

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

### ESTUDIO COMPARATIVO DE COMPOSTABILIDAD DE MATERIALES CON ECO-ETIQUETADO COMERCIALIZADOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

**ANDRÉS ALEJANDRO GUTTINGER BERNAL**

[andres.guttinger@epn.edu.ec](mailto:andres.guttinger@epn.edu.ec)

**JÉSSICA PAOLA LIMA HERNÁNDEZ**

[jessica.lima@epn.edu.ec](mailto:jessica.lima@epn.edu.ec)

**DIRECTORA:** Ing. Gallardo Lastra Lorena Fernanda MSc.  
[lorena.gallardo@epn.edu.ec](mailto:lorena.gallardo@epn.edu.ec)

**CODIRECTORA:** Ing. Aldás Sandoval María Belén MSc.  
[maria.aldas@epn.edu.ec](mailto:maria.aldas@epn.edu.ec)

Quito, septiembre 2021

## DECLARACIÓN

Nosotros, Andrés Alejandro Guttinger Bernal y Jéssica Paola Lima Hernández, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

**ANDRÉS ALEJANDRO**

**GUTTINGER BERNAL**



---

**JÉSSICA PAOLA**

**LIMA HERNÁNDEZ**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Andrés Alejandro Guttinger Bernal y Jéssica Paola Lima Hernández bajo nuestra supervisión.



---

Ing. Gallardo Lastra Lorena  
Fernanda MSc.

**Directora del proyecto**

---

Ing. Aldás Sandoval María  
Belén MSc.

**Codirectora del proyecto**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento inmenso a la Universidad Politécnica Nacional, en especial a la Escuela de Formación de Tecnólogos, por permitirme aprender en sus aulas.

A mis ingenieros de la carrera que con sabiduría han hecho que una profesional salga llena de conocimientos con demasiados sueños por cumplir, en especial a Lorena Gallardo quien me enseñó a apreciar la carrera.

A mis amigos Anahí, Anderson, Sofí, Gutti y Vane por tantas experiencias y apoyo.

***Jéssica***

Quiero agradecer a la Escuela Politécnica Nacional por darme la oportunidad de ser parte de la comunidad politécnica, así como a todos los docentes que conocí a lo largo de mi formación como profesional.

Agradezco de igual manera a mis directoras de tesis la Ing. Lorena Gallardo e Ing. María Belén Aldás y de igual manera al Ing. Vladimir Valles, quienes nos guiaron durante la realización del trabajo y tuvieron infinita paciencia para dirigir este trabajo de investigación.

Agradezco a mis amigos de la facultad Jéssica, Vanessa, Anahí, Sofía y Anderson, ya que gracias a ellos me he formado como profesional y como persona a lo largo de toda la carrera.

Un especial agradecimiento a Melina, quien gracias a su cariño y apoyo tuve la fuerza para terminar la carrera.

Agradezco a mis hermanos Ronny, Mateo y Alexandra por estar pendientes de mí y estar presente en los momentos más importantes de mi vida.

***Andrés***

## DEDICATORIA

Dedicada especialmente para mis padres Cecilia y Luis, por todo el cariño, apoyo y que me brindan desde siempre para lograr mis metas.

A mis mejores amigas Dayana y Joana con quienes he compartido tantas experiencias de vida y me han mostrado su verdadera amistad desde hace muchos años.

Esta tesis es dedicada con todo el amor del mundo para mi hermana Diana, porque siempre ha sido mi inspiración para superarme, por sus consejos y apoyo en todo momento. Te quiero tanto, siempre juntas ñañita de mi vida.

***Jéssica***

Dedico desde los más profundo de mi ser este trabajo a mi papá quien a pesar de ya no estar en este mundo, sé que estaría contento de mi progreso en el mundo profesional, estoy muy agradecido por tus enseñanzas ya que sin ellas no sería quien soy el día de hoy.

Quiero dedicar este trabajo a mi mama, a mi padrastro, mi tío y a mi abuela (Mami Toti) por apoyarme en los momentos más duros durante la carrera, si no fuera por ustedes no hubiese podido culminar con mis estudios.

***Andrés***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
ACRÓNIMOS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Antecedentes .....	4
1.5. Marco Teórico .....	5
1.5.1. Polímeros .....	5
1.5.2. Biopolímeros.....	5
1.5.3. Bioplásticos.....	6
1.5.4. Biodegradación .....	7
1.5.4.1 Técnicas complementarias .....	8
1.5.4.2. Calorimetría Diferencia de Barrido (DSC).....	8
1.5.4.3. Análisis Termogravimétrico (TGA) .....	8
1.5.4.4. Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier (FTIR) .....	9
1.5.4.5. Características de un espectro. ....	9
1.5.5. Compostaje .....	10
1.5.5.1. Técnica de compostaje.....	11
1.5.5.2. Método Takakura .....	11
1.5.6. Parámetros importantes.....	12
1.5.6.1. Aireación.....	13
1.5.6.2. Humedad.....	13

1.5.6.3. Temperatura .....	14
1.5.6.4. pH.....	15
1.5.6.5. Relación Carbono-Nitrógeno .....	15
1.5.7. Greenwashing .....	16
2. METODOLOGÍA .....	17
2.1. Realizar un levantamiento de información de productos desechables biodegradables con “Eco-etiquetado” en los supermercados del DMQ. ....	17
2.1.1. Selección de productos para el estudio comparativo de compostabilidad. ....	18
2.1.2. Ubicación del Proyecto .....	20
2.2. Determinación de la compostabilidad de los productos seleccionados a través de la técnica de compostaje. ....	21
2.2.1. Cálculo de Relación Carbono/Nitrógeno. ....	22
2.2.2. Codificación de los productos.....	24
2.2.3. Adaptación del lugar de compostaje. ....	25
2.2.4. Verificación de parámetros. ....	28
2.2.5. Caracterización por FTIR de los productos seleccionados .....	28
3. RESULTADOS .....	29
3.1. Análisis de los datos del levantamiento de la línea base de productos con eco-etiquetado.....	29
3.1.1. Materias primas encontradas en el levantamiento de información.....	29
3.1.2. Resultado de las matrices de pares.....	29
3.1.3. Hallazgos obtenidos en el levantamiento de información. ....	32
3.2. Detalle de prueba de biodegradabilidad mediante la técnica de compostaje. ....	33
3.2.1. Elaboración de la semilla .....	33
3.2.2. Proceso de compostaje.....	33
3.2.2.1. Parámetros analizados.....	34
3.2.3. Proceso de biodegradación de los productos. ....	39
3.3. Análisis de los resultados de los espectros mediante FTIR para identificar la biodegradabilidad de los productos. ....	48
3.3.1. Caracterización por FTIR de los productos seleccionados .....	48
3.3.2. Interpretación de espectros de los productos seleccionados.....	58
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
4.1. Conclusiones .....	64
4.2. Recomendaciones.....	65
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
6. ANEXOS .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de productos con eco-etiquetado en los supermercados del DMQ.....	17
<b>Tabla 2.</b> Escala de valores y criterios .....	18
<b>Tabla 3.</b> Matriz de Pares.....	19
<b>Tabla 4.</b> Codificación de productos.....	25
<b>Tabla 5.</b> Matriz de Pares-Costo.....	30
<b>Tabla 6.</b> Matriz de Pares-Información Web.....	30
<b>Tabla 7.</b> Matriz de Pares Final.....	31
<b>Tabla 8.</b> Registro visual. Vaso Dreampack (VC01).....	40
<b>Tabla 9.</b> Registro visual. Vaso Darnel (VC02).....	41
<b>Tabla 10.</b> Registro visual. Plato Darnel (PC01).....	42
<b>Tabla 11.</b> Registro visual. Plato Ecompake (PC02).....	43
<b>Tabla 12.</b> Registro visual. Cubiertos Biofase (CC01).....	44
<b>Tabla 13.</b> Registro visual. Cubiertos Eco-solutions (CC02).....	45
<b>Tabla 14.</b> Espectros FTIR. Vaso Dream Pack (VC01).....	49
<b>Tabla 15.</b> Espectros FTIR. Vaso Darnel (VC02).....	50
<b>Tabla 16.</b> Espectros FTIR. Vaso plástico tradicional (VP01).....	51
<b>Tabla 17.</b> Espectros FTIR. Plato Darnel (PC01).....	52
<b>Tabla 18.</b> Espectros FTIR. Plato Ecompake (PC02).....	53
<b>Tabla 19.</b> Espectros FTIR. Plato tradicional (PP01).....	54
<b>Tabla 20.</b> Espectros FTIR. Cubiertos Biofase(CC01).....	55
<b>Tabla 21.</b> Espectros FTIR. Cubiertos Eco Solutions (CC02).....	56
<b>Tabla 22.</b> Espectros FTIR. Cubiertos tradicionales (CP01).....	57
<b>Tabla 23.</b> Monitoreo de semilla Método Takakura.....	72



