelo de los materiales plásticos o de materiales plásticos residuales después de compostaje*.

[58]. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2643:2012, *Especificaciones para Plásticos Compostables*.

[59]. Babor J. e Ibarz J. (1983), *Química general moderna*, Editorial Marín S. A., 8 va. Edición, Barcelona, pp. 492, 696, 692

[60]. ECOLOGIC, *Technical Overview*, www.ecologic-llc.com, 16 de enero del 2016.

[61]. Symphony Enviromental, *Hoja Técnica*, www.degradable.net, 16 de enero del 2016

[62]. SCA (2010), *Fabricación de papel*
http://www.sca.com/global/publicationpapers/pdf/brochures/papermaking_es.pdf, 16 de abril del 2016.

ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS PRELIMINARES EN MATERIALES POLIMÉRICOS

Tabla A.1 Contenido de cenizas y materia orgánica en materiales poliméricos

Materiales	Peso de los Crisoles (±0.0001 g)	Peso Final (±0.0001 g)	Peso de las Muestras (±0.0001 g)	Materia Orgánica (%)	Promedio (%)	Cenizas (%)	Promedio (%)
HDPE-A1	36,8434	36,8453	0,0843	97,75	98,45	2,25	1,55
	37,5763	37,5774	0,0835	98,68		1,32	
	36,8487	36,8496	0,0835	98,92		1,08	
HDPE-A2	41,6894	41,6917	0,0535	95,70	97,53	4,30	2,47
	36,3357	36,3372	0,0545	97,25		2,75	
	38,6992	38,6994	0,0547	99,63		0,37	
HDPE-A3	39,6022	39,6034	0,0548	97,81	98,17	2,19	1,83
	38,3896	38,3902	0,0569	98,95		1,05	
	37,4226	37,4238	0,0533	97,75		2,25	
Celulosa	37,2459	37,2467	0,0547	98,54	98,16	1,46	1,84
	36,2466	36,2472	0,0536	98,88		1,12	
	36,1593	36,1608	0,0512	97,07		2,93	

Tabla A.2 Contenido de humedad en materiales poliméricos

Materiales	Peso de los Crisoles (±0.0001 g)	Peso Final (±0.0001 g)	Peso de las Muestras (±0.0001 g)	Humedad (%)	Promedio (%)
HDPE-A1	74,6531	74,8074	0,1564	1,34	1,42
	75,3261	75,4902	0,1665	1,44	
	73,1546	73,2891	0,1365	1,47	
HDPE-A2	72,1563	72,3413	0,1874	1,28	1,24
	75,1652	75,3262	0,1632	1,35	
	75,3621	75,5143	0,1539	1,10	
HDPE-A3	76,2164	76,3171	0,1021	1,37	1,32
	74,3261	74,4314	0,1065	1,13	
	73,5632	73,6652	0,1035	1,45	
Celulosa	74,3651	74,5242	0,1624	2,03	2,02
	72,3651	72,4665	0,1036	2,12	
	75,6942	75,8858	0,1953	1,89	



Figura A.6.1 Muestra de HDPE con aditivo A1



Figura A.6.2 Muestra de HDPE con aditivo A2



Figura A.6.3 Muestra de HDPE con aditivo A3



Figura A.6.4 Cenizas de materiales plásticos y celulosa

ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRAMPAS DE CO₂

Tabla A.3 Trampa de NaOH 0,1 M

Volumen Fenolf. ($\pm 0,05$ mL)	Volumen VBC ($\pm 0,05$ mL)	Alcalinidad Fenolf. K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad VBC K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad Total K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K_2CO_3 (g/L)	Volumen Muestra ($\pm 0,003$ mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos $KHCO_3$ (mg/L)	Horas (h)
10,20	0,10	7038,00	69,00	7107,00	6969,00	138,00	10,0	0,00	12
6,70	1,20	4623,00	828,00	5451,00	3795,00	1656,00	10,0	0,00	24
7,70	2,00	5313,00	1380,00	6693,00	3933,00	2760,00	10,0	0,00	36
7,20	2,10	4968,00	1449,00	6417,00	3519,00	2898,00	10,0	0,00	48
7,30	3,10	5037,00	2139,00	7176,00	2898,00	4278,00	10,0	0,00	72

Tabla A.4 Trampa de KOH 0,1 M

Volumen Fenolf. ($\pm 0,05$ mL)	Volumen VBC ($\pm 0,05$ mL)	Alcalinidad Fenolf. K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad VBC K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad Total K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K_2CO_3 (g/L)	Volumen Muestra ($\pm 0,003$ mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos $KHCO_3$ (mg/L)	Horas (h)
6,20	0,70	4278,00	483,00	4761,00	3795,00	966,00	10,0	0,00	12
5,00	1,90	3450,00	1311,00	4761,00	2139,00	2622,00	10,0	0,00	24
4,60	2,90	3174,00	2001,00	5175,00	1173,00	4002,00	10,0	0,00	36
4,20	3,70	2898,00	2553,00	5451,00	345,00	5106,00	10,0	0,00	48
3,90	4,50	2691,00	3105,00	5796,00	0,00	5382,00	10,0	414,00	72

Tabla A.5 Trampa de KOH 0,5 M

Volumen Fenolf. ($\pm 0,05$ mL)	Volumen VBC ($\pm 0,05$ mL)	Alcalinidad Fenolf. K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad VBC K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad Total K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K_2CO_3 (g/L)	Volumen Muestra ($\pm 0,003$ mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos $KHCO_3$ (mg/L)	Horas (h)
4,30	0,40	5934	552	6486	5382	1104	5	0	12
3,00	0,80	4140	1104	5244	4140	1932	5	0	24
3,40	0,90	4692	1242	5934	3312	2208	5	0	36
3,00	1,30	4140	1794	5934	2346	3588	5	0	48
3,00	1,30	4140	1794	5934	1932	4140	5	0	72

Tabla A.6 Prueba de eficiencia KOH 0,1 M

Soluciones	Volumen Fenolf. ($\pm 0,05$ mL)	Volumen VBC ($\pm 0,05$ mL)	Alcalinidad Fenolf. K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad VBC K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad Total K_2CO_3 (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K_2CO_3 (g/L)	Volumen Muestra ($\pm 0,003$ mL)	Alcalinidad por Bicarbonatos $KHCO_3$ (mg/L)
Trampa 1	3,85	0,85	5313	1173	6486	4140	2346	5	0
	3,9	0,9	5382	1242	6624	4140	2484	5	0
	3,8	0,85	5244	1173	6417	4071	2346	5	0
Trampa 2	4,6	0	6348	0	6348	6348	0	5	0
	4,6	0	6348	0	6348	6348	0	5	0
	4,65	0	6417	0	6417	6417	0	5	0
Trampa 3	4,6	0	6348	0	6348	6348	0	5	0
	4,65	0	6417	0	6417	6417	0	5	0
	4,65	0	6417	0	6417	6417	0	5	0

Tabla A.7 Prueba de eficiencia KOH 0,5 M

Soluciones	Volumen Fenolf. (±0.05 mL)	Volumen VBC (±0.05 mL)	Alcalinidad Fenolf. K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad VBC K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.003 mL)	Alcalinidad por bicarbonatos KHCO₃ (mg/L)
Trampa 1	8,50	1,50	29325,00	5175,00	34500,00	24150,00	10350,00	2,0	0,00
	8,55	1,05	29497,50	3622,50	33120,00	25875,00	7245,00	2,0	0,00
	8,50	1,50	29325,00	5175,00	34500,00	24150,00	10350,00	2,0	0,00
Trampa 2	9,80	0,00	33810,00	0,00	33810,00	33810,00	0,00	2,0	0,00
	9,85	0,00	33982,50	0,00	33982,50	33982,50	0,00	2,0	0,00
	9,80	0,00	33810,00	0,00	33810,00	33810,00	0,00	2,0	0,00
Trampa 3	9,80	0,00	33810,00	0,00	33810,00	33810,00	0,00	2,0	0,00
	9,85	0,00	33982,50	0,00	33982,50	33982,50	0,00	2,0	0,00
	9,85	0,00	33982,50	0,00	33982,50	33982,50	0,00	2,0	0,00



Figura A.6.5 Trampas conectadas en serie de KOH



Figura A.6.6 Sistema de titulación de soluciones de KOH

ANEXO 3. ENSAYOS PARA LA SELECCIÓN DEL INÓCULO

Tabla A.8 Determinación del contenido de humedad en suelos

Suelos	Peso de la Cápsula (± 0.0001 g)	Peso Inicial (± 0.0001 g)	Peso Final (± 0.0001 g)	Peso de las Muestras (± 0.0001 g)	Humedad (%)	Promedio (%)
Champiñones	36,8416	38,8473	37,899	2,0057	47,28	47,03
	39,6021	41,6099	40,6768	2,0078	46,47	
	37,5892	39,5986	38,6472	2,0094	47,35	
Tierra Negra	38,3126	40,3184	39,7281	2,0058	29,43	28,97
	38,6862	40,6949	40,1133	2,0087	28,95	
	39,5236	41,5283	40,9566	2,0047	28,52	
Compost 2	38,3513	40,3531	39,7215	2,0018	31,55	32,05
	37,2165	39,2189	38,5463	2,0024	33,59	
	36,5132	38,5147	37,8941	2,0015	31,01	

Tabla A.9 Determinación de materia orgánica y cenizas

Suelos	Peso de los Crisoles (± 0.0001 g)	Peso Final (± 0.0001 g)	Peso de las Muestras (± 0.0001 g)	Materia Orgánica (%)	Promedio (%)	Cenizas (%)	Promedio (%)	COT
Champiñones	36,8416	37,2836	1,0574	58,20	59,53	41,80	40,47	49,71
	39,6021	40,0208	1,0747	61,04		38,96		
	37,5892	38,0193	1,0580	59,35		40,65		
Tierra Negra	38,3126	39,2896	1,4155	30,98	30,99	69,02	69,00	25,88
	38,6862	39,689	1,4271	29,73		70,27		
	39,5236	40,494	1,4330	32,28		67,72		
Compost 2	38,3513	39,5364	1,3702	13,51	32,54	86,49	67,46	27,17
	37,2165	38,1589	1,3298	29,13		70,87		
	36,5132	37,1348	1,3809	54,99		45,01		

Tabla A.10 Ensayo de 10 días bajo condiciones de compostaje aerobio con 300 g de suelo

Día	Volumen Fenolf. (±0.1 mL)	Volumen VBC (±0.1 mL)	Alcalinidad Fenolf. K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad VBC K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0,03 mL)	Masa Suelo (±0.01 g)	CO₂ por gramo de Materia Orgánica (mgCO₂/gMO)
1	21,6	0,1	4769,3	22,1	4791,4	4747,2	0,04	25,0	300,00	0,08
2	7,9	0,2	4360,8	110,4	4471,2	4250,4	0,22	10,0	300,00	0,38
3	7,8	0,3	4305,6	165,6	4471,2	4140,0	0,33	10,0	300,00	0,57
4	7,6	0,5	4195,2	276,0	4471,2	3919,2	0,55	10,0	300,00	0,95
5	7,2	1	3974,4	552,0	4526,4	3422,4	1,10	10,0	300,00	1,89
6	FIN DE SEMANA									
7										
8	23,7	1,3	31724,8	8700,9	40425,7	23023,9	17,40	5,0	300,00	29,83
9	19,2	2,1	4239,4	463,7	4703,0	3775,7	0,92	25,0	300,00	1,59
10	8,4	0,2	4636,8	110,4	4747,2	4526,4	0,22	10,0	300,00	0,38
									Total	35,28

Tabla A.11 Ensayo de 10 días bajo condiciones de compostaje aerobio con 600 g de suelo

Día	Volumen Fenolf. (±0.1 mL)	Volumen VBC (±0.1 mL)	Alcalinidad Fenolf. K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad VBC K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg/L)	Alcalinidad por KOH (mg/L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g/L)	Volumen Muestra (±0.03 mL)	Masa Suelo (±0.01 g)	CO₂ por gramo de Materia Orgánica (mgCO₂/gMO)
1	12,7	12,5	2804,2	2760	5564,2	44,2	5,5	25,0	600,00	4,7
2	6,0	4,6	3312,0	2539,2	5851,2	772,8	5,1	10,0	600,00	4,4
3	6,8	4,1	3753,6	2263,2	6016,8	1490,4	4,5	10,0	600,00	3,9
4	6,3	4,5	3477,6	2484	5961,6	993,6	4,9	10,0	600,00	4,3
5	5,8	4,7	3201,6	2594,4	5796,0	607,2	5,2	10,0	600,00	4,5
6	FIN DE SEMANA									
7										
8	5,1	4,9	17067,2	16397,85	33465,0	669,3	32,8	10,0	600,00	28,1
9	12,5	12,4	2760,0	2737,92	5497,92	22,1	5,5	25,0	600,00	4,7
10	5,4	4,7	2980,8	2594,4	5575,2	386,4	5,2	10,0	600,00	4,5
									Total	58,92

ANEXO 4. BIODEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD MEDIANTE
COMPOSTAJE

Tabla A.12 Volúmenes de titulación de las trampas de CO₂ para el blanco de ensayo

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (±0.05mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (±0.05 mL)
3	29/09/2014	0,5	1,07	1,75	1,75	1,75	1,75	0,20	0,20	0,20	0,20
4	30/09/2014	0,1	1,08	5,70	5,65	5,75	5,70	4,20	4,25	4,15	4,20
5	1/10/2014	0,1	1,08	2,70	2,75	2,65	2,70	2,20	2,15	2,25	2,20
6	2/10/2014	0,1	1,08	3,25	3,25	3,25	3,25	1,80	1,80	1,80	1,80
7	3/10/2014	0,1	1,08	3,55	3,55	3,55	3,55	1,40	1,40	1,40	1,40
10	6/10/2014	0,5	1,07	1,55	1,60	1,50	1,55	0,40	0,35	0,45	0,40
11	7/10/2014	0,1	1,08	4,40	4,50	4,45	4,45	0,55	0,45	0,50	0,50
12	8/10/2014	0,1	1,08	4,65	4,65	4,65	4,65	0,40	0,40	0,40	0,40
13	9/10/2014	0,1	1,08	4,40	4,45	4,50	4,45	0,65	0,60	0,55	0,60
14	10/10/2014	0,1	1,08	4,15	4,15	4,15	4,15	0,80	0,80	0,80	0,80
17	13/10/2014	0,5	1,07	1,75	1,85	1,65	1,75	0,20	0,10	0,30	0,20
18	14/10/2014	0,1	1,05	4,50	4,50	4,50	4,50	0,35	0,35	0,35	0,35
19	15/10/2014	0,1	1,05	4,75	4,65	4,70	4,70	0,20	0,30	0,25	0,25
20	16/10/2014	0,1	1,05	4,65	4,60	4,70	4,65	0,20	0,25	0,15	0,20
21	17/10/2014	0,1	1,05	4,85	4,85	4,85	4,85	0,15	0,15	0,15	0,15
24	20/10/2014	0,5	1,07	1,80	1,85	1,90	1,85	0,15	0,10	0,05	0,10
25	21/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,75	4,65	4,70	0,25	0,20	0,30	0,25
26	22/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,70	4,70	4,70	0,35	0,35	0,35	0,35
27	23/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,65	4,60	4,65	0,25	0,30	0,35	0,30
28	24/10/2014	0,1	1,09	4,90	4,90	4,90	4,90	0,15	0,15	0,15	0,15
31	27/10/2014	0,5	1,07	1,95	1,95	1,95	1,95	0,10	0,10	0,10	0,10
32	28/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,50	4,75	4,65	0,25	0,45	0,20	0,30