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Aspecto general de un espectro por FTIR .....	10
<b>Figura 2.</b> Cubiertos Biofase .....	19
<b>Figura 3.</b> Cubiertos EcoSolutions .....	19
<b>Figura 4.</b> Vaso Darnel .....	20
<b>Figura 5.</b> Vaso Dream Pack.....	20
<b>Figura 6.</b> Plato Darnel.....	20
<b>Figura 7.</b> Platos Ecompake .....	20
<b>Figura 8.</b> Ubicación Proyecto. ....	20
<b>Figura 9.</b> Solución Dulce .....	21
<b>Figura 10.</b> Solución Salada. ....	21
<b>Figura 11.</b> Base de la semilla-tercera fase.....	22
<b>Figura 12.</b> Semilla del compost Método Takakura .....	22
<b>Figura 13.</b> Relación C/N de subproductos agrícolas.....	23
<b>Figura 14.</b> Alimentación de la semilla con césped .....	24
<b>Figura 15.</b> Productos con su respectiva codificación.....	25
<b>Figura 16.</b> Perforación de las tinas.....	26
<b>Figura 17.</b> Pilas de compost.....	26
<b>Figura 18.</b> Estructura protectora. ....	26
<b>Figura 19.</b> Cortes regulares 25mm x25mm .....	27
<b>Figura 20.</b> Cortes irregulares 25 mm (longitud). ....	27
<b>Figura 21.</b> Productos dentro del compost. ....	27
<b>Figura 22.</b> Valores de temperatura-vasos .....	35
<b>Figura 23.</b> Valores de temperatura-platos. ....	35
<b>Figura 24.</b> Valores de temperatura-cubiertos. ....	35
<b>Figura 25.</b> Valores de humedad- vasos. ....	37
<b>Figura 26.</b> Valores de humedad-platos.....	37
<b>Figura 27.</b> Valores de humedad-cubiertos.....	37
<b>Figura 28.</b> Valores de pH-vasos. ....	38
<b>Figura 29.</b> Valores de pH-platos.....	39
<b>Figura 30.</b> Valores de pH-cubiertos. ....	39
<b>Figura 31.</b> Valores de temperatura- Semilla.....	73
<b>Figura 32.</b> Valores de pH- Semilla.....	73

<b>Figura 33.</b> Valores de humedad-Semilla. ....	73
<b>Figura 34.</b> Valores de temperatura vasos duplicados. ....	75
<b>Figura 35.</b> Valores de temperatura platos duplicados. ....	75
<b>Figura 36.</b> Valores de temperatura cubiertos duplicados. ....	75
<b>Figura 37.</b> Valores de humedad vasos duplicados. ....	76
<b>Figura 38.</b> Valores de humedad platos duplicados. ....	76
<b>Figura 39.</b> Valores de humedad cubiertos duplicados. ....	76
<b>Figura 40.</b> Valores de pH duplicados. ....	77
<b>Figura 41.</b> Valores de pH duplicados. ....	77
<b>Figura 42.</b> Valores de pH duplicados. ....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I.</b> Cálculo de relación C/N.....	71
<b>ANEXO II.</b> VALORES DE PARÁMETROS -SEMILLA. ....	72
<b>ANEXO III.</b> Resultado -Relación CO/NO .....	74
<b>ANEXO IV.</b> Curvas de parámetros (Duplicados). ....	75
<b>ANEXO V.</b> Tabla de asignación de bandas para FTIR.....	78
<b>ANEXO VI.</b> Espectros FTIR – “Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja”	79
<b>ANEXO VII.</b> Guía Metodológica para analizar la compostabilidad de productos con eco-etiquetado.....	80

## ACRÓNIMOS

**C:** Carbono

**CIAP:** Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros

**DMQ:** Distrito Metropolitano de Quito

**EPN:** Escuela Politécnica Nacional.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FONAG:** Fondo para la protección del agua

**FP:** Factor de Ponderación

**FTIR:** Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**N:** Nitrógeno

**NTE:** Normativa Técnica Ecuatoriana.

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas

**pH:** Potencial de Hidrógeno

**PHAs:** Polihidroxialcanoatos

**PLA:** Ácido Poliláctico.

**PO:** Peso de la Opción.

**PUSU:** Plásticos de un solo uso

## RESUMEN

La investigación se realizó con el propósito de demostrar si los productos con eco-etiquetado presentes en los supermercados del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) cumplen con ciertas características y no forman parte de una estrategia de venta conocida como *greenwashing* que es la falsa imagen pública de algunos productos que tienen “eco-etiquetado” que se venden ante el consumidor, creando una percepción de que estos son amigables con el ambiente por las características que se infieren.

Se tomó en cuenta con qué tipo de materia prima se elaboró cada producto, para lo cual fue necesario elaborar matrices de caracterización de los productos, posteriormente y mediante una matriz de selección se eligieron a los productos según tres categorías que son vasos, platos y cubiertos.

La metodología utilizada fue adaptada a un contexto doméstico la cual incluyó el análisis de parámetros como la temperatura, humedad y pH, tal como explica la normativa ecuatoriana INEN NTE 2640:2012.

Para determinar la biodegradación de los productos se realizó un análisis de espectroscopía FTIR con la colaboración del Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), en el cual se observó cómo varían los grupos funcionales presentes. Aquí se evidenciaron los cambios que sufre cada producto, la biodegradación también se verificó con el apoyo necesario de un registro fotográfico y un detalle visual y palpable.

Para acelerar el proceso de compostaje se implementó el método Takakura y se realizó en clima templado para evitar interferencias por cambios bruscos de clima, además los materiales para el desarrollo de esta investigación son de fácil acceso.

**PALABRAS CLAVE:** ECO ETIQUETADO, BIODEGRADACIÓN, COMPOSTAJE, TAKAKURA.

## ABSTRACT

The research was conducted with the purpose of demonstrating whether the products with eco-labeling present in supermarkets in the Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) comply with a certain characteristics and are not part of a sales strategy known as greenwashing, which is the false public image of some products that have "eco-labeling" that are sold to the consumer, creating a perception that these are environmentally friendly because of the characteristics that are inferred.

The type of raw material used in the production of each product was taken into account, for which it was necessary to prepare product characterization matrix, and then, by means of a selection matrix, the products were selected according to three categories: cups, plates and cutlery.

The methodology used was adapted to a domestic context and included the analysis of parameters such as temperature, humidity and pH, as explained in the Ecuadorian standard INEN NTE 2640:2012.

To determine the biodegradation of the products, a FTIR spectroscopy analysis was performed with the collaboration of the Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) of the "Escuela Politécnica Nacional" (EPN), in which it was observed how the functional groups present vary, here the changes suffered by each product were evidenced, the biodegradation was also verified with the necessary support of a photographic record and a visual and palpable detail.

In order to accelerate the composting process, the Takakura method was implemented and it was carried out in a temperate climate to avoid interferences due to abrupt changes of climate, besides, the materials for the development of this research are easily accessible.

**KEYWORDS:** ECO LABELING, BIODEGRADATION, COMPOSTING, TAKAKURA.

# 1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

## 1.1.Introducción

Los plásticos son polímeros que desde su creación ha tenido mucha importancia por sus ventajas ya que ha sido utilizado en diferentes campos tanto en la ciencia como en la vida cotidiana. Sin embargo, al observar los plásticos de un solo uso (PUSU) conocidos como plásticos desechables (envases de alimentos, fundas plásticas, botellas, vasos, cubiertos, entre otros); estos han generado gran cantidad de problemas ambientales de tal manera que la producción y consumo se ha elevado lo cual hace imposible lidiar con la cantidad de residuos plásticos en el planeta (ONU Medio Ambiente, 2018, pp. VI-2).

Como una manera diferente de enfocar el uso de plásticos se han creado ideas innovadoras que son amigables con el ambiente, consisten en la creación de productos con bases naturales o conocidas como biopolímeros, el propósito de estas ideas es que los productos al ser descartados posterior a su uso no causen efectos dañinos a la naturaleza, a estos se los identifica como productos biodegradables y/o compostables (Ballesteros, 2014, p. 2).

Según el Informe Técnico sobre el análisis para la reducción progresiva de plásticos de un solo uso y el fenómeno al desarrollo de sustitutos reutilizables, biodegradables y/o compostables en el DMQ, elaborado por la Secretaria de Desarrollo Productivo (2020), se menciona que:

En Quito se identifican cerca de 50 alternativas “ambientalistas” o de productos sustitutos a los plásticos de un solo uso, contabilizando tanto productos como prototipos fabricados locales e importados. De estas, aproximadamente dos tercios se fabrican en la ciudad y el 85% son compostables en condiciones naturales (Secretaría de Desarrollo Productivo, 2020, p. 8)

Dada la presencia de diferentes opciones, es importante que se explique a los productores y consumidores a que se refieren los términos biodegradable y compostable y como estos van de la mano, con el propósito de tener un panorama mucho más claro y así definir a qué condiciones se deben someter los productos para que logre su objetivo, ya que dichos productos toman cierto tiempo en degradarse (Secretaría de Desarrollo Productivo, 2020, p. 9).

Con base a la necesidad de alternativas biodegradables algunas empresas han querido aprovecharse de la conciencia ambiental de los consumidores al poner etiquetas eco amigables en productos que no tienen las características adecuadas para ser clasificadas de esta manera,

lo cual genera sobreprecios en productos que no son diferentes a los productos desechables, este concepto se conoce como *greenwashing* (Alejos ,2013).

Al momento de desarrollar este proyecto de titulación (septiembre 2021), en el DMQ se analiza Ordenanzas Metropolitanas del Código Municipal referente a la reducción o eliminación de plásticos, en las cuales también se enfocan a la sustitución de productos biodegradables o compostables, sin embargo, aún no existen especificaciones claras; pero a nivel Nacional se presenta la Norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE 2643, que trata sobre las especificaciones para plásticos compostables, no obstante, solo aplica para el compostaje de los materiales en instalaciones municipales e industriales de forma aerobia (INEN NTE 2643, 2012, p.1).

De tal manera que los procedimientos que se detallan en la normativa INEN NTE 2640 y 2643 se refieren a procesos netamente realizados en laboratorio. Sin embargo, debido a la crisis sanitaria en Ecuador y las restricciones de entrada a los laboratorios de la EPN, se realizó una adaptación de la normativa para realizar el estudio de manera doméstica.

Por ello se adecuaron los parámetros de las normativas para que se pueda establecer una buena comparación entre los productos seleccionados y así reconocer si dichos productos con eco-etiquetado forman parte de una verdadera publicidad ambiental o simplemente pertenecen a la gran cantidad de compañías que aplican el *greenwashing*, generando un nivel de engaño al consumidor.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Estudiar el grado de compostabilidad de materiales con “Eco-etiquetado” comercializados en el Distrito Metropolitano de Quito.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar un levantamiento de información de productos desechables biodegradables con “Eco-etiquetado” en los supermercados del DMQ.
- Determinar la compostabilidad de los productos seleccionados a través de la técnica de compostaje.
- Analizar los resultados de las características físicas y químicas (FTIR), de los productos seleccionados.



- Realizar recomendaciones a partir de los datos obtenidos para futuros lineamientos y estandarizaciones de productos biodegradables.

### **1.3.Justificación**

Tras años de estudios enfocados en generar alternativas al uso de los polímeros (plásticos), se han desarrollado los polímeros de origen biológico que son conocidos como biopolímeros, mismos que pertenecen al grupo de polímeros degradables o biodegradables. Éstos se derivan de diferentes fuentes renovables como el almidón, la celulosa, el ácido poliláctico (PLA), entre otros (Labeaga, 2018, p. 5).

Los biopolímeros no siempre tienen características semejantes a los plásticos convencionales, como, por ejemplo, la resistencia y maleabilidad. Usualmente son más frágiles y más maleables, de tal manera que para alcanzar las características de resistencia ha sido necesario generar un tipo de película o cubierta bioplástica la cual da origen a los bioplásticos (Narváez, 2016, p.11).

En la investigación de Sernaqué et al.(2020) se concluye que “en los biopolímeros se genera una degradación del 93,06%, mientras que en los bioplásticos existe una biodegradación del 73,16%, en un tiempo estimado de 150 días, dando así una factibilidad de estudio a dichos materiales” (p.23).

Dado que la biodegradación puede definirse mediante el método de compostaje, se debe tomar en cuenta que “todos los plásticos compostables son biodegradables, pero no todos los plásticos biodegradables son compostables” (Peinado , 2015, p. 2).

Es por ello que los fabricantes de los biopolímeros se deben guiar en diferentes normativas que detallan métodos a ser aplicados en la biodegradación de materiales bioplásticos, así como en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2643:2012 y los diferentes estándares internacionales empleados para validar la compostabilidad de un material plástico como: la EN 13432 (Europea), AS 4736 (Australia), ISO 17088 (Internacional) y ASTM D6400.

De tal manera que este estudio da relevancia a los biopolímeros y bioplásticos que forman parte de los productos de supermercados con “eco-etiquetado” para comprobar si la imagen o distintivo “verde”, “ecológica” o “ambiental” que tienen en su etiqueta comercial forma parte de los productos verdaderamente biodegradables que atraen al público por los bajos índices de daño ambiental.

La presente investigación utilizó una metodología adaptada a condiciones domésticas debido a la emergencia sanitaria por la COVID-19 que obligó el confinamiento durante el desarrollo de

este proyecto de titulación. Por tanto, se espera que este estudio ayude con pautas para futuras investigaciones y estandarizaciones de productos biodegradables.

#### **1.4. Antecedentes**

Después de diferentes estudios referente al plástico desechable tradicional, se han evidenciado las grandes desventajas que este tipo de producción y productos presentan ante el ambiente. Dado los avances tecnológicos con respecto a la biodegradación de materiales desechables se ha desarrollado una opción “más ecológica” la cual permite generar un impacto ambiental bajo o nulo (Labeaga, 2018, pp.4,5).

Varios estudios se han enfocado en describir de una manera informativa como se realiza el proceso de biodegradación de los productos conocidos como amigables con el ambiente, tal es el caso del artículo de Oviedo y Navarro (2019), el cual explica que “para que se desarrolle la biodegradación es muy importante conseguir las condiciones necesarias del medio o entorno con el fin de que los microorganismos ayuden a la degradación y se obtenga una asimilación completa del material, además este proceso evita que quede algún tipo de residuos tóxicos en el suelo” (p. 4).

Entre los productos elaborados a base de materia prima orgánica, se menciona que los materiales hechos a base de almidón de maíz contemplan un proceso de descomposición alrededor de los 180 días, mientras que los productos fabricados a base de plátano y yuca consideran un periodo de degradación de 18 meses.

En la investigación realizada por Quinatoa (2012), titulada “**Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la asociación Santa Catalina del cantón Píllaro**”, consiste en observar la biodegradación de diferentes polímeros utilizando diferentes ensayos que se realizan a productos que tiene diferentes orígenes, predominando el origen natural (fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables).

Los ambientes a tratar para la biodegradación consisten en: suelo alcalino, suelo ácido, suelo neutro y composta. A cada uno de estos suelos se les sometió a un tiempo distinto que comprendían entre los 45, 90, 135 y 180 días para observar los avances y determinar qué ambiente es el más propicio según la puntuación realizada por el autor; tras los ensayos se determinó que el medio favorable para una asimilación del material es la composta, ya que esta presenta una velocidad más rápida de degradación en un tiempo corto.

Ruiz et al. (2013), expresa en su estudio titulado “**Biodegradabilidad de artículos**

**desechables en un sistema de composta con lombriz**”, que los productos elegidos se biodegradan de acuerdo a la técnica de compostaje con lombrices conocida también como vermicomposteo, con el fin de confirmar que cumplen con parámetros de su “eco etiqueta”. Para el análisis se obtuvieron cuatro muestras que pertenecen al área de productos biodegradables en el supermercado, la muestra #1 proviene de bagazo de caña, muestra #2 desechable PLA (ácido poliláctico), muestra #3 papel recubierto de PLA, muestra #4 fécula de maíz. Se realizaron dos pruebas, la primera muestra se reflejó en un ambiente favorable para las lombrices respecto a su alimentación, los parámetros fueron controlados durante el estudio, el periodo destinado inicialmente fue de 30 días, en esta prueba solo la primera muestra obtuvo un porcentaje muy elevado de degradación llegando a un 100%. Para las otras muestras se alargó el plazo a 90 y 180 días en los cuales las muestras 2 y 3 lograron un porcentaje medio en asimilación, finalmente se menciona que los productos de la muestra 4 no son aptos para el composteo casero, debido a que no presentó un porcentaje aceptable de degradación.

## **1.5. Marco Teórico**

### **1.5.1. Polímeros**

Uno de los compuestos químicos que se encuentran en la mayoría de los hogares son los polímeros, los cuales forman parte de la gran cantidad de macromoléculas presentes en la naturaleza, es decir “estas moléculas están conformadas por varios átomos, los cuales les atribuyen elevados pesos moleculares y un sinnúmero de características como es el tamaño y las diferentes propiedades mecánicas que pueden adquirir en estado sólido” (Labeaga, 2018, p.6). Actualmente los polímeros son utilizados en diversos sectores de producción ya que bajo costo y propiedades mecánicas son ideales para la creación de algunos productos (Rojas y Aranzazu, 2015, p.38).