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0.05\text{mL}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0.05 \text{ mL}$)
33	29/10/2014	0,1	1,09	4,55	4,65	4,75	4,65	0,35	0,25	0,15	0,25
34	30/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,70	4,70	4,70	0,20	0,20	0,20	0,20
35	31/10/2014	0,1	1,09	4,70	4,70	4,70	4,70	0,35	0,35	0,35	0,35
38	3/11/2014	0,5	1,05	1,85	1,85	1,85	1,85	0,20	0,20	0,20	0,20
39	4/11/2014	0,1	1,09	4,65	4,75	4,7	4,70	0,20	0,10	0,15	0,15
40	5/11/2014	0,5	1,09	2,00	2,00	2,00	2,00	0,05	0,05	0,05	0,05
41	6/11/2014	0,1	1,09	4,85	4,75	4,80	4,80	0,05	0,15	0,10	0,10
42	7/11/2014	0,1	1,09	4,50	4,50	4,50	4,50	0,30	0,30	0,30	0,30
45	10/11/2014	0,1	1,08	1,70	1,75	1,65	1,70	0,35	0,30	0,40	0,35
46	11/11/2014	0,1	1,08	4,75	4,80	4,85	4,80	0,30	0,25	0,20	0,25
47	12/11/2014	0,1	1,08	4,70	4,70	4,70	4,70	0,10	0,10	0,10	0,10
48	13/11/2014	0,1	1,08	4,60	4,70	4,80	4,70	0,35	0,25	0,15	0,25
49	14/11/2014	0,1	1,08	4,70	4,70	4,70	4,70	0,15	0,15	0,15	0,15
52	17/11/2014	0,5	1,05	1,80	1,70	1,90	1,80	0,25	0,35	0,15	0,25
53	18/11/2014	0,1	1,08	4,65	4,65	4,80	4,70	0,20	0,20	0,05	0,15
54	19/11/2014	0,1	1,08	4,80	4,80	4,80	4,80	0,25	0,25	0,25	0,25
55	20/11/2014	0,1	1,08	4,70	4,70	4,70	4,70	0,35	0,35	0,35	0,35
56	21/11/2014	0,1	1,08	4,60	4,60	4,60	4,60	0,30	0,30	0,30	0,30
59	24/11/2014	0,5	1,05	1,80	1,90	1,85	1,85	0,15	0,05	0,10	0,10
60	25/11/2014	0,1	1,08	4,55	4,55	4,70	4,60	0,30	0,30	0,15	0,25
61	26/11/2014	0,1	1,08	4,60	4,60	4,60	4,60	0,30	0,30	0,30	0,30
62	27/11/2014	0,1	1,08	4,65	4,65	4,65	4,65	0,30	0,30	0,30	0,30
63	28/11/2014	0,1	1,08	4,60	4,90	4,60	4,70	0,45	0,15	0,45	0,35
66	1/12/2014	0,1	1,05	1,55	1,60	1,65	1,60	0,35	0,30	0,25	0,30
67	2/12/2014	0,1	1,05	4,65	4,70	4,60	4,65	0,20	0,15	0,25	0,20
68	3/12/2014	0,1	1,05	4,60	4,60	4,60	4,60	0,30	0,30	0,30	0,30

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0,05$mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0,05$ mL)
69	4/12/2014	0,1	1,05	4,70	4,70	4,70	4,70	0,35	0,35	0,35	0,35
70	5/12/2014	0,1	1,05	4,80	4,80	4,80	4,80	0,25	0,25	0,25	0,25
73	8/12/2014	0,5	1,10	1,85	1,90	1,80	1,85	0,10	0,05	0,15	0,10
74	9/12/2014	0,1	1,05	4,55	4,55	4,55	4,55	0,40	0,40	0,40	0,40
75	10/12/2014	0,1	1,05	4,60	4,60	4,60	4,60	0,30	0,30	0,30	0,30
76	11/12/2014	0,1	1,05	4,80	4,85	4,75	4,80	0,25	0,20	0,30	0,25
77	12/12/2014	0,1	1,05	4,55	4,55	4,55	4,55	0,40	0,40	0,40	0,40
80	15/12/2014	0,5	1,10	1,85	1,90	1,80	1,85	0,10	0,05	0,15	0,10
81	16/12/2014	0,1	1,02	4,70	4,70	4,70	4,70	0,35	0,35	0,35	0,35
82	17/12/2014	0,1	1,02	4,75	4,85	4,80	4,80	0,30	0,20	0,25	0,25
83	18/12/2014	0,1	1,02	4,65	4,65	4,65	4,65	0,30	0,30	0,30	0,30
84	19/12/2014	0,1	1,02	4,65	4,7	4,75	4,70	0,40	0,35	0,30	0,35
88	23/12/2014	0,5	1,10	1,95	1,95	1,95	1,95	0,10	0,10	0,10	0,10
90	26/12/2014	0,5	1,10	1,85	1,85	1,85	1,85	0,10	0,10	0,10	0,10

Tabla A.13 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el blanco de ensayo

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
3	29/09/2014	32300,63	3691,50	35992,13	28609,13	7,38	2,0	600,00
4	30/09/2014	4247,64	3129,84	7377,48	1117,80	6,26	10,0	600,00
5	1/10/2014	4024,08	3278,88	7302,96	745,20	6,56	5,0	600,00
6	2/10/2014	4843,80	2682,72	7526,52	2161,08	5,37	5,0	600,00
7	3/10/2014	5290,92	2086,56	7377,48	3204,36	4,17	5,0	600,00
10	6/10/2014	28609,13	7383,00	35992,13	21226,13	14,77	2,0	600,00
11	7/10/2014	6632,28	745,20	7377,48	5887,08	1,49	5,0	600,00
12	8/10/2014	6930,36	596,16	7526,52	6334,20	1,19	5,0	600,00
13	9/10/2014	6632,28	894,24	7526,52	5738,04	1,79	5,0	600,00
14	10/10/2014	6185,16	1192,32	7377,48	4992,84	2,38	5,0	600,00
17	13/10/2014	32300,63	3691,50	35992,13	28609,13	7,38	2,0	600,00
18	14/10/2014	6520,50	507,15	7027,65	6013,35	1,01	5,0	600,00
19	15/10/2014	6810,30	362,25	7172,55	6448,05	0,72	5,0	600,00
20	16/10/2014	6737,85	289,80	7027,65	6448,05	0,58	5,0	600,00
21	17/10/2014	7027,65	217,35	7245,00	6810,30	0,43	5,0	600,00
24	20/10/2014	34146,38	1845,75	35992,13	32300,63	3,69	2,0	600,00
25	21/10/2014	7069,74	376,05	7445,79	6693,69	0,75	5,0	600,00
26	22/10/2014	7069,74	526,47	7596,21	6543,27	1,05	5,0	600,00
27	23/10/2014	6994,53	451,26	7445,79	6543,27	0,90	5,0	600,00
28	24/10/2014	7370,58	225,63	7596,21	7144,95	0,45	5,0	600,00
31	27/10/2014	35992,13	1845,75	37837,88	34146,38	3,69	2,0	600,00
32	28/10/2014	6994,53	451,26	7445,79	6543,27	0,90	5,0	600,00
33	29/10/2014	6994,53	376,05	7370,58	6618,48	0,75	5,0	600,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
34	30/10/2014	7069,74	300,84	7370,58	6768,90	0,60	5,0	600,00
35	31/10/2014	7069,74	526,47	7596,21	6543,27	1,05	5,0	600,00
38	3/11/2014	33508,13	3622,50	37130,63	29885,63	7,25	2,0	600,00
39	4/11/2014	7069,74	225,63	7295,37	6844,11	0,45	5,0	600,00
40	5/11/2014	37605,00	940,12	38545,13	36664,88	1,88	2,0	600,00
41	6/11/2014	7220,16	150,42	7370,58	7069,74	0,30	5,0	600,00
42	7/11/2014	6768,90	451,26	7220,16	6317,64	0,90	5,0	600,00
45	10/11/2014	6334,20	1304,10	7638,30	5030,10	2,61	2,0	600,00
46	11/11/2014	7153,92	372,60	7526,52	6781,32	0,75	5,0	600,00
47	12/11/2014	7004,88	149,04	7153,92	6855,84	0,30	5,0	600,00
48	13/11/2014	7004,88	372,60	7377,48	6632,28	0,75	5,0	600,00
49	14/11/2014	7004,88	223,56	7228,44	6781,32	0,45	5,0	600,00
52	17/11/2014	32602,50	4528,13	37130,63	28074,38	9,06	2,0	600,00
53	18/11/2014	7004,88	223,56	7228,44	6781,32	0,45	5,0	600,00
54	19/11/2014	7153,92	372,60	7526,52	6781,32	0,75	5,0	600,00
55	20/11/2014	7004,88	521,64	7526,52	6483,24	1,04	5,0	600,00
56	21/11/2014	6855,84	447,12	7302,96	6408,72	0,89	5,0	600,00
59	24/11/2014	33508,13	1811,25	35319,38	31696,88	3,62	2,0	600,00
60	25/11/2014	6855,84	372,60	7228,44	6483,24	0,75	5,0	600,00
61	26/11/2014	6855,84	447,12	7302,96	6408,72	0,89	5,0	600,00
62	27/11/2014	6930,36	447,12	7377,48	6483,24	0,89	5,0	600,00
63	28/11/2014	7004,88	521,64	7526,52	6483,24	1,04	5,0	600,00
66	1/12/2014	5796,00	1086,75	6882,75	4709,25	2,17	2,0	600,00
67	2/12/2014	6737,85	289,80	7027,65	6448,05	0,58	5,0	600,00
68	3/12/2014	6665,40	434,70	7100,10	6230,70	0,87	5,0	600,00
69	4/12/2014	6810,30	507,15	7317,45	6303,15	1,01	5,0	600,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
70	5/12/2014	6955,20	362,25	7317,45	6592,95	0,72	5,0	600,00
73	8/12/2014	35103,75	1897,50	37001,25	33206,25	3,80	2,0	600,00
74	9/12/2014	6592,95	579,60	7172,55	6013,35	1,16	5,0	600,00
75	10/12/2014	6665,40	434,70	7100,10	6230,70	0,87	5,0	600,00
76	11/12/2014	6955,20	362,25	7317,45	6592,95	0,72	5,0	600,00
77	12/12/2014	6592,95	579,60	7172,55	6013,35	1,16	5,0	600,00
80	15/12/2014	35103,75	1897,50	37001,25	33206,25	3,80	2,0	600,00
81	16/12/2014	6615,72	492,66	7108,38	6123,06	0,99	5,0	600,00
82	17/12/2014	6756,48	351,90	7108,38	6404,58	0,70	5,0	600,00
83	18/12/2014	6545,34	422,28	6967,62	6123,06	0,84	5,0	600,00
84	19/12/2014	6615,72	492,66	7108,38	6123,06	0,99	5,0	600,00
88	23/12/2014	37001,25	1897,50	38898,75	35103,75	3,80	2,0	600,00
90	26/12/2014	35103,75	1897,50	37001,25	33206,25	3,80	2,0	600,00

Tabla A.14 Cantidades de CO₂ y carbono generado por el blanco de ensayo

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
3	29/09/2014	1,18	1,18	0,32	0,32
4	30/09/2014	1,00	2,17	0,27	0,59
5	1/10/2014	1,05	3,22	0,29	0,88
6	2/10/2014	0,86	4,08	0,23	1,11
7	3/10/2014	0,67	4,74	0,18	1,29
10	6/10/2014	2,35	7,10	0,64	1,94
11	7/10/2014	0,24	7,33	0,06	2,00
12	8/10/2014	0,19	7,52	0,05	2,05
13	9/10/2014	0,29	7,81	0,08	2,13
14	10/10/2014	0,38	8,19	0,10	2,23
17	13/10/2014	1,18	9,36	0,32	2,55
18	14/10/2014	0,16	9,53	0,04	2,60
19	15/10/2014	0,12	9,64	0,03	2,63
20	16/10/2014	0,09	9,73	0,03	2,65
21	17/10/2014	0,07	9,80	0,02	2,67
24	20/10/2014	0,59	10,39	0,16	2,83
25	21/10/2014	0,12	10,51	0,03	2,87
26	22/10/2014	0,17	10,68	0,05	2,91
27	23/10/2014	0,14	10,82	0,04	2,95
28	24/10/2014	0,07	10,90	0,02	2,97
31	27/10/2014	0,59	11,48	0,16	3,13
32	28/10/2014	0,14	11,63	0,04	3,17
33	29/10/2014	0,12	11,75	0,03	3,20
34	30/10/2014	0,10	11,84	0,03	3,23

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
35	31/10/2014	0,17	12,01	0,05	3,28
38	3/11/2014	1,16	13,17	0,32	3,59
39	4/11/2014	0,07	13,24	0,02	3,61
40	5/11/2014	0,30	13,54	0,08	3,69
41	6/11/2014	0,05	13,59	0,01	3,71
42	7/11/2014	0,14	13,73	0,04	3,74
45	10/11/2014	0,42	14,15	0,11	3,86
46	11/11/2014	0,12	14,27	0,03	3,89
47	12/11/2014	0,05	14,31	0,01	3,90
48	13/11/2014	0,12	14,43	0,03	3,94
49	14/11/2014	0,07	14,50	0,02	3,96
52	17/11/2014	1,44	15,95	0,39	4,35
53	18/11/2014	0,07	16,02	0,02	4,37
54	19/11/2014	0,12	16,14	0,03	4,40
55	20/11/2014	0,17	16,30	0,05	4,45
56	21/11/2014	0,14	16,45	0,04	4,49
59	24/11/2014	0,58	17,02	0,16	4,64
60	25/11/2014	0,12	17,14	0,03	4,68
61	26/11/2014	0,14	17,28	0,04	4,71
62	27/11/2014	0,14	17,43	0,04	4,75
63	28/11/2014	0,17	17,59	0,05	4,80
66	1/12/2014	0,35	17,94	0,09	4,89
67	2/12/2014	0,09	18,03	0,03	4,92
68	3/12/2014	0,14	18,17	0,04	4,96
69	4/12/2014	0,16	18,33	0,04	5,00
70	5/12/2014	0,12	18,45	0,03	5,03
73	8/12/2014	0,61	19,05	0,17	5,20
74	9/12/2014	0,18	19,24	0,05	5,25