Debido a la utilidad de los polímeros en las industrias, existe un incremento en la demanda de los mismos y poca conciencia de reutilizarlos y desecharlos adecuadamente, como consecuencia se encontraron con muchos efectos adversos debido al cambio climático que provoca la industria de los polímeros, por el tipo de residuo que producen.

### **1.5.2. Biopolímeros**

Los biopolímeros son polímeros biodegradables, pueden degradarse por la intervención de microorganismos, dicha acción hace que este tenga un bajo peso molecular, esta característica

ayuda a comprobar que el biopolímero no forma parte de un elemento tóxico y perjudicial para la naturaleza, ya que los biopolímeros se basan en recursos degradables y renovables los cuales cumplen con estándares científicas reconocidas para la biodegradabilidad (Narváez, 2016, p.7). De acuerdo con los estudios realizados por Valero et al., (2013) y ECOEMBES (2009), los biopolímeros cuentan con una clasificación importante según su origen:

- Primer grupo: enfocado a los biopolímeros creados a partir de biomasa, consta de un subgrupo al cual pertenecen los polisacáridos (almidón y celulosa) y proteínas (soya, gluten, caseína). Este tipo de biopolímeros a partir de biomasa también se los conoce como los plásticos de futuro, ya que estos podrían parcialmente sustituir a los plásticos tradicionales.
- Segundo grupo: sintetizados a partir de biomonomeros o conocidos como monómeros Bio-derivados, se divide en Ácido Poliláctico (PHL) y aceites vegetales. Los materiales en esta clasificación presentan características como resistencia a la abrasión, ataque químico y a la adhesión, también presenta propiedades mecánicas que los caracterizan.
- Tercer Grupo: biopolímeros producidos a partir de microorganismos, se da a partir de la mezcla de sustrato, enzimas y bacterias; dando como resultado el Polihidroxialcanoato (PHA). Una de las ventajas de este grupo de biopolímeros es que son completamente biodegradables ya que son mineralizados mediante la acción de los microorganismos, mediante estudios existen datos de la presencia de más de trescientas especies de microorganismos degradadores los cuales pueden ser colocados en diferentes sistemas de cultivo.

Los biopolímeros nacen como una alternativa a los plásticos convencionales, creados con el fin de que su desintegración se dé una manera más rápida para evitar cualquier tipo de contaminación o daño a la naturaleza ya que “cuentan con propiedades muy similares a los plásticos derivados del petróleo son parte de la mejor alternativa para combatir la contaminación de plástico tradicional” (Vega y Montaña , 2020, p. 193).

### **1.5.3. Bioplásticos**

De acuerdo al estudio de Narváez, (2016) los bioplásticos “se generan por la aplicación de una cubierta bioplástica (película) que se aplica a los biopolímeros para dar una buena estructura, porque el producto resultante de los biopolímeros no es tan efectivo en todos los casos y pueden ser quebradizos generando una desventaja” (p.8).

La elaboración de los bioplásticos también llamados polímeros biosintéticos, se da

principalmente de residuos orgánicos o alimentos (yuca, plátano, entre otros), los cuales no contienen aditivos sintéticos tóxicos, como puede ser los PHAs; sus aplicaciones más comunes pertenecen a la realización de cubiertos, bolsas, envases de alimentos entre otros que puedan remplazar a los plásticos convencionales (Ballesteros, 2014, p.9).

#### **1.5.4. Biodegradación**

Como se menciona en la investigación de García, (2015) “La biodegradación es la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar o mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos con menor peligro, los cuales se pueden integrar a los ciclos biogeoquímicos naturales” (p. 21).

A partir de la idea anterior, se debe tomar en cuenta la velocidad de biodegradación del plástico ya que influyen varios factores como pH, dimensión del polímero, cantidad de microorganismos, humedad, temperatura y otros nutrientes presentes para dicho proceso, por tanto, la biodegradación es un proceso en el cual no interviene la mano del hombre (García, 2015, p. 21).

Adicionalmente, se puede referir a la biodegradación como la asimilación y degradación de los polímeros por los organismos vivos, principalmente microorganismos tales como hongos, bacterias, entre otros (Posada, 2016, p. 84).

Según los datos de Greenpeace en su artículo Basura Cero: Bolsas Biodegradables (2009), la biodegradación se clasifica en dos tipos de procesos:

- Biodegradación aeróbica: este tipo de biodegradación se desarrolla en presencia de oxígeno dando como resultado la biomasa, agua, minerales y dióxido de carbono del proceso de degradación.
- Biodegradación anaeróbica: este tipo de biodegradación carece de oxígeno, dando como resultado biogas (metano), minerales, agua, metabolitos intermedios y biomasa.

En estos dos tipos de procesos se pueden presentar cambios en la estructura molecular también se pueden metabolizar sustancias químicas debido a los microorganismo que transforman la materia en compuestos inorgánicos (Ballesteros, 2014, p.5).

Para poder determinar como se va a degradar un material, Ballesteros (2014), recomienda someter a los materiales a las siguientes pruebas estructurales.

- Pruebas de elongación

Consiste en someter a un material a una determinada fuerza de tensión (estiramiento) para conocer qué tan resistente o rígido es. Se interpreta en porcentaje con respecto a la longitud

original, además, a partir de esta prueba se puede encontrar tres propiedades: deformación, tensión y módulo de elasticidad (Chariguamán, 2015, p.18).

- **Fuerza de tensión**

Se trata del mayor estrés aplicado a un material al exponerse a las pruebas de elongación, “un incremento en la cantidad de plastificante da como resultado bioplásticos con menor fuerza de tensión y una mayor elongación” (Chariguamán, 2015, p. 44).

Todo depende de la fuerza que se aplica al material, es decir si se produce una fuerza que no supera el límite elástico del material, el material puede tener una deformidad en su estructura; mientras que si se aplica una fuerza que supera el límite el material se rompe (Terán et al, 2018).

#### **1.5.4.1. Técnicas complementarias**

Para el desarrollo de los biopolímeros es necesario caracterizarlos con diferentes técnicas para determinar el campo de aplicación. Las pruebas son estructurales y térmicas, entre las más aplicadas están la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA) y la de Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier (FTIR) (Vega y Montaña, 2020, p. 190). Estas técnicas ayudan a estandarizar los procesos de obtención de biopolímeros, para determinar cuál sería la mejor aplicación específica de cada biopolímero, con el fin de analizar o desarrollar materiales responsables con el medio ambiente (Vega y Montaña, 2020, p.190).

#### **1.5.4.2. Calorimetría Diferencia De Barrido (DSC)**

Es una técnica termoanalítica utilizada para la caracterización de materiales, analiza el cambio de propiedades físicas y mecánicas de los materiales con la temperatura, además se emplea para analizar qué cambio presenta un polímero ante el calor. (Espejo, 2011, p. 28).

Permite determinar el calor absorbido o liberado por el polímero cuando se presentan las transiciones térmicas como la fusión, transición vítrea, cristalización, además trabaja en rangos de entre -180 °C a 700 °C y es una alternativa que genera ventajas ya que la cantidad de muestra que se utiliza para los análisis es menor a 20 mg. (Pazmiño, 2013, p. 54).

#### **1.5.4.3. Análisis Termogravimétrico (TGA)**

Es un análisis donde se registra la pérdida o disminución de masa de un componente de una muestra frente al aumento de temperatura durante un tiempo definido (Vega y Montaña, 2020,

p.190).

Los cambios de masa identificados permiten determinar bajo qué condiciones los materiales se descomponen, los resultados se deben interpretar observando los termogramas (resultados gráficos) (Rodríguez y Villegas, 2012, p. 1).

#### **1.5.4.4. Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier (FTIR)**

Para el desarrollo de los biopolímeros es necesario caracterizarlos con diferentes técnicas para determinar el campo de aplicación; las pruebas son estructurales y térmicas, una de las más conocidas lleva el nombre de Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier (FTIR) (Vega y Montaña, 2020, p. 190).

Es una técnica analítica cuyo fundamento consiste en estudiar la interacción entre la radiación de origen infrarrojo y la materia es parte de la espectroscopía de infrarrojo.