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
75	10/12/2014	0,14	19,38	0,04	5,28
76	11/12/2014	0,12	19,49	0,03	5,32
77	12/12/2014	0,18	19,68	0,05	5,37
80	15/12/2014	0,61	20,28	0,17	5,53
81	16/12/2014	0,16	20,44	0,04	5,57
82	17/12/2014	0,11	20,55	0,03	5,60
83	18/12/2014	0,13	20,69	0,04	5,64
84	19/12/2014	0,16	20,84	0,04	5,68
88	23/12/2014	0,61	21,45	0,17	5,85
90	26/12/2014	0,61	22,05	0,17	6,01

Tabla A.15 Volúmenes de titulación de las trampas de CO₂ para la celulosa

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
3	29/09/2014	0,5	1,07	1,40	1,40	1,40	1,40	0,75	0,75	0,75	0,75
4	30/09/2014	0,1	1,08	5,75	5,80	5,70	5,75	4,20	4,15	4,25	4,20
5	1/10/2014	0,1	1,08	3,35	3,30	3,25	3,30	0,70	0,75	0,80	0,75
6	2/10/2014	0,1	1,08	3,30	3,30	3,30	3,30	1,80	1,80	1,80	1,80
7	3/10/2014	0,1	1,08	3,15	3,20	3,10	3,15	2,00	1,95	2,05	2,00
10	6/10/2014	0,5	1,07	1,25	1,20	1,45	1,30	0,50	0,55	0,30	0,45
11	7/10/2014	0,1	1,08	3,30	3,30	3,30	3,30	1,60	1,60	1,60	1,60
12	8/10/2014	0,1	1,08	3,05	3,05	3,05	3,05	1,90	1,90	1,90	1,90
13	9/10/2014	0,1	1,08	3,20	3,20	3,20	3,20	1,70	1,70	1,70	1,70
14	10/10/2014	0,1	1,08	3,10	3,15	3,05	3,10	1,85	1,80	1,90	1,85
17	13/10/2014	0,5	1,07	1,40	1,50	1,45	1,45	0,60	0,50	0,55	0,55
18	14/10/2014	0,1	1,05	2,60	2,60	2,60	2,60	2,35	2,35	2,35	2,35
19	15/10/2014	0,1	1,05	2,80	2,85	2,75	2,80	1,50	1,45	1,55	1,50
20	16/10/2014	0,1	1,05	3,00	3,00	3,15	3,05	2,00	2,00	1,85	1,95
21	17/10/2014	0,1	1,05	3,35	3,20	3,20	3,25	2,60	2,75	2,75	2,70
24	20/10/2014	0,5	1,07	1,40	1,45	1,50	1,45	0,80	0,75	0,70	0,75
25	21/10/2014	0,1	1,09	2,85	2,95	2,90	2,90	2,10	2,00	2,05	2,05
26	22/10/2014	0,1	1,09	3,35	3,35	3,35	3,35	1,80	1,80	1,80	1,80
27	23/10/2014	0,1	1,09	2,90	2,90	2,90	2,90	2,15	2,15	2,15	2,15
28	24/10/2014	0,1	1,09	3,05	3,05	3,05	3,05	1,90	1,90	1,90	1,90
31	27/10/2014	0,5	1,07	1,45	1,45	1,45	1,45	0,65	0,65	0,65	0,65
32	28/10/2014	0,1	1,09	3,10	3,10	2,95	3,05	1,85	1,85	2,00	1,90

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0.05\text{mL}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0.05\text{ mL}$)
33	29/10/2014	0,1	1,09	3,30	3,25	3,35	3,30	1,65	1,70	1,60	1,65
34	30/10/2014	0,1	1,09	3,25	3,35	3,30	3,30	1,85	1,75	1,80	1,80
35	31/10/2014	0,1	1,09	3,20	3,20	3,2	3,20	1,75	1,75	1,75	1,75
38	3/11/2014	0,5	1,05	1,45	1,45	1,45	1,45	0,30	0,30	0,30	0,30
39	4/11/2014	0,1	1,09	3,10	3,10	3,10	3,10	1,85	1,85	1,85	1,85
40	5/11/2014	0,5	1,09	4,6	4,50	4,55	4,55	0,35	0,45	0,40	0,40
41	6/11/2014	0,1	1,09	3,20	3,30	3,40	3,30	1,80	1,70	1,60	1,70
42	7/11/2014	0,1	1,09	2,70	2,70	2,70	2,70	2,20	2,20	2,20	2,20
45	10/11/2014	0,1	1,08	6,45	6,45	6,60	6,50	3,25	3,25	3,10	3,20
46	11/11/2014	0,1	1,08	2,55	2,55	2,55	2,55	2,45	2,45	2,45	2,45
47	12/11/2014	0,1	1,08	3,10	3,10	2,95	3,05	1,85	1,85	2,00	1,90
48	13/11/2014	0,1	1,08	3,20	3,25	3,15	3,20	1,85	1,80	1,90	1,85
49	14/11/2014	0,1	1,08	3,30	3,25	3,35	3,30	1,65	1,70	1,60	1,65
52	17/11/2014	0,5	1,05	1,40	1,45	1,50	1,45	0,40	0,35	0,30	0,35
53	18/11/2014	0,1	1,08	3,25	3,10	3,10	3,15	1,75	1,90	1,90	1,85
54	19/11/2014	0,1	1,08	3,10	3,10	3,10	3,10	1,85	1,85	1,85	1,85
55	20/11/2014	0,1	1,08	3,20	3,20	3,20	3,20	1,75	1,75	1,75	1,75
56	21/11/2014	0,1	1,08	2,40	2,70	2,40	2,50	2,55	2,25	2,55	2,45
59	24/11/2014	0,5	1,05	1,40	1,45	1,50	1,45	0,50	0,45	0,40	0,45
60	25/11/2014	0,1	1,08	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00
61	26/11/2014	0,1	1,08	3,10	3,25	3,25	3,20	1,85	1,70	1,70	1,75
62	27/11/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,55	1,55	1,55	1,55
63	28/11/2014	0,1	1,08	3,10	3,10	3,10	3,10	1,85	1,85	1,85	1,85
66	1/12/2014	0,1	1,05	2,75	2,85	2,80	2,80	2,60	2,50	2,55	2,55
67	2/12/2014	0,1	1,05	3,05	3,05	3,05	3,05	1,95	1,95	1,95	1,95
68	3/12/2014	0,1	1,05	3,25	3,30	3,20	3,25	1,70	1,65	1,75	1,70

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
69	4/12/2014	0,1	1,05	3,00	3,10	3,05	3,05	2,00	1,90	1,95	1,95
70	5/12/2014	0,1	1,05	3,20	3,20	3,35	3,25	1,75	1,75	1,60	1,70
73	8/12/2014	0,5	1,10	1,50	1,50	1,50	1,50	0,65	0,65	0,65	0,65
74	9/12/2014	0,1	1,05	2,70	2,85	2,85	2,80	2,25	2,10	2,10	2,15
75	10/12/2014	0,1	1,05	2,60	2,60	2,60	2,60	2,35	2,35	2,35	2,35
76	11/12/2014	0,1	1,05	2,60	2,60	2,75	2,65	2,30	2,30	2,15	2,25
77	12/12/2014	0,1	1,05	2,50	2,65	2,65	2,60	2,60	2,45	2,45	2,50
80	15/12/2014	0,5	1,10	1,40	1,40	1,40	1,40	0,50	0,50	0,50	0,50
81	16/12/2014	0,1	1,02	3,00	3,00	3,00	3,00	2,95	2,95	2,95	2,95
82	17/12/2014	0,1	1,02	2,80	2,75	2,85	2,80	2,10	2,15	2,05	2,10
83	18/12/2014	0,1	1,02	2,75	2,75	2,75	2,75	2,20	2,20	2,20	2,20
84	19/12/2014	0,1	1,02	2,95	2,95	2,95	2,95	2,00	2,00	2,00	2,00
88	23/12/2014	0,5	1,10	1,40	1,40	1,55	1,45	0,45	0,45	0,30	0,40
90	26/12/2014	0,5	1,10	1,20	1,35	1,35	1,30	0,70	0,55	0,55	0,60

Tabla A.16 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para la celulosa

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
3	29/09/2014	25840,50	13843,13	39683,63	11997,38	27,69	2,00	100,00
4	30/09/2014	4284,90	3129,84	7414,74	1155,06	6,26	10,00	100,00
5	1/10/2014	4918,32	1117,80	6036,12	3800,52	2,24	5,00	100,00
6	2/10/2014	4918,32	2682,72	7601,04	2235,60	5,37	5,00	100,00
7	3/10/2014	4694,76	2980,80	7675,56	1713,96	5,96	5,00	100,00
10	6/10/2014	23994,75	8305,88	32300,63	15688,88	16,61	2,00	100,00
11	7/10/2014	4918,32	2384,64	7302,96	2533,68	4,77	5,00	100,00
12	8/10/2014	4545,72	2831,76	7377,48	1713,96	5,66	5,00	100,00
13	9/10/2014	4769,28	2533,68	7302,96	2235,60	5,07	5,00	100,00
14	10/10/2014	4620,24	2757,24	7377,48	1863,00	5,51	5,00	100,00
17	13/10/2014	26763,38	10151,63	36915,00	16611,75	20,30	2,00	100,00
18	14/10/2014	3767,40	3405,15	7172,55	362,25	6,81	5,00	100,00
19	15/10/2014	4057,20	2173,50	6230,70	1883,70	4,35	5,00	100,00
20	16/10/2014	4419,45	2825,55	7245,00	1593,90	5,65	5,00	100,00
21	17/10/2014	4709,25	3912,30	8621,55	796,95	7,82	5,00	100,00
24	20/10/2014	26763,38	13843,13	40606,50	12920,25	27,69	2,00	100,00
25	21/10/2014	4362,18	3083,61	7445,79	1278,57	6,17	5,00	100,00
26	22/10/2014	5039,07	2707,56	7746,63	2331,51	5,42	5,00	100,00
27	23/10/2014	4362,18	3234,03	7596,21	1128,15	6,47	5,00	100,00
28	24/10/2014	4587,81	2857,98	7445,79	1729,83	5,72	5,00	100,00
31	27/10/2014	26763,38	11997,38	38760,75	14766,00	23,99	2,00	100,00
32	28/10/2014	4587,81	2857,98	7445,79	1729,83	5,72	5,00	100,00
33	29/10/2014	4963,86	2481,93	7445,79	2481,93	4,96	5,00	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
34	30/10/2014	4963,86	2707,56	7671,42	2256,30	5,42	5,00	100,00
35	31/10/2014	4813,44	2632,35	7445,79	2181,09	5,26	5,00	100,00
38	3/11/2014	26263,13	5433,75	31696,88	20829,38	10,87	2,00	100,00
39	4/11/2014	4663,02	2782,77	7445,79	1880,25	5,57	5,00	100,00
40	5/11/2014	34220,55	3008,40	37228,95	31212,15	6,02	5,00	100,00
41	6/11/2014	4963,86	2557,14	7521,00	2406,72	5,11	5,00	100,00
42	7/11/2014	4061,34	3309,24	7370,58	752,10	6,62	5,00	100,00
45	10/11/2014	24219,00	11923,20	36142,20	12295,80	23,85	2,00	100,00
46	11/11/2014	3800,52	3651,48	7452,00	149,04	7,30	5,00	100,00
47	12/11/2014	4545,72	2831,76	7377,48	1713,96	5,66	5,00	100,00
48	13/11/2014	4769,28	2757,24	7526,52	2012,04	5,51	5,00	100,00
49	14/11/2014	4918,32	2459,16	7377,48	2459,16	4,92	5,00	100,00
52	17/11/2014	26263,13	6339,38	32602,50	19923,75	12,68	2,00	100,00
53	18/11/2014	4694,76	2757,24	7452,00	1937,52	5,51	5,00	100,00
54	19/11/2014	4620,24	2757,24	7377,48	1863,00	5,51	5,00	100,00
55	20/11/2014	4769,28	2608,20	7377,48	2161,08	5,22	5,00	100,00
56	21/11/2014	3726,00	3651,48	7377,48	74,52	7,30	5,00	100,00
59	24/11/2014	26263,13	8150,63	34413,75	18112,50	16,30	2,00	100,00
60	25/11/2014	4471,20	2980,80	7452,00	1490,40	5,96	5,00	100,00
61	26/11/2014	4769,28	2608,20	7377,48	2161,08	5,22	5,00	100,00
62	27/11/2014	5067,36	2310,12	7377,48	2757,24	4,62	5,00	100,00
63	28/11/2014	4620,24	2757,24	7377,48	1863,00	5,51	5,00	100,00
66	1/12/2014	10143,00	9237,38	19380,38	905,63	18,47	2,00	100,00
67	2/12/2014	4419,45	2825,55	7245,00	1593,90	5,65	5,00	100,00
68	3/12/2014	4709,25	2463,30	7172,55	2245,95	4,93	5,00	100,00
69	4/12/2014	4419,45	2825,55	7245,00	1593,90	5,65	5,00	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
70	5/12/2014	4709,25	2463,30	7172,55	2245,95	4,93	5,00	100,00
73	8/12/2014	28462,50	12333,75	40796,25	16128,75	24,67	2,00	100,00
74	9/12/2014	4057,20	3115,35	7172,55	941,85	6,23	5,00	100,00
75	10/12/2014	3767,40	3405,15	7172,55	362,25	6,81	5,00	100,00
76	11/12/2014	3839,85	3260,25	7100,10	579,60	6,52	5,00	100,00
77	12/12/2014	3767,40	3622,50	7389,90	144,90	7,25	5,00	100,00
80	15/12/2014	26565,00	9487,50	36052,50	17077,50	18,98	2,00	100,00
81	16/12/2014	4222,80	4152,42	8375,22	70,38	8,30	5,00	100,00
82	17/12/2014	3941,28	2955,96	6897,24	985,32	5,91	5,00	100,00
83	18/12/2014	3870,90	3096,72	6967,62	774,18	6,19	5,00	100,00
84	19/12/2014	4152,42	2815,20	6967,62	1337,22	5,63	5,00	100,00
88	23/12/2014	27513,75	7590,00	35103,75	19923,75	15,18	2,00	100,00
90	26/12/2014	24667,50	11385,00	36052,50	13282,50	22,77	2,00	100,00