Dado que la FTIR, se enfoca en la radiación Mondragón (2017) manifiesta que:

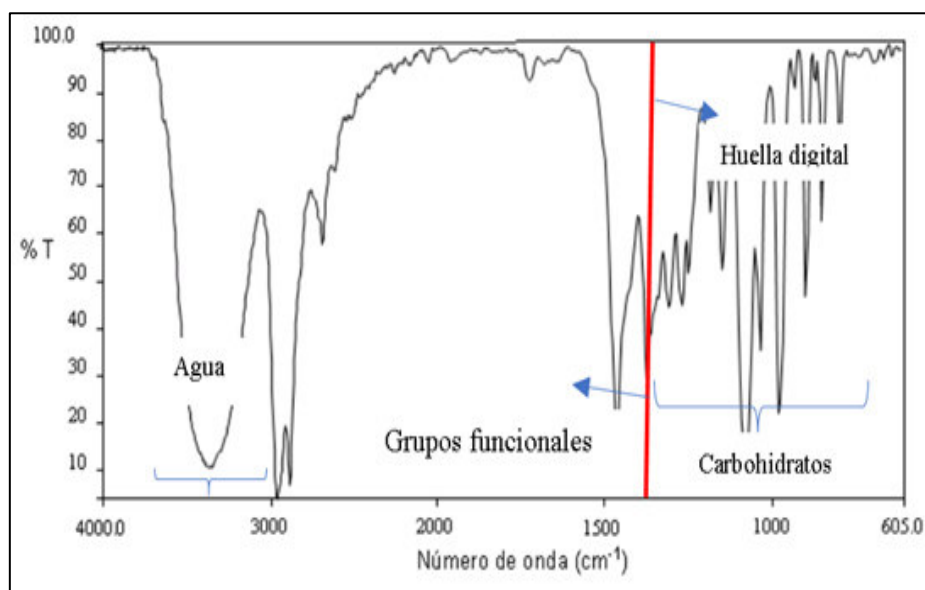
La energía que se puede encontrar en un punto específico de la longitud de onda del infrarrojo, es asimilada por parte de una molécula que está oscilando en el mismo punto específico de la longitud de onda siguiente, lo cual provoca una variación de la oscilación, por lo que en la naturaleza los compuestos orgánicos están formados de moléculas estables que se generan a partir de los enlaces covalentes o iónicos, estos pertenecen a una clasificación de enlaces que presenta la materia en estado sólido, los compuestos orgánicos con estas características son comúnmente analizados por la espectroscopía infrarroja. (pp. 20 -27)

La técnica FTIR permite determinar la composición de los compuestos moleculares e identificar moléculas en una muestra, es decir, ayuda a distinguir los diferentes grupos funcionales que se pueden evidenciar en los espectros (Mondragón, 2017, p.51).

#### **1.5.4.5. Características de un espectro.**

Para interpretar los espectros es necesario saber de qué se trata y sus características básicas, de tal manera que el Departamento de Química Orgánica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en su Manual de Experimentos (2016) menciona que:

El espectro de infrarrojo de un compuesto es una representación gráfica de los valores de número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) ante los valores de por ciento de transmitancia (%T), además la absorción de radiación IR por un compuesto a una longitud de onda dada, origina un descenso en el %T, lo que se pone de manifiesto en el espectro en forma de un pico o banda de absorción. (p.5)



**Fuente:** Investigación Realizada (UNAM y Mondragón)

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

**Figura 1.** Aspecto general de un espectro por FTIR

### 1.5.5. Compostaje

Es uno de los procesos de obtención de material orgánico donde intervienen microorganismos, plantas, enzimas y hongos se lo conoce también como biorremediación, en el cual una de las técnicas más utilizadas para dicho proceso es el compostaje.

El compostaje consiste en una descomposición biológica que se da por la transformación de la materia orgánica en humus, también conocido como abono se genera gracias a la actividad microbiana sobre los residuos orgánicos (Soto,2003).

El compostaje se da en condiciones aerobias es decir necesita la presencia de aire, además para realizar un compostaje es importante que se produzca bajo condiciones controladas, esto depende del tipo de materia orgánica, las técnicas/métodos de compostaje a aplicar y se toma en cuenta la duración del proceso (Escobar et al., 2012).

Por su parte el compost es el resultado homogéneo del proceso de compostaje, ya que “es un acondicionador orgánico natural que mejora las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, de esta manera eleva la porosidad, fortalece la consistencia y estructura, reduce la densidad volumétrica, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, capacidad buffer, reúne nutrientes esenciales” (Bohórquez, et al., 2014, p.74).

En la presente investigación es necesario incluir el compostaje como medio de degradación para los productos seleccionados y con lo antes mencionado la técnica del compost será factible



para el estudio comparativo de materiales.

Es importante aclarar que hay dos tipos de compostaje que son industrial y doméstico,

- Compostaje Industrial.

El compostaje industrial, se refiere al compost producido a gran escala de residuos orgánicos a través de la técnica de compostaje. Durante este proceso se somete al compost a varios procesos de control (humedad, temperatura, pH, CO<sub>2</sub> producido, oxígeno, porosidad, DBO, DTO) que deben mantener rangos que presentan las normativas de cada país, región o ciudad (Martínez et al, 2010).

Este compostaje requiere pruebas de laboratorio, mismos que para los análisis necesitan equipos de laboratorio, reactivos y materiales, con el fin de realizar pruebas bajo determinadas condiciones.

- Compostaje Doméstico.

El compostaje casero se trata de la elaboración de compost a menor escala, dentro del hogar. Como tal el compostaje casero no está estandarizado en ninguna normativa y es una práctica que de igual manera requiere parámetros de control para obtener la materia orgánica transformada en compost (Calderón y Torres, 2021, p. 58).

No existe una guía oficial estandarizada para compostaje ni normativas, por lo cual en este estudio los parámetros de control son humedad, temperatura, pH y el CO<sub>2</sub> producido se puede determinar mediante los valores de pH.

#### **1.5.5.1. Técnica de compostaje**

Según el manual informativo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013), se debe tener puntos fundamentales como:

Duración del proceso, disposición del espacio, seguridad higiénica, material de arranque, condiciones climáticas y las diferentes técnicas se dividen generalmente en sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos son aquellos que se hacen al aire libre, y los cerrados los que se hacen en recipientes o bajo techo. (pp.25 – 30)

El estudio se realizó mediante el sistema cerrado, ya que se utilizó recipientes plásticos colocados bajo una estructura protectora.

#### **1.5.5.2. Método Takakura**

Dado los problemas de mala administración en la recolección de basura que contiene materiales mezclados (orgánicos e inorgánicos), se origina en la ciudad de Surabaya-Indonesia el Método

Takakura el cual fue desarrollado principalmente para reducir la cantidad de desechos (FONAG, 2013, p. 8).

Este método consiste en la reducción de residuos orgánicos a partir de microorganismos aerobios (descomponen la materia orgánica), a través del constante movimiento del compost que reduce la acción de microorganismos anaerobios, lo cual descompone los desechos orgánicos en un tiempo reducido y no genera malos olores (FONAG, 2013).

La característica que brinda el Método Takakura consiste en la aceleración que genera a la técnica del compostaje además de ser muy sencillo ya que solo se necesita la incorporación de los materiales triturados, por lo que es un método económico, fácil y rápido para hacerlo a un nivel más doméstico (Bonilla y Urbina, 2020, p. 29 ).

Dado que este método posibilita la producción de abono orgánico en un período corto de tiempo y en un espacio pequeño, los microorganismos fermentativos generan una eficaz producción de compost (Mejía y Ramos, 2019, p. 44).

Según el estudio realizado por el FONAG, (2013), dicho método conlleva a la realización de las siguientes fases:

- Primera Fase: se elaboran las soluciones, consiste en hacer una mezcla salada y dulce.
- Segunda Fase: incorporar la base de la semilla del compost
- Tercera Fase: dar forma a la compostera.

Dichas fases serán detalladas en la parte metodológica del presente estudio.

### **1.5.6. Parámetros importantes**

En el proceso de compostaje intervienen diferentes parámetros para obtener un resultado y llevar a cabo un registro continuo. En varios estudios se han podido describir los parámetros que se deben tomar en cuenta para realizar este proceso, ya que es necesario dar seguimiento, evaluar y llevar un control.

Los parámetros a evaluar son:

- Aireación.
- Humedad.
- Temperatura.
- pH.
- Relación Carbono-Nitrógeno.

### **1.5.6.1. Aireación**

Puesto que los microorganismos utilizados en este proceso son aerobios se debe asegurar la presencia de oxígeno para el desarrollo del compostaje, por lo cual es importante mantener la oxigenación según la fase en la que se encuentre el compost, en especial durante la fase termofílica (Román et al., 2013, p. 23).

Una constante circulación de oxígeno es importante para homogenizar la mezcla, manteniendo una temperatura uniforme en todo el compost y también evita la generación de plagas (Bravo, 2017).