Tabla A.17 Tabla de cantidades de CO₂ y carbono generado por la celulosa

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
3	29/09/2014	4,41	4,41	1,20	1,20
4	30/09/2014	1,00	5,41	0,27	1,48
5	1/10/2014	0,36	5,77	0,10	1,57
6	2/10/2014	0,86	6,62	0,23	1,81
7	3/10/2014	0,95	7,57	0,26	2,07
10	6/10/2014	2,65	10,22	0,72	2,79
11	7/10/2014	0,76	10,98	0,21	3,00
12	8/10/2014	0,90	11,89	0,25	3,24
13	9/10/2014	0,81	12,69	0,22	3,46
14	10/10/2014	0,88	13,57	0,24	3,70
17	13/10/2014	3,24	16,81	0,88	4,58
18	14/10/2014	1,09	17,89	0,30	4,88
19	15/10/2014	0,69	18,59	0,19	5,07
20	16/10/2014	0,90	19,49	0,25	5,32
21	17/10/2014	1,25	20,74	0,34	5,66
24	20/10/2014	4,41	25,15	1,20	6,86
25	21/10/2014	0,98	26,13	0,27	7,13
26	22/10/2014	0,86	27,00	0,24	7,36
27	23/10/2014	1,03	28,03	0,28	7,64
28	24/10/2014	0,91	28,94	0,25	7,89
31	27/10/2014	3,83	32,76	1,04	8,94
32	28/10/2014	0,91	33,68	0,25	9,18
33	29/10/2014	0,79	34,47	0,22	9,40
34	30/10/2014	0,86	35,33	0,24	9,64
35	31/10/2014	0,84	36,17	0,23	9,86

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
38	3/11/2014	1,73	37,90	0,47	10,34
39	4/11/2014	0,89	38,79	0,24	10,58
40	5/11/2014	0,96	39,75	0,26	10,84
41	6/11/2014	0,82	40,56	0,22	11,06
42	7/11/2014	1,06	41,62	0,29	11,35
45	10/11/2014	3,80	45,42	1,04	12,39
46	11/11/2014	1,16	46,58	0,32	12,70
47	12/11/2014	0,90	47,49	0,25	12,95
48	13/11/2014	0,88	48,37	0,24	13,19
49	14/11/2014	0,78	49,15	0,21	13,40
52	17/11/2014	2,02	51,17	0,55	13,96
53	18/11/2014	0,88	52,05	0,24	14,20
54	19/11/2014	0,88	52,93	0,24	14,44
55	20/11/2014	0,83	53,76	0,23	14,66
56	21/11/2014	1,16	54,93	0,32	14,98
59	24/11/2014	2,60	57,52	0,71	15,69
60	25/11/2014	0,95	58,47	0,26	15,95
61	26/11/2014	0,83	59,31	0,23	16,17
62	27/11/2014	0,74	60,04	0,20	16,38
63	28/11/2014	0,88	60,92	0,24	16,62
66	1/12/2014	2,95	63,87	0,80	17,42
67	2/12/2014	0,90	64,77	0,25	17,66
68	3/12/2014	0,79	65,55	0,21	17,88
69	4/12/2014	0,90	66,45	0,25	18,12
70	5/12/2014	0,79	67,24	0,21	18,34
73	8/12/2014	3,93	71,17	1,07	19,41
74	9/12/2014	0,99	72,17	0,27	19,68
75	10/12/2014	1,09	73,25	0,30	19,98

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
76	11/12/2014	1,04	74,29	0,28	20,26
77	12/12/2014	1,16	75,45	0,32	20,58
80	15/12/2014	3,03	78,47	0,83	21,40
81	16/12/2014	1,32	79,79	0,36	21,76
82	17/12/2014	0,94	80,74	0,26	22,02
83	18/12/2014	0,99	81,72	0,27	22,29
84	19/12/2014	0,90	82,62	0,24	22,53
88	23/12/2014	2,42	85,04	0,66	23,19
90	26/12/2014	3,63	88,67	0,99	24,18

Tabla A.18 Volúmenes de titulación de las trampas de CO₂ para el HDPE A1

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (±0.05mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (±0.05 mL)
3	29/09/2014	0,5	1,07	1,75	1,70	1,65	1,70	0,15	0,20	0,25	0,20
4	30/09/2014	0,1	1,08	6,20	6,50	6,50	6,40	3,75	3,45	3,45	3,55
5	1/10/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,35	1,35	1,35	1,35
6	2/10/2014	0,1	1,08	2,90	2,95	2,85	2,90	2,15	2,10	2,20	2,15
7	3/10/2014	0,1	1,08	3,30	3,30	3,30	3,30	1,65	1,65	1,65	1,65
10	6/10/2014	0,5	1,07	1,60	1,60	1,60	1,60	0,45	0,45	0,45	0,45
11	7/10/2014	0,1	1,08	3,20	3,20	3,50	3,30	1,70	1,70	1,40	1,60
12	8/10/2014	0,1	1,08	3,60	3,50	3,55	3,55	1,30	1,40	1,35	1,35
13	9/10/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,55	1,55	1,55	1,55
14	10/10/2014	0,1	1,08	3,30	3,35	3,25	3,30	1,60	1,55	1,65	1,60
17	13/10/2014	0,5	1,07	1,60	1,55	1,65	1,60	0,35	0,40	0,30	0,35
18	14/10/2014	0,1	1,05	3,20	3,20	3,20	3,20	1,85	1,85	1,85	1,85
19	15/10/2014	0,1	1,05	3,60	3,60	3,60	3,60	1,35	1,35	1,35	1,35
20	16/10/2014	0,1	1,05	3,50	3,50	3,50	3,50	1,40	1,40	1,40	1,40
21	17/10/2014	0,1	1,05	3,35	3,25	3,30	3,30	1,60	1,70	1,65	1,65
24	20/10/2014	0,5	1,07	1,50	1,50	1,80	1,60	0,55	0,55	0,25	0,45
25	21/10/2014	0,1	1,09	3,30	3,30	3,30	3,30	1,80	1,80	1,80	1,80
26	22/10/2014	0,1	1,09	3,40	3,40	3,40	3,40	1,65	1,65	1,65	1,65
27	23/10/2014	0,1	1,09	3,65	3,60	3,70	3,65	1,30	1,35	1,25	1,30
28	24/10/2014	0,1	1,09	3,30	3,40	3,35	3,35	1,70	1,60	1,65	1,65
31	27/10/2014	0,5	1,07	1,55	1,55	1,55	1,55	0,50	0,50	0,50	0,50
32	28/10/2014	0,1	1,09	3,80	3,80	3,80	3,80	1,15	1,15	1,15	1,15
33	29/10/2014	0,1	1,09	3,30	3,35	3,25	3,30	1,75	1,70	1,80	1,75

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0.05\text{mL}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0.05\text{ mL}$)
34	30/10/2014	0,1	1,09	3,35	3,35	3,50	3,40	1,60	1,60	1,45	1,55
35	31/10/2014	0,1	1,09	3,55	3,45	3,50	3,50	1,40	1,50	1,45	1,45
38	3/11/2014	0,5	1,05	1,65	1,65	1,65	1,65	0,30	0,30	0,30	0,30
39	4/11/2014	0,1	1,09	3,45	3,60	3,45	3,50	1,50	1,35	1,50	1,45
40	5/11/2014	0,5	1,09	1,90	1,95	1,85	1,90	0,15	0,10	0,20	0,15
41	6/11/2014	0,1	1,09	3,75	3,75	3,75	3,75	1,25	1,25	1,25	1,25
42	7/11/2014	0,1	1,09	3,75	3,75	3,30	3,60	1,20	1,20	1,65	1,35
45	10/11/2014	0,1	1,08	8,10	8,15	8,20	8,15	1,80	1,75	1,70	1,75
46	11/11/2014	0,1	1,08	3,15	3,20	3,10	3,15	1,80	1,75	1,85	1,80
47	12/11/2014	0,1	1,08	3,50	3,50	3,35	3,45	1,55	1,55	1,70	1,60
48	13/11/2014	0,1	1,08	3,75	3,75	3,75	3,75	1,25	1,25	1,25	1,25
49	14/11/2014	0,1	1,08	3,45	3,45	3,60	3,50	1,50	1,50	1,35	1,45
52	17/11/2014	0,5	1,05	1,40	1,50	1,45	1,45	0,65	0,55	0,60	0,60
53	18/11/2014	0,1	1,08	3,10	3,15	3,05	3,10	1,90	1,85	1,95	1,90
54	19/11/2014	0,1	1,08	3,55	3,55	3,40	3,50	1,45	1,45	1,60	1,50
55	20/11/2014	0,1	1,08	3,60	3,60	3,60	3,60	1,35	1,35	1,35	1,35
56	21/11/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,60	1,60	1,60	1,60
59	24/11/2014	0,5	1,05	1,45	1,50	1,55	1,50	0,50	0,45	0,40	0,45
60	25/11/2014	0,1	1,08	3,60	3,65	3,70	3,65	1,30	1,25	1,20	1,25
61	26/11/2014	0,1	1,08	3,50	3,20	3,20	3,30	1,45	1,75	1,75	1,65
62	27/11/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,35	1,35	1,35	1,35
63	28/11/2014	0,1	1,08	3,45	3,55	3,50	3,50	1,65	1,55	1,60	1,60
66	1/12/2014	0,1	1,05	7,35	7,35	7,35	7,35	2,55	2,55	2,55	2,55
67	2/12/2014	0,1	1,05	3,20	3,20	3,35	3,25	1,70	1,70	1,55	1,65
68	3/12/2014	0,1	1,05	3,25	3,20	3,30	3,25	2,05	2,10	2,00	2,05
69	4/12/2014	0,1	1,05	3,20	3,10	3,15	3,15	1,85	1,95	1,90	1,90

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
70	5/12/2014	0,1	1,05	2,95	2,95	2,95	2,95	2,10	2,10	2,10	2,10
73	8/12/2014	0,5	1,1	1,45	1,40	1,50	1,45	0,60	0,65	0,55	0,60
74	9/12/2014	0,1	1,05	3,35	3,30	3,25	3,30	1,60	1,65	1,70	1,65
75	10/12/2014	0,1	1,05	3,20	3,35	3,20	3,25	1,85	1,70	1,85	1,80
76	11/12/2014	0,1	1,05	3,20	3,20	3,20	3,20	1,75	1,75	1,75	1,75
77	12/12/2014	0,1	1,05	3,15	3,20	3,10	3,15	1,95	1,90	2,00	1,95
80	15/12/2014	0,5	1,1	1,60	1,60	1,45	1,55	0,50	0,50	0,65	0,55
81	16/12/2014	0,1	1,02	3,60	3,60	3,60	3,60	1,35	1,35	1,35	1,35
82	17/12/2014	0,1	1,02	3,40	3,10	3,10	3,20	1,50	1,80	1,80	1,70
83	18/12/2014	0,1	1,02	3,55	3,45	3,50	3,50	1,40	1,50	1,45	1,45
84	19/12/2014	0,1	1,02	3,65	3,65	3,65	3,65	1,35	1,35	1,35	1,35
88	23/12/2014	0,5	1,1	1,70	1,60	1,65	1,65	0,20	0,30	0,25	0,25
90	26/12/2014	0,5	1,1	1,50	1,55	1,45	1,50	0,55	0,50	0,60	0,55

Tabla A.19 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A1

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
3	29/09/2014	31377,75	3691,50	35069,25	27686,25	7,38	2,00	100,00
4	30/09/2014	4769,28	2645,46	7414,74	2123,82	5,29	10,00	100,00
5	1/10/2014	5067,36	2012,04	7079,40	3055,32	4,02	5,00	100,00
6	2/10/2014	4322,16	3204,36	7526,52	1117,80	6,41	5,00	100,00
7	3/10/2014	4918,32	2459,16	7377,48	2459,16	4,92	5,00	100,00
10	6/10/2014	29532,00	8305,88	37837,88	21226,13	16,61	2,00	100,00
11	7/10/2014	4918,32	2384,64	7302,96	2533,68	4,77	5,00	100,00
12	8/10/2014	5290,92	2012,04	7302,96	3278,88	4,02	5,00	100,00
13	9/10/2014	5067,36	2310,12	7377,48	2757,24	4,62	5,00	100,00
14	10/10/2014	4918,32	2384,64	7302,96	2533,68	4,77	5,00	100,00
17	13/10/2014	29532,00	6460,13	35992,13	23071,88	12,92	2,00	100,00
18	14/10/2014	4636,80	2680,65	7317,45	1956,15	5,36	5,00	100,00
19	15/10/2014	5216,40	1956,15	7172,55	3260,25	3,91	5,00	100,00
20	16/10/2014	5071,50	2028,60	7100,10	3042,90	4,06	5,00	100,00
21	17/10/2014	4781,70	2390,85	7172,55	2390,85	4,78	5,00	100,00
24	20/10/2014	29532,00	8305,88	37837,88	21226,13	16,61	2,00	100,00
25	21/10/2014	4963,86	2707,56	7671,42	2256,30	5,42	5,00	100,00
26	22/10/2014	5114,28	2481,93	7596,21	2632,35	4,96	5,00	100,00
27	23/10/2014	5490,33	1955,46	7445,79	3534,87	3,91	5,00	100,00
28	24/10/2014	5039,07	2481,93	7521,00	2557,14	4,96	5,00	100,00
31	27/10/2014	28609,13	9228,75	37837,88	19380,38	18,46	2,00	100,00
32	28/10/2014	5715,96	1729,83	7445,79	3986,13	3,46	5,00	100,00
33	29/10/2014	4963,86	2632,35	7596,21	2331,51	5,26	5,00	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
34	30/10/2014	5114,28	2331,51	7445,79	2782,77	4,66	5,00	100,00
35	31/10/2014	5264,70	2181,09	7445,79	3083,61	4,36	5,00	100,00
38	3/11/2014	29885,63	5433,75	35319,38	24451,88	10,87	2,00	100,00
39	4/11/2014	5264,70	2181,09	7445,79	3083,61	4,36	5,00	100,00
40	5/11/2014	35724,75	2820,38	38545,13	32904,38	5,64	2,00	100,00
41	6/11/2014	5640,75	1880,25	7521,00	3760,50	3,76	5,00	100,00
42	7/11/2014	5415,12	2030,67	7445,79	3384,45	4,06	5,00	100,00
45	10/11/2014	30366,90	6520,50	36887,40	23846,40	13,04	2,00	100,00
46	11/11/2014	4694,76	2682,72	7377,48	2012,04	5,37	5,00	100,00
47	12/11/2014	5141,88	2384,64	7526,52	2757,24	4,77	5,00	100,00
48	13/11/2014	5589,00	1863,00	7452,00	3726,00	3,73	5,00	100,00
49	14/11/2014	5216,40	2161,08	7377,48	3055,32	4,32	5,00	100,00
52	17/11/2014	26263,13	10867,50	37130,63	15395,63	21,74	2,00	100,00
53	18/11/2014	4620,24	2831,76	7452,00	1788,48	5,66	5,00	100,00
54	19/11/2014	5216,40	2235,60	7452,00	2980,80	4,47	5,00	100,00
55	20/11/2014	5365,44	2012,04	7377,48	3353,40	4,02	5,00	100,00
56	21/11/2014	5067,36	2384,64	7452,00	2682,72	4,77	5,00	100,00
59	24/11/2014	27168,75	8150,63	35319,38	19018,13	16,30	2,00	100,00
60	25/11/2014	5439,96	1863,00	7302,96	3576,96	3,73	5,00	100,00
61	26/11/2014	4918,32	2459,16	7377,48	2459,16	4,92	5,00	100,00
62	27/11/2014	5067,36	2012,04	7079,40	3055,32	4,02	5,00	100,00
63	28/11/2014	5216,40	2384,64	7601,04	2831,76	4,77	5,00	100,00
66	1/12/2014	26625,38	9237,38	35862,75	17388,00	18,47	2,00	100,00
67	2/12/2014	4709,25	2390,85	7100,10	2318,40	4,78	5,00	100,00
68	3/12/2014	4709,25	2970,45	7679,70	1738,80	5,94	5,00	100,00
69	4/12/2014	4564,35	2753,10	7317,45	1811,25	5,51	5,00	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
70	5/12/2014	4274,55	3042,90	7317,45	1231,65	6,09	5,00	100,00
73	8/12/2014	27513,75	11385,00	38898,75	16128,75	22,77	2,00	100,00
74	9/12/2014	4781,70	2390,85	7172,55	2390,85	4,78	5,00	100,00
75	10/12/2014	4709,25	2608,20	7317,45	2101,05	5,22	5,00	100,00
76	11/12/2014	4636,80	2535,75	7172,55	2101,05	5,07	5,00	100,00
77	12/12/2014	4564,35	2825,55	7389,90	1738,80	5,65	5,00	100,00
80	15/12/2014	29411,25	10436,25	39847,50	18975,00	20,87	2,00	100,00
81	16/12/2014	5067,36	1900,26	6967,62	3167,10	3,80	5,00	100,00
82	17/12/2014	4504,32	2392,92	6897,24	2111,40	4,79	5,00	100,00
83	18/12/2014	4926,60	2041,02	6967,62	2885,58	4,08	5,00	100,00
84	19/12/2014	5137,74	1900,26	7038,00	3237,48	3,80	5,00	100,00
88	23/12/2014	31308,75	4743,75	36052,50	26565,00	9,49	2,00	100,00
90	26/12/2014	28462,50	10436,25	38898,75	18026,25	20,87	2,00	100,00