Se debe destacar que no se exceda la aireación, ya que puede disminuir la temperatura y esto implica perder la humedad necesaria lo cual obstaculiza el proceso; además si existe bajas cantidades de aireación puede presentarse un exceso de humedad la cual es precursora de los malos olores.

### **1.5.6.2. Humedad**

Al tomar en cuenta que la materia orgánica debe tener un proceso de descomposición es importante la presencia de agua para que los microorganismos puedan desarrollarse.

“Los valores óptimos se encuentran en un rango de 45%-60% de humedad en el compostaje, valores menores pueden generar inestabilidad biológica y valores mayores evita una buena oxigenación” (Márquez et al., 2017, p.5).

Dado que la humedad es un parámetro que se analiza in situ, varios autores mencionan que es de vital importancia que el compost cuente con una relación 2:1 es decir que debe contener 2 partes de materiales húmedos y 1 parte de materiales secos. Los materiales húmedos son aquellos que contienen agua y sustancias nutritivas como el nitrógeno (N), mientras que los materiales secos constituyen compuestos básicamente de carbono (C).

Para ello es necesario saber que contienen nitrógeno (N) como son el césped fresco, podas frescas, restos de fruta y verduras, entre otras y contienen carbono (C) el cartón, paja, hojas secas y ramas entre otros (FONAG, 2013, p. 5).

Cuando se presenta demasiada humedad es importante realizar una debida aireación y en caso de que persista el exceso se procede a dispersar el material en finas capas para que se presente una evaporación natural (Sztern y Pravia, 2016, p. 23).

Para determinar la humedad se puede proceder a una sencilla técnica conocida como “técnica del puño”, lo cual consiste en agarrar una muestra del compost del tamaño del puño, apretarlo

fuerte compactándolo y si este no libera gran cantidad de agua se encuentra con una buena humedad (Bravo, 2017, p. 24).

En el Manual de Producción de Compost, de la Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras (2018), se aprecian las características que se pueden presentar en la “técnica del puño” estas son:

- Primer escenario: al apretar una pequeña cantidad de compost y si se observa que escurre agua, significa que el compost necesita ser aireado con más frecuencia.
- Segundo escenario: al apretar una pequeña cantidad de compost y si al abrir el puño este se deshace, significa que requiere más hidratación ya que al presentarse tan seco es necesario reducir los volteos y se debe llevar a un lugar donde no presenten temperaturas muy elevadas.
- Tercer escenario: al apretar una pequeña cantidad de compost y si al abrir el puño se ha formado una masa compacta, esto quiere decir que la cantidad de humedad está en el rango óptimo.

### **1.5.6.3. Temperatura**

La temperatura es un parámetro importante que indica el desarrollo del compostaje, este parámetro señala la actividad microbiana según las fases que atraviesa el proceso (Bonilla y Urbina, 2020, p. 10).

Para el registro del compost se debe tomar en cuenta que la temperatura es un indicador fundamental, ya que el cambio de esta podría dañar a los microorganismos que se han desarrollado.

Según el estudio de Bravo (2017), enlista las fases del compostaje y su respectivo rango de temperatura, de tal manera que:

- Fase Mesofílica (< de 40 °C)
- Fase Termofílica (40 a 60 °C)
- Fase de Enfriamiento (<de 40 °C)
- Fase de Maduración (temperatura ambiente).

Al tomar en cuenta el rango de temperatura según la fase se puede evitar que el proceso se vea truncado por la detención del crecimiento bacteriano.

Por otra parte, al realizar el compost de manera doméstica y no contar con los instrumentos de medición de temperatura, se podrá realizar esta medición con la ayuda del tacto, para lo cual se conoce que la primera y tercera fase del proceso tienen temperaturas calientes pero

soportables al tacto, sin embargo, la segunda fase presenta temperaturas muy altas lo cual hace imposible mantener el contacto con la mano (AECID, 2018, p. 12).

#### **1.5.6.4. pH**

El Potencial de Hidrógeno (pH), indica el grado de acidez o basicidad. En las primeras etapas el pH disminuye por la formación de CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos, su valor puede estar entre 5 y 7. Después va elevando su valor por la liberación de CO<sub>2</sub>, puede llegar a niveles de entre 8 y 9 (Bravo, 2017, p. 25).

El rango ideal en el desarrollo del proceso debe darse entre 4.5 a 8.5.

En el caso de presentarse reacciones desfavorables en la realización del compost, la investigación realizada por Sztern y Pravia (2016), dice que:

Cuando exista presencia de desechos orgánicos agrícolas que tengan un pH muy desplazado del neutro (pH= 7), como es el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales, pueden presentar resistencia a la biodegradación, y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido. De presentarse una situación de este tipo, se debe proceder a determinar el valor del pH y posteriormente realizar una neutralización mediante la adición de piedra caliza, calcáreo o carbonato de calcio de uso agronómico. (p. 24)

#### **1.5.6.5. Relación Carbono-Nitrógeno**

Se estima que la relación carbono-nitrógeno (C/N), expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono genera energía a los microorganismos y el nitrógeno ayuda en la síntesis proteica. Si la relación es favorable entonces habrá un buen crecimiento y reproducción de microorganismos (Sztern y Pravia, 2016, p.21).

La relación C/N sugiere la calidad del sustrato orgánico del suelo, su relación indica la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. Los valores elevados de la relación C/N conllevan a que los residuos orgánicos se degraden lentamente (Gamarra et al., 2018, p. 7).

Los materiales de partida ayudan a la relación C/N, la relación reduce su valor según las fases del proceso, el rango ideal es desde 35/1 hasta 15/1.

El procedimiento de balance de nutrientes, se lo realiza si los materiales que se escogieron para realizar el compost no presentan una relación C/N satisfactoria por lo que se procederá a realizar una mezcla con otros materiales para corregir la relación (Sztern y Pravia, 2016, p. 22).

### **1.5.7. Greenwashing**

El *greenwashing* ha sido un término muy importante a nivel empresarial y ecológico que se ha generado hace varios años, cuando empezó a sobresalir la conciencia ambiental, con ello varias empresas se han enfocado en generar publicidad ecológica para sus respectivos productos, tratando de proyectar una imagen responsable ante el ambiente, sin embargo, como menciona Greenpeace (2012), “ciertas empresas han teniendo un discurso verde pero no se han comportado de manera verde” (p. 1).

Al término *greenwashing* también se lo conoce como lavado de imagen, contempla los productos que son expuestos como ecológicamente amigables, pero es solo una apariencia para los consumidores, con esta expresión se exagera la información ambiental verdadera y oculta los datos negativos, provocando de cierta manera un engaño a los consumidores (Alejos, 2013, p. 8).

Dada que esta estrategia de mercadotecnia realiza campañas engañosas a la sociedad que verdaderamente tienen conciencia ambiental y trata de frenar las consecuencias del cambio climático, es importante entrar a las páginas oficiales de los productos y corroborar la información para que no exista desconfianza tanto en empresas como productos eco-amigables.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Realizar un levantamiento de información de productos desechables biodegradables con “Eco-etiquetado” en los supermercados del DMQ.

Para el levantamiento de información se corroboró que en todos los supermercados del Distrito Metropolitano de Quito se encuentre una sección para los productos desechables biodegradables, para lo cual se acudió a los supermercados de la capital (Quito); entre los más conocidos están: Megamaxi<sup>TM</sup>, Supermaxi<sup>TM</sup>, Mi Comisariato<sup>TM</sup>, Aki<sup>TM</sup>, Gran Aki<sup>TM</sup>, Tía<sup>TM</sup> y Santa María<sup>TM</sup>.

En dichos supermercados se evidenció que existe la respectiva sección para los productos con eco-etiquetado, pero a su vez la cantidad de artículos en ciertos establecimientos era reducida. Es decir, solo se encontró una marca por artículo (solo vasos, platos o cubiertos), por lo que se escogieron a los establecimientos donde se proporcionó la mayor cantidad de desechables biodegradables como fueron el Megamaxi<sup>TM</sup> y Mi Comisariato<sup>TM</sup> para lo cual este estudio se enfocó en tres categorías que son: vasos, platos, cubiertos; y se indica detalladamente en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Matriz de productos con eco-etiquetado en los supermercados del DMQ

Nº	Marca	Utilidad	Material	Precio	Unidades
01	Ecompake	Platos	Hoja de Palma	\$2.89	6
02	Dream Pack	Loncheras	Papel Biopolímero - basado en celulosa	\$2.75	25
03	Dream Pack	Tarrinas con tapa	Papel Biopolímero - basado en celulosa	\$2.50	12
04	EcoSolutions	Cubiertos	BSP- 200 (compuesto Fuentes orgánicas)	\$2.00	24
05	Dream Pack	Platos	Papel Biopolímero - basado en celulosa	\$1.93	12
06	Biofase	Cubiertos	Semilla de Aguacate	\$1.71	24

07	Darnel	Platos	Pulpa de papel biodegradable compostable	\$1.58	10
08	Dream Pack	Vasos	Papel Biopolímero - basado en celulosa	\$1.18	25
09	Darnel	Vasos	Poliestireno uso general (GPPS)	\$1.18	12

**Fuente:** Investigación Realizada

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica

### 2.1.1. Selección de productos para el estudio comparativo de compostabilidad.

Una vez realizada la matriz de productos con eco-etiquetado, se tomó en cuenta la clasificación de platos, ya que se encontraban en mayor proporción a los demás artículos, tomando en cuenta que la selección previa es de vasos y cubiertos los cuales, según la marca tienen mayor información en la web y su precio es asequible al consumidor. Por lo que se realizó un filtro en la información mediante la matriz de pares, la cual permitió escoger los productos base para la investigación.

Según Calderón (2017), para crear una matriz de pares en la cual se califiquen criterios “se debe utilizar la escala de valores y criterios para calificar las opciones” (p. 2).

**Tabla 2.**

Escala de valores y criterios

Valores	Criterio
10	Mucho más importante
5	Más importante
1	Igual
0.20	Menos importante
0.10	Mucho menos importante

**Fuente:** Investigación Realizada

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica

Una vez que se tienen los valores se crearán las opciones para realizar la matriz de pares, en este caso son: costo, calidad, información web y accesibilidad; en la cual se evaluó el Factor



de Ponderación (FP) que consiste en dividir la suma de cada fila entre el total global de la columna. Si el factor de ponderación de un criterio es pequeño, se puede despreciar, pero se puede elegir una opción diferente de acuerdo al enfoque que se requiera según la investigación (Calderón, 2017, p. 3).

**Tabla 3.**  
Matriz de Pares

	Costo	Calidad	Información web	Accesibilidad	SUMA	Factor de Ponderación (FP)
Costo	0	0.20	1.00	0.20	1.4	0.05
Calidad	5	0	0.10	0.20	5.3	0.19
Información web	10	5	0	5.00	20	0.72
Accesibilidad	1	0.10	0.10	0	1.2	0.04
<b>TOTAL</b>					27.9	

Fuente: Modelo de Matriz de Pares. Calderón (2017)

Elaborado por: Guttinger Andrés, Lima Jéssica

Debido a toda la información recabada, (ver el desarrollo de la Matriz de pares en resultados Tablas 5, 6 y 7), se procedió a detallar los productos seleccionados para el Estudio comparativo de compostabilidad de materiales con eco-etiquetado comercializados en el DMQ.

Para la categoría cubiertos se seleccionaron los siguientes productos:



Figura 2. Cubiertos Biofase



Figura 3. Cubiertos EcoSolutions

Para la categoría vasos se seleccionaron los siguientes productos:



Figura 4. Vaso Darnel



Figura 5. Vaso Dream Pack

Para la categoría platos se seleccionaron los siguientes productos:



Figura 6. Plato Darnel



Figura 7. Platos Ecompack

## 2.1.2. Ubicación del Proyecto .

El proyecto se realizó en el Conjunto Habitacional Vancouver, ubicado en el sector norte de la ciudad de Quito-Ecuador, en la parroquia de Calderón, barrio Vancouver y Alava.

Se realizó el proyecto en esta ubicación por las condiciones climáticas favorables, la cual brindó temperaturas máximas de 21.1 °C y mínimas de 10.8 °C durante los meses de marzo hasta septiembre, según la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NOAA).

Ubicación que tiene las siguientes coordenadas:

Latitud: 0°05'25.5"S

Longitud: -78.433341

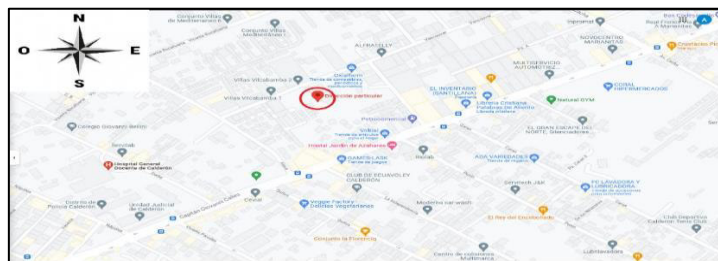


Figura 8. Ubicación Proyecto.

## **2.2.Determinación de la compostabilidad de los productos seleccionados a través de la técnica de compostaje.**

Una vez seleccionados los productos, se procedió a desarrollar la primera fase que consistió en realizar la semilla para el compostaje de los mismos, para lo cual se elaboraron 2 soluciones (dulce y salada), siguiendo los pasos indicados en la guía del FONAG (2013), para el compostaje por método Takakura.

Los ingredientes de las soluciones son:

- Solución Dulce:
  - 1,5 l de agua
  - 10 g de levadura activa seca
  - 200 g de queso maduro
  - 400 g de yogurt natural
  - 0,5 l de vino
  - 200 gramos de azúcar.

Se procedió a mezclar los ingredientes en un recipiente de plástico de 2,5 l y se dejó fermentar en la sombra durante 8 días.

- Solución Salada: Realizar un picado de verduras y frutas en las siguientes proporciones:
  - 200g de cáscara de papaya
  - 30 g de cáscara de pepino
  - 100g de lechuga
  - 100g de col
  - 25g de cáscara de manzana
  - 25g de cáscara de uva

Todos estos ingredientes se mezclaron con 1,5 l de agua junto con 200g de sal. De igual manera se fermentó la solución durante 8 días en la sombra.



**Figura 9.** Solución Dulce



**Figura 10.** Solución Salada

Transcurridos los 8 días, inició la segunda fase, que consistió en la creación de la base de la semilla, para lo cual se utilizó una tina de 24 l para mezclar las 2 soluciones (dulce y salada) junto con 12kg de aserrín, por consiguiente, se pasó a la tercera fase que se basó en la elaboración de la compostera, donde se dejó la pila cubierta con periódico durante 7 días dentro de una caja de cartón respirable (con orificios en los laterales para la respiración de los microorganismos).

Se tomó en cuenta que el monitoreo de la humedad, pH y temperatura se debe realizar diariamente con los instrumentos respectivos.



**Figura 11.** Base de la semilla-tercera fase.

Una vez transcurrido el tiempo, la semilla quedó cubierta con moho blanco, indicador de que los microorganismos se desarrollaron, en este punto se encontró lista la semilla para proceder a la alimentación y realizar el compost.



**Figura 12.** Semilla del compost Método Takakura

### **2.2.1. Cálculo de Relación Carbono/Nitrógeno.**

Una vez que se tuvo la semilla del compost mediante el método Takakura, se hizo el cálculo C/N, mismo que se denominó como blanco. Para establecer las cantidades de materia orgánica que fueron necesarias para realizar las pilas de compost, para lo cual se basó en la información bibliográfica del autor Roselló (2001), mostrada a continuación en la Figura 13.

Subproducto	Nitrógeno total (%)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N
Poda de naranjo	2,03	55,22	27
Cáscara de arroz	0,91	44,43	49
Siega de césped	3,41	48,38	14
Restos de lechugas	3,14	44,10	14
Serrín de caducifolias	0,36	57,04	158
Mezcla de hortícolas	2,74	41,91	15
Orujo de uva	2,82	54,23	19
Caña de maíz	0,96	50,23	52
Gallinaza	3,77	45,61	12
Estiércol	2,4	28,9	12
Purín de cerdo	3,07	41,42	13

**Figura 13.** Relación C/N de subproductos agrícolas.

Para poder alcanzar una relación de C/N recomendada, se considera una proporción inicial de 20 a 30 para realizar el proceso de compostaje (Sztern y Pravia, 2016, p. 21).

Se tomó en cuenta la fórmula de la relación C/N teórica que presenta el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2011), para determinar las cantidades necesarias que se requieren para llegar a un C/N requerido para el compostaje, tomando en cuenta los valores mostrados en la Figura 13, con los productos de aserrín y césped.

Fórmula:

$$R \frac{C}{N} = \frac{(\text{Peso A} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ A}) + (\text{Peso B} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ B})}{\text{Peso A} + \text{Peso B}}$$

**Ecuación 1.** Relación C/N en base al peso y C/N de cada componente

Donde:

R: Relación

A: Aserrín

B: Césped

Para poder realizar el cálculo se tomó en consideración que, para esta investigación se contó con 1 kg de aserrín y los respectivos cálculos, ver Anexo I. Se determinó que la porción de restos de poda de césped fue de 8 kg, misma que se dividió para los 30 días del mes dando como resultado 0.27 kg/d; para poder asemejar la relación C/N al valor de 30.