Tabla A.20 Cantidades de CO₂ y carbono generado por el HDPE A1

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
3	29/09/2014	1,18	1,18	0,32	0,32
4	30/09/2014	0,84	2,02	0,23	0,55
5	1/10/2014	0,64	2,66	0,17	0,73
6	2/10/2014	1,02	3,68	0,28	1,00
7	3/10/2014	0,78	4,47	0,21	1,22
10	6/10/2014	2,65	7,12	0,72	1,94
11	7/10/2014	0,76	7,88	0,21	2,15
12	8/10/2014	0,64	8,52	0,17	2,32
13	9/10/2014	0,74	9,25	0,20	2,52
14	10/10/2014	0,76	10,01	0,21	2,73
17	13/10/2014	2,06	12,07	0,56	3,29
18	14/10/2014	0,85	12,93	0,23	3,53
19	15/10/2014	0,62	13,55	0,17	3,70
20	16/10/2014	0,65	14,20	0,18	3,87
21	17/10/2014	0,76	14,96	0,21	4,08
24	20/10/2014	2,65	17,61	0,72	4,80
25	21/10/2014	0,86	18,47	0,24	5,04
26	22/10/2014	0,79	19,26	0,22	5,25
27	23/10/2014	0,62	19,89	0,17	5,42
28	24/10/2014	0,79	20,68	0,22	5,64
31	27/10/2014	2,94	23,62	0,80	6,44
32	28/10/2014	0,55	24,17	0,15	6,59
33	29/10/2014	0,84	25,01	0,23	6,82
34	30/10/2014	0,74	25,76	0,20	7,02
35	31/10/2014	0,70	26,45	0,19	7,21

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
38	3/11/2014	1,73	28,18	0,47	7,69
39	4/11/2014	0,70	28,88	0,19	7,88
40	5/11/2014	0,90	29,78	0,25	8,12
41	6/11/2014	0,60	30,38	0,16	8,29
42	7/11/2014	0,65	31,03	0,18	8,46
45	10/11/2014	2,08	33,10	0,57	9,03
46	11/11/2014	0,86	33,96	0,23	9,26
47	12/11/2014	0,76	34,72	0,21	9,47
48	13/11/2014	0,59	35,31	0,16	9,63
49	14/11/2014	0,69	36,00	0,19	9,82
52	17/11/2014	3,47	39,47	0,95	10,76
53	18/11/2014	0,90	40,37	0,25	11,01
54	19/11/2014	0,71	41,08	0,19	11,20
55	20/11/2014	0,64	41,73	0,17	11,38
56	21/11/2014	0,76	42,49	0,21	11,59
59	24/11/2014	2,60	45,08	0,71	12,30
60	25/11/2014	0,59	45,68	0,16	12,46
61	26/11/2014	0,78	46,46	0,21	12,67
62	27/11/2014	0,64	47,10	0,17	12,85
63	28/11/2014	0,76	47,86	0,21	13,05
66	1/12/2014	2,95	50,81	0,80	13,86
67	2/12/2014	0,76	51,57	0,21	14,07
68	3/12/2014	0,95	52,52	0,26	14,32
69	4/12/2014	0,88	53,40	0,24	14,56
70	5/12/2014	0,97	54,37	0,26	14,83
73	8/12/2014	3,63	58,00	0,99	15,82
74	9/12/2014	0,76	58,76	0,21	16,03
75	10/12/2014	0,83	59,59	0,23	16,25

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
76	11/12/2014	0,81	60,40	0,22	16,47
77	12/12/2014	0,90	61,30	0,25	16,72
80	15/12/2014	3,33	64,63	0,91	17,63
81	16/12/2014	0,61	65,23	0,17	17,79
82	17/12/2014	0,76	66,00	0,21	18,00
83	18/12/2014	0,65	66,65	0,18	18,18
84	19/12/2014	0,61	67,25	0,17	18,34
88	23/12/2014	1,51	68,77	0,41	18,75
90	26/12/2014	3,33	72,09	0,91	19,66

Tabla A.21 Volúmenes de titulación de las trampas de CO₂ para el HDPE A2

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
3	29/09/2014	0,5	1,07	0,60	0,60	0,60	0,60	0,30	0,30	0,30	0,30
4	30/09/2014	0,1	1,08	7,45	7,50	7,40	7,45	2,50	2,45	2,55	2,50
5	1/10/2014	0,1	1,08	3,40	3,40	3,40	3,40	1,50	1,50	1,50	1,50
6	2/10/2014	0,1	1,08	3,25	3,35	3,30	3,30	1,65	1,55	1,60	1,60
7	3/10/2014	0,1	1,08	3,35	3,40	3,30	3,35	1,70	1,65	1,75	1,70
10	6/10/2014	0,5	1,07	1,65	1,65	1,65	1,65	0,40	0,40	0,40	0,40
11	7/10/2014	0,1	1,08	3,60	3,60	3,75	3,65	1,35	1,35	1,20	1,30
12	8/10/2014	0,1	1,08	3,95	3,95	3,95	3,95	1,10	1,10	1,10	1,10
13	9/10/2014	0,1	1,08	4,15	4,15	4,15	4,15	0,90	0,90	0,90	0,90
14	10/10/2014	0,1	1,08	4,15	4,15	4,15	4,15	0,80	0,80	0,80	0,80
17	13/10/2014	0,5	1,07	1,75	1,60	1,60	1,65	0,20	0,35	0,35	0,30
18	14/10/2014	0,1	1,05	4,15	4,20	4,10	4,15	0,80	0,75	0,85	0,80
19	15/10/2014	0,1	1,05	4,35	4,35	4,35	4,35	0,60	0,60	0,60	0,60
20	16/10/2014	0,1	1,05	4,25	4,25	4,25	4,25	0,80	0,80	0,80	0,80
21	17/10/2014	0,1	1,05	4,10	4,20	4,15	4,15	0,95	0,85	0,90	0,90
24	20/10/2014	0,5	1,07	1,70	1,70	1,85	1,75	0,25	0,25	0,10	0,20
25	21/10/2014	0,1	1,09	4,10	4,10	4,10	4,10	0,80	0,80	0,80	0,80
26	22/10/2014	0,1	1,09	4,25	4,20	4,15	4,20	0,65	0,70	0,75	0,70
27	23/10/2014	0,1	1,09	4,25	4,10	4,10	4,15	0,70	0,85	0,85	0,80
28	24/10/2014	0,1	1,09	4,30	4,30	4,45	4,35	0,75	0,75	0,60	0,70
31	27/10/2014	0,5	1,07	1,70	1,70	1,70	1,70	0,20	0,20	0,20	0,20
32	28/10/2014	0,1	1,09	4,35	4,05	4,05	4,15	0,70	1,00	1,00	0,90
33	29/10/2014	0,1	1,09	3,65	3,75	3,70	3,70	1,25	1,15	1,20	1,20

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0.05\text{mL}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0.05\text{ mL}$)
34	30/10/2014	0,1	1,09	4,00	4,00	4,15	4,05	0,95	0,95	0,80	0,90
35	31/10/2014	0,1	1,09	4,15	4,15	4,15	4,15	0,80	0,80	0,80	0,80
38	3/11/2014	0,5	1,05	1,60	1,65	1,55	1,60	0,30	0,25	0,35	0,30
39	4/11/2014	0,1	1,09	4,05	4,15	4,10	4,10	0,85	0,75	0,80	0,80
40	5/11/2014	0,5	1,09	1,80	1,80	1,80	1,80	0,05	0,05	0,05	0,05
41	6/11/2014	0,1	1,09	4,05	4,20	4,20	4,15	0,95	0,80	0,80	0,85
42	7/11/2014	0,1	1,09	4,05	4,05	4,05	4,05	1,00	1,00	1,00	1,00
45	10/11/2014	0,1	1,08	4,85	4,85	4,85	4,85	1,10	1,10	1,10	1,10
46	11/11/2014	0,1	1,08	4,55	4,60	4,50	4,55	0,40	0,35	0,45	0,40
47	12/11/2014	0,1	1,08	4,15	4,15	4,15	4,15	0,80	0,80	0,80	0,80
48	13/11/2014	0,1	1,08	4,10	4,10	4,55	4,25	0,90	0,90	0,45	0,75
49	14/11/2014	0,1	1,08	4,30	4,30	4,30	4,30	0,65	0,65	0,65	0,65
52	17/11/2014	0,5	1,05	1,80	1,85	1,90	1,85	0,25	0,20	0,15	0,20
53	18/11/2014	0,1	1,08	4,50	4,50	4,50	4,50	0,40	0,40	0,40	0,40
54	19/11/2014	0,1	1,08	4,10	4,15	4,20	4,15	0,95	0,90	0,85	0,90
55	20/11/2014	0,1	1,08	4,35	4,40	4,30	4,35	0,65	0,60	0,70	0,65
56	21/11/2014	0,1	1,08	4,20	4,45	4,25	4,30	0,70	0,45	0,65	0,60
59	24/11/2014	0,5	1,05	1,55	1,60	1,65	1,60	0,35	0,30	0,25	0,30
60	25/11/2014	0,1	1,08	3,65	3,65	3,65	3,65	1,30	1,30	1,30	1,30
61	26/11/2014	0,1	1,08	4,00	4,15	4,00	4,05	1,00	0,85	1,00	0,95
62	27/11/2014	0,1	1,08	4,15	4,20	4,10	4,15	0,90	0,85	0,95	0,90
63	28/11/2014	0,1	1,08	3,75	3,85	3,80	3,80	1,15	1,05	1,10	1,10
66	1/12/2014	0,1	1,05	5,45	5,45	5,45	5,45	1,60	1,60	1,60	1,60
67	2/12/2014	0,1	1,05	3,50	3,55	3,60	3,55	1,50	1,45	1,40	1,45
68	3/12/2014	0,1	1,05	3,35	3,30	3,25	3,30	1,55	1,60	1,65	1,60
69	4/12/2014	0,1	1,05	3,35	3,35	3,35	3,35	1,65	1,65	1,65	1,65

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
70	5/12/2014	0,1	1,05	3,45	3,40	3,35	3,40	1,65	1,70	1,75	1,70
73	8/12/2014	0,5	1,1	1,65	1,65	1,65	1,65	0,40	0,40	0,40	0,40
74	9/12/2014	0,1	1,05	3,55	3,45	3,50	3,50	1,60	1,70	1,65	1,65
75	10/12/2014	0,1	1,05	3,50	3,25	3,30	3,35	1,45	1,70	1,65	1,60
76	11/12/2014	0,1	1,05	3,35	3,35	3,35	3,35	1,80	1,80	1,80	1,80
77	12/12/2014	0,1	1,05	3,15	3,20	3,25	3,20	1,80	1,75	1,70	1,75
80	15/12/2014	0,5	1,1	1,70	1,55	1,70	1,65	0,35	0,50	0,35	0,40
81	16/12/2014	0,1	1,02	3,10	3,10	3,10	3,10	1,90	1,90	1,90	1,90
82	17/12/2014	0,1	1,02	3,45	3,05	3,10	3,20	1,55	1,95	1,90	1,80
83	18/12/2014	0,1	1,02	3,00	3,05	2,95	3,00	2,05	2,00	2,10	2,05
84	19/12/2014	0,1	1,02	3,10	3,10	3,10	3,10	1,85	1,85	1,85	1,85
88	23/12/2014	0,5	1,1	1,45	1,50	1,55	1,50	0,40	0,35	0,30	0,35
90	26/12/2014	0,5	1,1	1,60	1,65	1,55	1,60	0,45	0,40	0,50	0,45

Tabla A.22 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A2

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
3	29/09/2014	11074,50	5537,25	16611,75	5537,25	11,07	2,0	100,00
4	30/09/2014	5551,74	1863,00	7414,74	3688,74	3,73	10,0	100,00
5	1/10/2014	5067,36	2235,60	7302,96	2831,76	4,47	5,0	100,00
6	2/10/2014	4918,32	2384,64	7302,96	2533,68	4,77	5,0	100,00
7	3/10/2014	4992,84	2533,68	7526,52	2459,16	5,07	5,0	100,00
10	6/10/2014	30454,88	7383,00	37837,88	23071,88	14,77	2,0	100,00
11	7/10/2014	5439,96	1937,52	7377,48	3502,44	3,88	5,0	100,00
12	8/10/2014	5887,08	1639,44	7526,52	4247,64	3,28	5,0	100,00
13	9/10/2014	6185,16	1341,36	7526,52	4843,80	2,68	5,0	100,00
14	10/10/2014	6185,16	1192,32	7377,48	4992,84	2,38	5,0	100,00
17	13/10/2014	30454,88	5537,25	35992,13	24917,63	11,07	2,0	100,00
18	14/10/2014	6013,35	1159,20	7172,55	4854,15	2,32	5,0	100,00
19	15/10/2014	6303,15	869,40	7172,55	5433,75	1,74	5,0	100,00
20	16/10/2014	6158,25	1159,20	7317,45	4999,05	2,32	5,0	100,00
21	17/10/2014	6013,35	1304,10	7317,45	4709,25	2,61	5,0	100,00
24	20/10/2014	32300,63	3691,50	35992,13	28609,13	7,38	2,0	100,00
25	21/10/2014	6167,22	1203,36	7370,58	4963,86	2,41	5,0	100,00
26	22/10/2014	6317,64	1052,94	7370,58	5264,70	2,11	5,0	100,00
27	23/10/2014	6242,43	1203,36	7445,79	5039,07	2,41	5,0	100,00
28	24/10/2014	6543,27	1052,94	7596,21	5490,33	2,11	5,0	100,00
31	27/10/2014	31377,75	3691,50	35069,25	27686,25	7,38	2,0	100,00
32	28/10/2014	6242,43	1353,78	7596,21	4888,65	2,71	5,0	100,00
33	29/10/2014	5565,54	1805,04	7370,58	3760,50	3,61	5,0	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
34	30/10/2014	6092,01	1353,78	7445,79	4738,23	2,71	5,0	100,00
35	31/10/2014	6242,43	1203,36	7445,79	5039,07	2,41	5,0	100,00
38	3/11/2014	28980,00	5433,75	34413,75	23546,25	10,87	2,0	100,00
39	4/11/2014	6167,22	1203,36	7370,58	4963,86	2,41	5,0	100,00
40	5/11/2014	33844,50	940,13	34784,63	32904,38	1,88	2,0	100,00
41	6/11/2014	6242,43	1278,57	7521,00	4963,86	2,56	5,0	100,00
42	7/11/2014	6092,01	1504,20	7596,21	4587,81	3,01	5,0	100,00
45	10/11/2014	18071,10	4098,60	22169,70	13972,50	8,20	2,0	100,00
46	11/11/2014	6781,32	596,16	7377,48	6185,16	1,19	5,0	100,00
47	12/11/2014	6185,16	1192,32	7377,48	4992,84	2,38	5,0	100,00
48	13/11/2014	6334,20	1117,80	7452,00	5216,40	2,24	5,0	100,00
49	14/11/2014	6408,72	968,76	7377,48	5439,96	1,94	5,0	100,00
52	17/11/2014	33508,13	3622,50	37130,63	29885,63	7,25	2,0	100,00
53	18/11/2014	6706,80	596,16	7302,96	6110,64	1,19	5,0	100,00
54	19/11/2014	6185,16	1341,36	7526,52	4843,80	2,68	5,0	100,00
55	20/11/2014	6483,24	968,76	7452,00	5514,48	1,94	5,0	100,00
56	21/11/2014	6408,72	894,24	7302,96	5514,48	1,79	5,0	100,00
59	24/11/2014	28980,00	5433,75	34413,75	23546,25	10,87	2,0	100,00
60	25/11/2014	5439,96	1937,52	7377,48	3502,44	3,88	5,0	100,00
61	26/11/2014	6036,12	1415,88	7452,00	4620,24	2,83	5,0	100,00
62	27/11/2014	6185,16	1341,36	7526,52	4843,80	2,68	5,0	100,00
63	28/11/2014	5663,52	1639,44	7302,96	4024,08	3,28	5,0	100,00
66	1/12/2014	19742,63	5796,00	25538,63	13946,63	11,59	2,0	100,00
67	2/12/2014	5143,95	2101,05	7245,00	3042,90	4,20	5,0	100,00
68	3/12/2014	4781,70	2318,40	7100,10	2463,30	4,64	5,0	100,00
69	4/12/2014	4854,15	2390,85	7245,00	2463,30	4,78	5,0	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
70	5/12/2014	4926,60	2463,30	7389,90	2463,30	4,93	5,0	100,00
73	8/12/2014	31308,75	7590,00	38898,75	23718,75	15,18	2,0	100,00
74	9/12/2014	5071,50	2390,85	7462,35	2680,65	4,78	5,0	100,00
75	10/12/2014	4854,15	2318,40	7172,55	2535,75	4,64	5,0	100,00
76	11/12/2014	4854,15	2608,20	7462,35	2245,95	5,22	5,0	100,00
77	12/12/2014	4636,80	2535,75	7172,55	2101,05	5,07	5,0	100,00
80	15/12/2014	31308,75	7590,00	38898,75	23718,75	15,18	2,0	100,00
81	16/12/2014	4363,56	2674,44	7038,00	1689,12	5,35	5,0	100,00
82	17/12/2014	4504,32	2533,68	7038,00	1970,64	5,07	5,0	100,00
83	18/12/2014	4222,80	2885,58	7108,38	1337,22	5,77	5,0	100,00
84	19/12/2014	4363,56	2604,06	6967,62	1759,50	5,21	5,0	100,00
88	23/12/2014	28462,50	6641,25	35103,75	21821,25	13,28	2,0	100,00
90	26/12/2014	30360,00	8538,75	38898,75	21821,25	17,08	2,0	100,00

Tabla A.23 Cantidades de CO₂ y carbono generado por el HDPE A2

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
3	29/09/2014	1,77	1,77	0,48	0,48
4	30/09/2014	0,59	2,36	0,16	0,64
5	1/10/2014	0,71	3,07	0,19	0,84
6	2/10/2014	0,76	3,83	0,21	1,05
7	3/10/2014	0,81	4,64	0,22	1,27
10	6/10/2014	2,35	6,99	0,64	1,91
11	7/10/2014	0,62	7,61	0,17	2,08
12	8/10/2014	0,52	8,13	0,14	2,22
13	9/10/2014	0,43	8,56	0,12	2,34
14	10/10/2014	0,38	8,94	0,10	2,44
17	13/10/2014	1,77	10,71	0,48	2,92
18	14/10/2014	0,37	11,08	0,10	3,02
19	15/10/2014	0,28	11,36	0,08	3,10
20	16/10/2014	0,37	11,72	0,10	3,20
21	17/10/2014	0,42	12,14	0,11	3,31
24	20/10/2014	1,18	13,32	0,32	3,63
25	21/10/2014	0,38	13,70	0,10	3,74
26	22/10/2014	0,34	14,04	0,09	3,83
27	23/10/2014	0,38	14,42	0,10	3,93
28	24/10/2014	0,34	14,76	0,09	4,02
31	27/10/2014	1,18	15,93	0,32	4,35
32	28/10/2014	0,43	16,36	0,12	4,46
33	29/10/2014	0,58	16,94	0,16	4,62
34	30/10/2014	0,43	17,37	0,12	4,74
35	31/10/2014	0,38	17,76	0,10	4,84

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
38	3/11/2014	1,73	19,49	0,47	5,31
39	4/11/2014	0,38	19,87	0,10	5,42
40	5/11/2014	0,30	20,17	0,08	5,50
41	6/11/2014	0,41	20,58	0,11	5,61
42	7/11/2014	0,48	21,06	0,13	5,74
45	10/11/2014	1,31	22,37	0,36	6,10
46	11/11/2014	0,19	22,56	0,05	6,15
47	12/11/2014	0,38	22,94	0,10	6,26
48	13/11/2014	0,36	23,29	0,10	6,35
49	14/11/2014	0,31	23,60	0,08	6,44
52	17/11/2014	1,16	24,76	0,32	6,75
53	18/11/2014	0,19	24,95	0,05	6,80
54	19/11/2014	0,43	25,37	0,12	6,92
55	20/11/2014	0,31	25,68	0,08	7,00
56	21/11/2014	0,29	25,97	0,08	7,08
59	24/11/2014	1,73	27,70	0,47	7,55
60	25/11/2014	0,62	28,32	0,17	7,72
61	26/11/2014	0,45	28,77	0,12	7,85
62	27/11/2014	0,43	29,20	0,12	7,96
63	28/11/2014	0,52	29,72	0,14	8,11
66	1/12/2014	1,85	31,57	0,50	8,61
67	2/12/2014	0,67	32,24	0,18	8,79
68	3/12/2014	0,74	32,98	0,20	8,99
69	4/12/2014	0,76	33,74	0,21	9,20
70	5/12/2014	0,79	34,52	0,21	9,42
73	8/12/2014	2,42	36,94	0,66	10,08
74	9/12/2014	0,76	37,71	0,21	10,28
75	10/12/2014	0,74	38,45	0,20	10,49

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
76	11/12/2014	0,83	39,28	0,23	10,71
77	12/12/2014	0,81	40,09	0,22	10,93
80	15/12/2014	2,42	42,51	0,66	11,59
81	16/12/2014	0,85	43,36	0,23	11,83
82	17/12/2014	0,81	44,17	0,22	12,05
83	18/12/2014	0,92	45,09	0,25	12,30
84	19/12/2014	0,83	45,92	0,23	12,52
88	23/12/2014	2,12	48,03	0,58	13,10
90	26/12/2014	2,72	50,76	0,74	13,84

Tabla A.24 Volúmenes de titulación de las trampas de CO₂ para el HDPE A3

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (±0.05mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (±0.05 mL)
3	29/09/2014	0,5	1,07	1,55	1,55	1,55	1,55	0,40	0,40	0,40	0,40
4	30/09/2014	0,1	1,08	8,35	8,40	8,30	8,35	1,70	1,65	1,75	1,70
5	1/10/2014	0,1	1,08	3,80	3,80	3,65	3,75	1,25	1,25	1,40	1,30
6	2/10/2014	0,1	1,08	3,15	3,15	3,15	3,15	1,90	1,90	1,90	1,90
7	3/10/2014	0,1	1,08	3,50	3,40	3,45	3,45	1,45	1,55	1,50	1,50
10	6/10/2014	0,5	1,07	1,55	1,70	1,70	1,65	0,50	0,35	0,35	0,40
11	7/10/2014	0,1	1,08	3,65	3,65	3,65	3,65	1,30	1,30	1,30	1,30
12	8/10/2014	0,1	1,08	3,95	3,95	3,95	3,95	1,10	1,10	1,10	1,10
13	9/10/2014	0,1	1,08	3,15	3,20	3,10	3,15	1,90	1,85	1,95	1,90
14	10/10/2014	0,1	1,08	4,25	4,25	4,25	4,25	0,70	0,70	0,70	0,70
17	13/10/2014	0,5	1,07	1,60	1,60	1,75	1,65	0,35	0,35	0,20	0,30
18	14/10/2014	0,1	1,05	4,05	4,10	4,00	4,05	1,00	0,95	1,05	1,00
19	15/10/2014	0,1	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,80	0,80	0,80	0,80
20	16/10/2014	0,1	1,05	0,90	0,95	0,85	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00
21	17/10/2014	0,1	1,05	4,05	4,20	4,20	4,15	1,00	0,85	0,85	0,90
24	20/10/2014	0,5	1,07	1,50	1,50	1,50	1,50	0,40	0,40	0,40	0,40
25	21/10/2014	0,1	1,09	4,45	4,45	4,45	4,45	0,50	0,50	0,50	0,50
26	22/10/2014	0,1	1,09	4,55	4,55	4,40	4,50	0,50	0,50	0,65	0,55
27	23/10/2014	0,1	1,09	4,15	4,25	4,20	4,20	0,80	0,70	0,75	0,75
28	24/10/2014	0,1	1,09	4,40	4,40	4,55	4,45	0,65	0,65	0,50	0,60
31	27/10/2014	0,5	1,07	1,65	1,65	1,65	1,65	0,30	0,30	0,30	0,30
32	28/10/2014	0,1	1,09	4,30	4,30	4,45	4,35	0,75	0,75	0,60	0,70
33	29/10/2014	0,1	1,09	4,20	4,15	4,10	4,15	0,75	0,80	0,85	0,80

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. ($\pm 0.05\text{mL}$)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC ($\pm 0.05\text{ mL}$)
34	30/10/2014	0,1	1,09	4,25	4,35	4,30	4,30	0,70	0,60	0,65	0,65
35	31/10/2014	0,1	1,09	4,40	4,40	4,40	4,40	0,55	0,55	0,55	0,55
38	3/11/2014	0,5	1,05	1,80	1,75	1,70	1,75	0,15	0,20	0,25	0,20
39	4/11/2014	0,1	1,09	4,25	4,20	4,45	4,30	0,65	0,70	0,45	0,60
40	5/11/2014	0,5	1,09	1,90	1,80	1,85	1,85	0,05	0,15	0,10	0,10
41	6/11/2014	0,1	1,09	4,25	4,25	4,25	4,25	0,70	0,70	0,70	0,70
42	7/11/2014	0,1	1,09	4,15	4,20	4,10	4,15	0,80	0,75	0,85	0,80
45	10/11/2014	0,1	1,08	1,00	1,00	1,15	1,05	0,95	0,95	0,80	0,90
46	11/11/2014	0,1	1,08	4,00	4,00	4,00	4,00	0,90	0,90	0,90	0,90
47	12/11/2014	0,1	1,08	3,65	3,75	3,70	3,70	1,25	1,15	1,20	1,20
48	13/11/2014	0,1	1,08	4,75	4,80	4,70	4,75	0,30	0,25	0,35	0,30
49	14/11/2014	0,1	1,08	4,65	4,65	4,50	4,60	0,25	0,25	0,40	0,30
52	17/11/2014	0,5	1,05	1,70	1,70	1,70	1,70	0,20	0,20	0,20	0,20
53	18/11/2014	0,1	1,08	4,70	4,60	4,65	4,65	0,35	0,45	0,40	0,40
54	19/11/2014	0,1	1,08	4,65	4,50	4,50	4,55	0,40	0,55	0,55	0,50
55	20/11/2014	0,1	1,08	4,50	4,55	4,45	4,50	0,35	0,30	0,40	0,35
56	21/11/2014	0,1	1,08	4,45	4,45	4,45	4,45	0,40	0,40	0,40	0,40
59	24/11/2014	0,5	1,05	1,80	1,80	1,65	1,75	0,15	0,15	0,30	0,20
60	25/11/2014	0,1	1,08	4,45	4,40	4,50	4,45	0,60	0,65	0,55	0,60
61	26/11/2014	0,1	1,08	4,50	4,65	4,65	4,60	0,55	0,40	0,40	0,45
62	27/11/2014	0,1	1,08	4,60	4,60	4,60	4,60	0,35	0,35	0,35	0,35
63	28/11/2014	0,1	1,08	4,40	4,25	4,40	4,35	0,55	0,70	0,55	0,60
66	1/12/2014	0,1	1,05	1,20	1,20	1,05	1,15	0,65	0,65	0,80	0,70
67	2/12/2014	0,1	1,05	4,25	4,35	4,30	4,30	0,80	0,70	0,75	0,75
68	3/12/2014	0,1	1,05	4,25	4,25	4,25	4,25	0,70	0,70	0,70	0,70
69	4/12/2014	0,1	1,05	4,40	4,40	4,40	4,40	0,55	0,55	0,55	0,55

Día	Fecha	Concentración HCl (M)	Factor de corrección	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación Fenolf. (± 0.05 mL)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Volumen Titulación VBC (± 0.05 mL)
70	5/12/2014	0,1	1,05	4,25	4,25	4,40	4,30	0,65	0,65	0,50	0,60
73	8/12/2014	0,5	1,1	1,70	1,70	1,70	1,70	0,20	0,20	0,20	0,20
74	9/12/2014	0,1	1,05	4,45	4,45	4,45	4,45	0,50	0,50	0,50	0,50
75	10/12/2014	0,1	1,05	4,20	4,35	4,35	4,30	0,75	0,60	0,60	0,65
76	11/12/2014	0,1	1,05	4,60	4,60	4,60	4,60	0,45	0,45	0,45	0,45
77	12/12/2014	0,1	1,05	4,20	4,05	4,20	4,15	0,75	0,90	0,75	0,80
80	15/12/2014	0,5	1,1	1,75	1,75	1,75	1,75	0,20	0,20	0,20	0,20
81	16/12/2014	0,1	1,02	4,50	4,50	4,20	4,40	0,55	0,55	0,85	0,65
82	17/12/2014	0,1	1,02	4,45	4,55	4,50	4,50	0,40	0,30	0,35	0,35
83	18/12/2014	0,1	1,02	4,40	4,40	4,40	4,40	0,65	0,65	0,65	0,65
84	19/12/2014	0,1	1,02	4,40	4,25	4,25	4,30	0,55	0,70	0,70	0,65
88	23/12/2014	0,5	1,1	1,90	1,90	1,90	1,90	0,15	0,15	0,15	0,15
90	26/12/2014	0,5	1,1	1,90	1,90	1,90	1,90	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabla A.25 Alcalinidades obtenidas a partir de los volúmenes de titulación para el HDPE A3

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
3	29/09/2014	28609,13	7383,00	35992,13	21226,13	14,77	2,0	100,00
4	30/09/2014	6222,42	1266,84	7489,26	4955,58	2,53	10,0	100,00
5	1/10/2014	5589,00	1937,52	7526,52	3651,48	3,88	5,0	100,00
6	2/10/2014	4694,76	2831,76	7526,52	1863,00	5,66	5,0	100,00
7	3/10/2014	5141,88	2235,60	7377,48	2906,28	4,47	5,0	100,00
10	6/10/2014	30454,88	7383,00	37837,88	23071,88	14,77	2,0	100,00
11	7/10/2014	5439,96	1937,52	7377,48	3502,44	3,88	5,0	100,00
12	8/10/2014	5887,08	1639,44	7526,52	4247,64	3,28	5,0	100,00
13	9/10/2014	4694,76	2831,76	7526,52	1863,00	5,66	5,0	100,00
14	10/10/2014	6334,20	1043,28	7377,48	5290,92	2,09	5,0	100,00
17	13/10/2014	30454,88	5537,25	35992,13	24917,63	11,07	2,0	100,00
18	14/10/2014	5868,45	1449,00	7317,45	4419,45	2,90	5,0	100,00
19	15/10/2014	1666,35	1159,20	2825,55	507,15	2,32	5,0	100,00
20	16/10/2014	1304,10	1449,00	2753,10	144,90	2,90	5,0	100,00
21	17/10/2014	6013,35	1304,10	7317,45	4709,25	2,61	5,0	100,00
24	20/10/2014	27686,25	7383,00	35069,25	20303,25	14,77	2,0	100,00
25	21/10/2014	6693,69	752,10	7445,79	5941,59	1,50	5,0	100,00
26	22/10/2014	6768,90	827,31	7596,21	5941,59	1,65	5,0	100,00
27	23/10/2014	6317,64	1128,15	7445,79	5189,49	2,26	5,0	100,00
28	24/10/2014	6693,69	902,52	7596,21	5791,17	1,81	5,0	100,00
31	27/10/2014	30454,88	5537,25	35992,13	24917,63	11,07	2,0	100,00
32	28/10/2014	6543,27	1052,94	7596,21	5490,33	2,11	5,0	100,00
33	29/10/2014	6242,43	1203,36	7445,79	5039,07	2,41	5,0	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
34	30/10/2014	6468,06	977,73	7445,79	5490,33	1,96	5,0	100,00
35	31/10/2014	6618,48	827,31	7445,79	5791,17	1,65	5,0	100,00
38	3/11/2014	31696,88	3622,50	35319,38	28074,38	7,25	2,0	100,00
39	4/11/2014	6468,06	902,52	7370,58	5565,54	1,81	5,0	100,00
40	5/11/2014	34784,63	1880,25	36664,88	32904,38	3,76	2,0	100,00
41	6/11/2014	6392,85	1052,94	7445,79	5339,91	2,11	5,0	100,00
42	7/11/2014	6242,43	1203,36	7445,79	5039,07	2,41	5,0	100,00
45	10/11/2014	3912,30	3353,40	7265,70	558,90	6,71	2,0	100,00
46	11/11/2014	5961,60	1341,36	7302,96	4620,24	2,68	5,0	100,00
47	12/11/2014	5514,48	1788,48	7302,96	3726,00	3,58	5,0	100,00
48	13/11/2014	7079,40	447,12	7526,52	6632,28	0,89	5,0	100,00
49	14/11/2014	6855,84	447,12	7302,96	6408,72	0,89	5,0	100,00
52	17/11/2014	30791,25	3622,50	34413,75	27168,75	7,25	2,0	100,00
53	18/11/2014	6930,36	596,16	7526,52	6334,20	1,19	5,0	100,00
54	19/11/2014	6781,32	745,20	7526,52	6036,12	1,49	5,0	100,00
55	20/11/2014	6706,80	521,64	7228,44	6185,16	1,04	5,0	100,00
56	21/11/2014	6632,28	596,16	7228,44	6036,12	1,19	5,0	100,00
59	24/11/2014	31696,88	3622,50	35319,38	28074,38	7,25	2,0	100,00
60	25/11/2014	6632,28	894,24	7526,52	5738,04	1,79	5,0	100,00
61	26/11/2014	6855,84	670,68	7526,52	6185,16	1,34	5,0	100,00
62	27/11/2014	6855,84	521,64	7377,48	6334,20	1,04	5,0	100,00
63	28/11/2014	6483,24	894,24	7377,48	5589,00	1,79	5,0	100,00
66	1/12/2014	4165,88	2535,75	6701,63	1630,13	5,07	2,0	100,00
67	2/12/2014	6230,70	1086,75	7317,45	5143,95	2,17	5,0	100,00
68	3/12/2014	6158,25	1014,30	7172,55	5143,95	2,03	5,0	100,00
69	4/12/2014	6375,60	796,95	7172,55	5578,65	1,59	5,0	100,00

Día	Fecha	Alcalinidad por Fenolf K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por VBC K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad Total K₂CO₃ (mg /L)	Alcalinidad por Hidróxidos KOH (mg /L)	Alcalinidad por Carbonatos K₂CO₃ (g /L)	Volumen de muestra (±0.003mL)	Masa suelo (±0.01g)
70	5/12/2014	6230,70	869,40	7100,10	5361,30	1,74	5,0	100,00
73	8/12/2014	32257,50	3795,00	36052,50	28462,50	7,59	2,0	100,00
74	9/12/2014	6448,05	724,50	7172,55	5723,55	1,45	5,0	100,00
75	10/12/2014	6230,70	941,85	7172,55	5288,85	1,88	5,0	100,00
76	11/12/2014	6665,40	652,05	7317,45	6013,35	1,30	5,0	100,00
77	12/12/2014	6013,35	1159,20	7172,55	4854,15	2,32	5,0	100,00
80	15/12/2014	33206,25	3795,00	37001,25	29411,25	7,59	2,0	100,00
81	16/12/2014	6193,44	914,94	7108,38	5278,50	1,83	5,0	100,00
82	17/12/2014	6334,20	492,66	6826,86	5841,54	0,99	5,0	100,00
83	18/12/2014	6193,44	914,94	7108,38	5278,50	1,83	5,0	100,00
84	19/12/2014	6052,68	914,94	6967,62	5137,74	1,83	5,0	100,00
88	23/12/2014	36052,50	2846,25	38898,75	33206,25	5,69	2,0	100,00
90	26/12/2014	36052,50	948,75	37001,25	35103,75	1,90	2,0	100,00

Tabla A.26 Cantidades de CO₂ y carbono generado por el HDPE A3

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
3	29/09/2014	2,35	2,35	0,64	0,64
4	30/09/2014	0,40	2,76	0,11	0,75
5	1/10/2014	0,62	3,38	0,17	0,92
6	2/10/2014	0,90	4,28	0,25	1,17
7	3/10/2014	0,71	4,99	0,19	1,36
10	6/10/2014	2,35	7,35	0,64	2,00
11	7/10/2014	0,62	7,96	0,17	2,17
12	8/10/2014	0,52	8,49	0,14	2,31
13	9/10/2014	0,90	9,39	0,25	2,56
14	10/10/2014	0,33	9,72	0,09	2,65
17	13/10/2014	1,77	11,49	0,48	3,13
18	14/10/2014	0,46	11,95	0,13	3,26
19	15/10/2014	0,37	12,32	0,10	3,36
20	16/10/2014	0,46	12,78	0,13	3,49
21	17/10/2014	0,42	13,20	0,11	3,60
24	20/10/2014	2,35	15,55	0,64	4,24
25	21/10/2014	0,24	15,79	0,07	4,31
26	22/10/2014	0,26	16,05	0,07	4,38
27	23/10/2014	0,36	16,41	0,10	4,48
28	24/10/2014	0,29	16,70	0,08	4,55
31	27/10/2014	1,77	18,47	0,48	5,04
32	28/10/2014	0,34	18,80	0,09	5,13
33	29/10/2014	0,38	19,19	0,10	5,23
34	30/10/2014	0,31	19,50	0,09	5,32
35	31/10/2014	0,26	19,76	0,07	5,39

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
38	3/11/2014	1,16	20,92	0,32	5,70
39	4/11/2014	0,29	21,20	0,08	5,78
40	5/11/2014	0,60	21,80	0,16	5,95
41	6/11/2014	0,34	22,14	0,09	6,04
42	7/11/2014	0,38	22,52	0,10	6,14
45	10/11/2014	1,07	23,59	0,29	6,43
46	11/11/2014	0,43	24,02	0,12	6,55
47	12/11/2014	0,57	24,59	0,16	6,71
48	13/11/2014	0,14	24,73	0,04	6,75
49	14/11/2014	0,14	24,88	0,04	6,78
52	17/11/2014	1,16	26,03	0,32	7,10
53	18/11/2014	0,19	26,22	0,05	7,15
54	19/11/2014	0,24	26,46	0,06	7,22
55	20/11/2014	0,17	26,62	0,05	7,26
56	21/11/2014	0,19	26,81	0,05	7,31
59	24/11/2014	1,16	27,97	0,32	7,63
60	25/11/2014	0,29	28,25	0,08	7,71
61	26/11/2014	0,21	28,47	0,06	7,76
62	27/11/2014	0,17	28,63	0,05	7,81
63	28/11/2014	0,29	28,92	0,08	7,89
66	1/12/2014	0,81	29,73	0,22	8,11
67	2/12/2014	0,35	30,08	0,09	8,20
68	3/12/2014	0,32	30,40	0,09	8,29
69	4/12/2014	0,25	30,65	0,07	8,36
70	5/12/2014	0,28	30,93	0,08	8,44
73	8/12/2014	1,21	32,14	0,33	8,77
74	9/12/2014	0,23	32,37	0,06	8,83
75	10/12/2014	0,30	32,67	0,08	8,91

Día	Fecha	CO₂ Generado (g)	CO₂ Acumulado (g)	Carbono Generado (g)	Carbono Acumulado (g)
76	11/12/2014	0,21	32,88	0,06	8,97
77	12/12/2014	0,37	33,25	0,10	9,07
80	15/12/2014	1,21	34,46	0,33	9,40
81	16/12/2014	0,29	34,75	0,08	9,48
82	17/12/2014	0,16	34,91	0,04	9,52
83	18/12/2014	0,29	35,20	0,08	9,60
84	19/12/2014	0,29	35,49	0,08	9,68
88	23/12/2014	0,91	36,40	0,25	9,93
90	26/12/2014	0,30	36,70	0,08	10,01

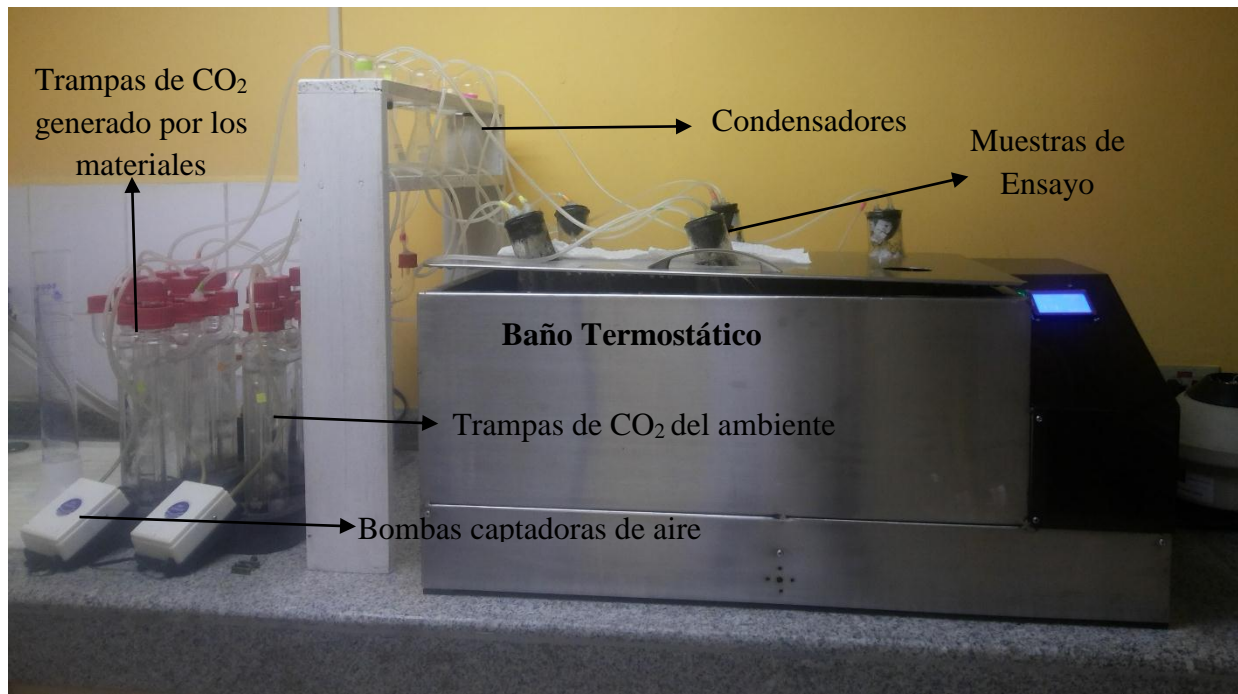


Figura A.6.7 Sistema de compostaje de materiales poliméricos

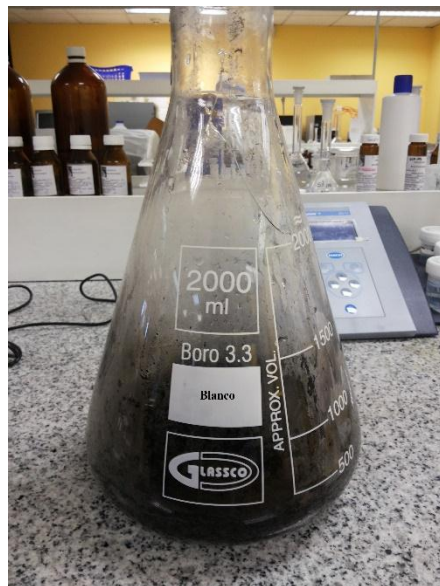


Figura A.6.8 Blanco de ensayo al iniciar el estudio



Figura A.6.9 Celulosa al iniciar el estudio



Figura A.6.10 HDPE con aditivo A1 al iniciar el estudio

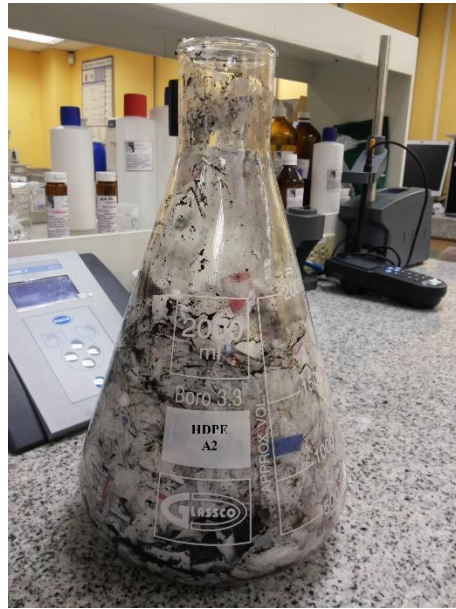


Figura A.6.11 HDPE con aditivo A2 al iniciar el estudio



Figura A.6.12 HDPE con aditivo A3 al iniciar el estudio



Figura A.6.13 Blanco de ensayo al final del estudio



Figura A.6.14 Celulosa al final del estudio



Figura A.6.15 HDPE A1 al final del estudio



Figura A.6.16 HDPE A2 al final del estudio



Figura A.6.17 HDPE A3 al final del estudio

ANEXO 5. ENSAYOS EN SUELOS DESPUÉS DEL COMPOSTAJE

Tabla A.27 Determinación del contenido de cenizas, materia orgánica y COT en suelos

Muestras	Peso de los Crisoles (±0.0001 g)	Peso de las Muestras (±0.0001 g)	Peso Final (±0.0001 g)	Cenizas (%)	Promedio (%)	Materia Orgánica (%)	Promedio (%)	TOC (%)	Promedio (%)
Blanco	22,3710	2,0008	24,0012	81,48	81,33	18,52	18,67	15,47	15,59
	20,8110	2,0057	22,4254	80,49		19,51		16,29	
	22,3705	2,0040	24,0145	82,04		17,96		15,00	
Celulosa	38,6754	2,0050	40,3304	82,54	82,42	17,46	17,58	14,58	14,68
	39,6040	2,0063	41,2611	82,59		17,41		14,53	
	38,6992	2,0058	40,3465	82,13		17,87		14,92	
HDPE-A3	37,2468	2,0039	38,9293	83,96	83,95	16,04	16,05	13,39	13,40
	37,4221	2,0043	39,0976	83,60		16,40		13,70	
	38,3146	2,0038	40,0036	84,29		15,71		13,12	
HDPE-A1	36,4254	2,0028	38,0882	83,02	83,02	16,98	16,98	14,18	14,18
	37,7537	2,0024	39,4208	83,26		16,74		13,98	
	36,3344	2,0034	37,993	82,79		17,21		14,37	
HDPE-A2	35,1253	2,0036	36,8285	85,01	85,00	14,99	15,00	12,52	12,52
	36,8431	2,0025	38,5418	84,83		15,17		12,67	
	37,5745	2,0039	39,2814	85,18		14,82		12,38	

Tabla A.28 Determinación de nitrógeno total y relación carbono nitrógeno en suelos

Muestras	Contenido de Nitrógeno ($\pm 1,0$ mg/L)	Contenido de nitrógeno (g/Kg)	Porcentaje de Nitrógeno (%)	C/N
Inóculo antes del ensayo	135	6,75	0,68	38,34
Inóculo después del ensayo	88	4,40	0,44	35,42
Celulosa	115	5,75	0,58	25,53
HDPE -A1	110	5,50	0,55	25,77
HDPE -A2	95	4,75	0,48	26,36
HDPE -A3	99	4,95	0,50	27,08

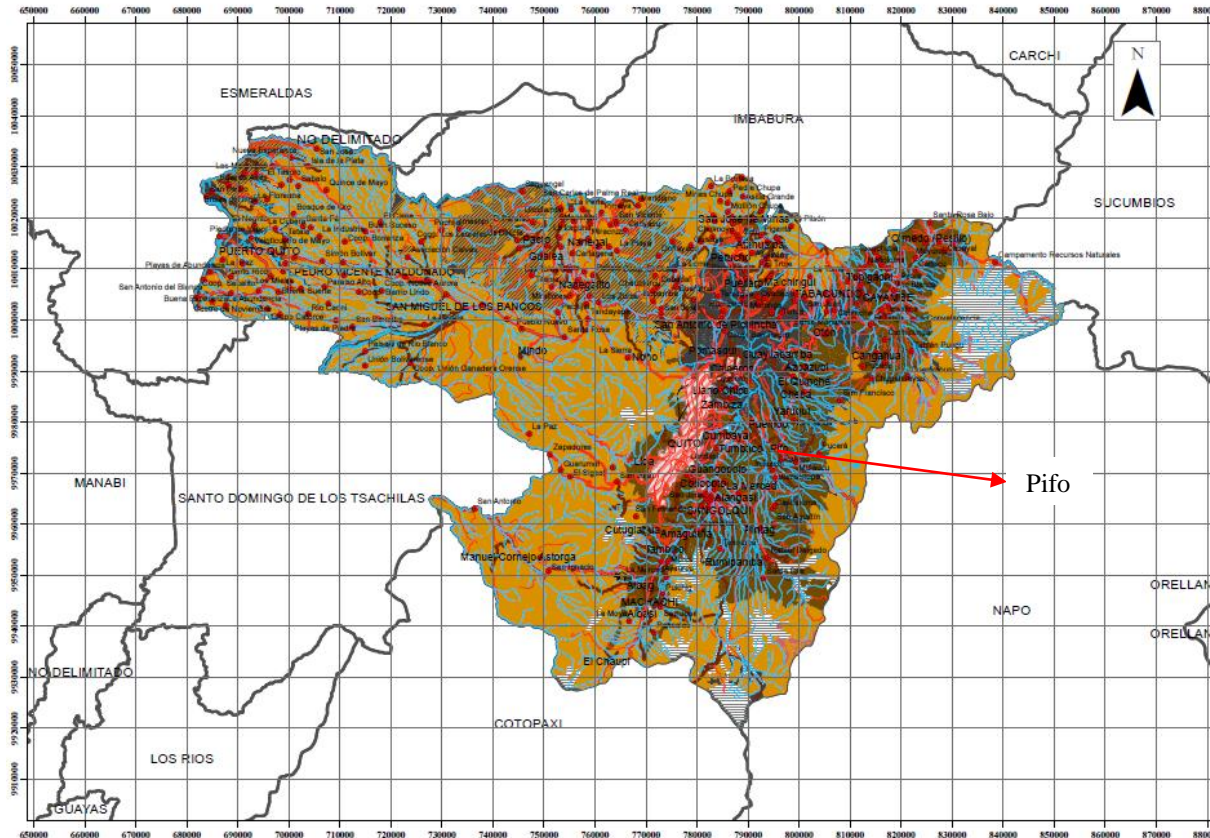
Tabla A.29 Control de temperatura

Días	Fechas	Temperatura (±0.01 °C)	Días	Fechas	Temperatura (±0.01 °C)
1	26/09/2014	58,47	46	11/11/2014	57,36
3	29/09/2014	59,23	47	12/11/2014	58,25
4	30/09/2014	59,45	48	13/11/2014	59,05
5	1/10/2014	58,12	49	14/11/2014	60,00
6	2/10/2014	57,35	52	17/11/2014	58,14
7	3/10/2014	58,22	53	18/11/2014	57,32
10	6/10/2014	58,97	54	19/11/2014	58,86
11	7/10/2014	58,67	55	20/11/2014	60,00
12	8/10/2014	59,68	56	21/11/2014	58,24
13	9/10/2014	59,70	59	24/11/2014	57,42
14	10/10/2014	59,32	60	25/11/2014	57,37
17	13/10/2014	58,13	61	26/11/2014	58,92
18	14/10/2014	59,71	62	27/11/2014	59,41
19	15/10/2014	58,71	63	28/11/2014	59,75
20	16/10/2014	60,00	66	1/12/2014	60,00
21	17/10/2014	58,48	67	2/12/2014	56,97
24	20/10/2014	59,53	68	3/12/2014	58,89
25	21/10/2014	60,00	69	4/12/2014	59,6
26	22/10/2014	58,71	70	5/12/2014	60,00
27	23/10/2014	57,00	73	8/12/2014	59,05
28	24/10/2014	58,38	74	9/12/2014	57,13
31	27/10/2014	58,62	75	10/12/2014	59,82
32	28/10/2014	60,27	76	11/12/2014	57,59
33	29/10/2014	57,12	77	12/12/2014	59,02
34	30/10/2014	58,53	80	15/12/2014	58,07
35	31/10/2014	57,25	81	16/12/2014	58,14
38	3/11/2014	60,00	82	17/12/2014	57,67
39	4/11/2014	58,47	83	18/12/2014	59,17
40	5/11/2014	58,63	84	19/12/2014	58,37
41	6/11/2014	58,07	88	23/12/2014	59,45
42	7/11/2014	58,51	90	26/12/2014	59,20
45	10/11/2014	58,64			

ANEXO 6. MAPA DE SUELOS DE PICHINCHA - TAXONOMÍA

PROVINCIA DE PICHINCHA - MAPA DE SUELOS (VARIABLE TAXONOMÍA)

ECUADOR - ESCALA 1:750.000



LEYENDA

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA POR ORDEN

- ENTISOL
- HISTOSOL
- INCEPTISOL
- INCEPTISOL+ENTISOL
- MOLLISOL
- NO APLICABLE

DESCRIPCIÓN DE ORDEN	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE (%)
ENTISOL	108.260	11,4
HISTOSOL	4.444	0,5
INCEPTISOL	536.089	56,3
INCEPTISOL+ENTISOL	71.840	7,5
MOLLISOL	168.181	17,6
NO APLICABLE	64.316	6,7
TOTAL	953.795	100,0

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

DRENALES

Vías

Por Categoría

- Carretera (estrada angosta)
- Carretera (estrada dos o más vías)
- Carretera pavimentada angosta
- Carretera pavimentada dos o más vías
- Carretera pavimentada dos o más vías (paralelas)
- CUERPOS DE AGUA
- CIUDADES PRINCIPALES
- LÍMITE PROVINCIAL



Escala Gráfica 1:750.000

0 3 6 12 18 34 Km

SISTEMA: WGS84 ZONA 17 SUR
DATUM VERTICAL: NIVEL MEDIO DEL MAR
DATUM HORIZONTAL: WORLD GEODENSIC SYSTEM (WGS)

Corresponda a la identificación taxonómica de suelos, realizado a través de inventario en un sistema adaptado al Ecuador, considerando como base a la clasificación de la Soil Taxonomy. La elaboración de este mapa resultó de un estudio de campo profesional, investigación de campo (caracterización de unidades), ajuste de unidades taxonómicas.

Este es un producto de la Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CS-IN). Este producto también puede ser consultado en el portal del MAOA: <http://portal.maoa.gob.ec/>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca
Coordinación General del Sistema de Información Nacional - CGSIN

PROVINCIA DE PICHINCHA
MAPA DE SUELOS - TAXONOMÍA

Elaborado por:	NR, DECD	Fecha:	Proyecto MAO-SCA-CL-BSEB, Cartografía Esc. 1:250.000, 2012 Proyecto MAO-SCA-CL-BSEB, Taxonomía, 1:250.000, 2012
Fecha de Elaboración:		Escalas:	Escala de Trabajo: 1:250.000 Escala de Reproducción: 1:750.000

Figura A.6.18 Mapa de suelos de Pichincha-Taxonomía

Declaración y Autorización

Yo, María Judith Terán Santamaría, con CC. 1003859327, autora del trabajo de graduación titulado: “Estudio de biodegradabilidad aeróbica de polietileno de alta densidad mediante compostaje con aditivos degradantes”, previa la obtención del grado académico de **LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS** en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENECYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 27 de enero de 2017

CC. 1003859327