**Figura 14.** Alimentación de la semilla con césped

Durante el proceso de alimentación de la semilla, se llevó un control de los parámetros de la semilla, esto para prevenir que el compost se dañe, ya sea por factores externos como el clima o vectores biológicos (insectos, animales, etc.). Por lo que se monitoreó 2 veces al día su humedad, pH y temperatura, una vez por la mañana (9:00 am) y una vez por la tarde (5:00 pm). Adicionalmente y, cuando fuese necesario se utilizaron recipientes para la recolección de agua lluvia. Esto debido a que en Calderón (ubicación del proyecto) durante el tiempo que se realizó el trabajo de investigación se apreciaron cambios bruscos en el clima, donde el sol tuvo gran impacto en la humedad de la semilla, y para que los microorganismos prosperen, se utilizó agua lluvia como es recomendable y se evitó usar agua potabilizada en lo posible.

También fue necesario realizar una prueba de nutrientes de compost inicial, donde se toma en cuenta carbono orgánico y nitrógeno orgánico, estas pruebas se realizan en un laboratorio para lo cual se aplica siguiente fórmula:

$$R \frac{C}{N} = \frac{COS (mg)}{NOS (Kg)}$$

**Ecuación 2.** Relación C/N orgánica

Donde:

COS: Carbono Orgánico del suelo

NOS: Nitrógeno Orgánico del suelo.

### **2.2.2. Codificación de los productos.**

Para la presente investigación fue necesario la codificación de los productos desechables bioplásticos, ya que con esto se pretendió tener un mejor manejo con su respectiva identificación como se indica en la Tabla 4.



**Tabla 4.**  
Codificación de productos.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>
VC01	Vaso compostable	Dream Pack
VC02	Vaso compostable	Darnel
VP01	Vaso plástico	Plasti útil
PC01	Plato compostable	Darnel
PC02	Plato compostable	Ecompake
PP01	Plato plástico	Plasti útil
CC01	Cubierto compostable	Biofase
CC02	Cubierto compostable	Eco Solutions
CP01	Cubierto plástico	Plasti útil

**Fuente:** Investigación Realizada

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica

Una vez codificados los productos, se realizó un duplicado de los mismos, obteniendo 12 códigos, que se separaron en sus respectivas composteras que fueron tinas de plástico de 24 l, además se añadió una tina que representa al blanco, en el cual únicamente se encontraba el compost sin ningún producto.

La codificación fue importante para la identificación de los productos que ingresaron a los análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) que se realizó en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) ubicada dentro de la EPN, en los resultados se amplía la información de cada producto.



**Figura 15.** Productos con su respectiva codificación

### **2.2.3. Adaptación del lugar de compostaje.**

Antes de introducir el compost en las tinas de plástico se realizaron perforaciones de 0.5 cm de diámetro en la parte de la base, esto se realizó con la ayuda de un cautín; estos orificios

permitieron el paso de ventilación para la aireación.



**Figura 16.** Perforación de las tinas.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que las 13 composteras fueron racionadas proporcionalmente con el compost que se elaboró previamente y permanecieron semi cubiertas con plástico, para mantener protegidas las pilas de los factores externos (lluvias, vientos, entre otros).



**Figura 17.** Pilas de compost

Adicionalmente, se realizó una estructura hecha de materiales reciclados (Pallets de madera) con medidas de 2.0 x1.0 x1.5 m donde se guardaron las pilas para protegerlas del clima.

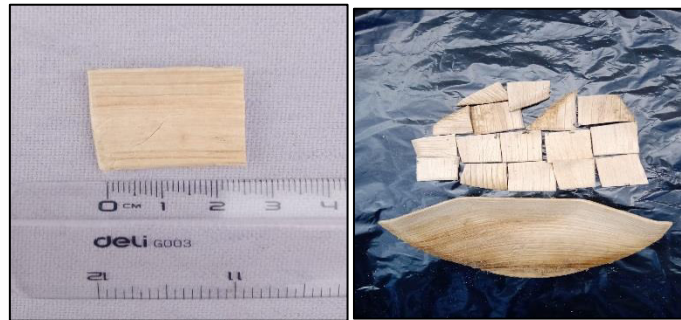


**Figura 18.** Estructura protectora.

Fue importante que los productos seleccionados tuvieran una adaptación antes de ser



introducidos en la compostera; la adaptación consistió en cortar los materiales en rectángulos de 25 mm x 25 mm, procurando que el espesor no sea mayor de 5 mm, en los utensilios donde es posible dar la forma (Peinado , 2015, p. 27).



**Figura 19.** Cortes regulares 25mm x25mm

En los materiales con formas irregulares (los cubiertos) se realizaron cortes de 25mm de longitud solamente.



**Figura 20.** Cortes irregulares 25 mm (longitud).

Después de cortar los productos, los fragmentos fueron enterrados a un nivel medio-bajo o al fondo de sus respectivas tinas, de tal manera que empezó el proceso de biodegradación de los productos, para lo cual se monitoreó el tiempo y se verificó si efectivamente los materiales sufrieron una degradación.



**Figura 21.** Productos dentro del compost.

Es importante tomar en cuenta que durante el monitoreo de las pilas se realizó la aireación para mantener la humedad dentro de los rangos recomendados (40-60 %). Sin embargo, si se observaba muy seco el compost, se procedió a humedecerlo con agua lluvia, para esto se removieron los trocitos de los productos y después de un momento se los introdujo nuevamente al fondo del recipiente.

#### **2.2.4. Verificación de parámetros.**

El monitoreo de los parámetros se realizó durante un mes para lo cual se llevó un registro diario de los valores de temperatura (°C), pH y humedad, para el proceso principal de elaboración de la semilla, cuyos valores se aprecian en el Anexo II, Tabla 23, Figura 31, 32 y 33.

Además, los parámetros fueron registrados en todo el proceso de investigación, es decir cada una de las pilas estuvo monitoreadas, con ello se evitó cualquier tipo de interferencia, ya sea por el clima u otros factores.

#### **2.2.5. Caracterización por FTIR de los productos seleccionados**

A pesar de que existen técnicas complementarias como Calorimetría Diferencia de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA), mencionados anteriormente en este estudio se realizó la caracterización por FTIR por la poca accesibilidad a los laboratorios de la EPN.

Se consideró necesario someter a dos pruebas de FTIR a los productos seleccionados, una de las cuales se realizó previo al compostaje, es decir cuando el material se encontraba completo (no fragmentado), y otra en la parte final de la investigación con el fin de lograr identificar si se produce algún cambio en la cuantificación de los grupos funcionales que forman parte de los compuestos orgánicos de los productos

Una vez analizados los cambios de los grupos funcionales y en contraste con el registro visual, se puede estudiar estos cambios para identificar una relación entre los grupos funcionales y la degradación de los productos, para la determinar si son o no “compostables” (Ver resultados).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Análisis de los datos del levantamiento de la línea base de productos con eco-etiquetado.**

De acuerdo con las visitas realizadas a los diferentes supermercados del DMQ, se observa que los establecimientos como: Tía™, Santa María™, Akí™ y Gran Akí™ cuentan con un espacio muy reducido para los productos con eco-etiquetado, es decir no se evidenció variedad en los productos para los consumidores, lo cual representa un resultado negativo.

Por su parte el supermercado Mi Comisariato, presenta una sección media destinada para productos con etiquetado verde o eco amigable.

Los supermercados que presentaron más afinidad con los productos desechables biodegradables fueron Megamaxi™, aquí se pudo observar una cantidad importante en las perchas, por lo cual este establecimiento fue escogido para seleccionar la mayor cantidad de productos que apoyaron a esta investigación.

En las Ordenanzas Metropolitanas del Código Municipal que evalúan la problemática referente a la reducción o eliminación de plásticos menciona que “existen cerca de 50 alternativas “ambientalistas” o de productos sustitutos a los PUSU, contabilizando tanto productos como prototipos fabricados locales e importados”. Sin embargo, la cantidad referencial se encuentra un poco elevada ya que se pudo evidenciar que existe alrededor de 35 a 40 productos eco-etiquetados en exhibición.

##### **3.1.1. Materias primas encontradas en el levantamiento de información.**

A lo largo del levantamiento de información se evidenció que tipos de materia prima son seleccionadas para los productos con un eco-etiquetado, entre las cuales están.

- Pulpa de papel biodegradable compostable.
- BSP- 200 (compuesto fuentes orgánicas)
- Papel basado en celulosa (biopolímero).
- Semilla de aguacate (biopolímero).
- Hoja de palma.

##### **3.1.2. Resultado de las matrices de pares.**

Al haber realizado la matriz de pares se tomó en cuenta el costo y la información web ya que son los criterios que predominan para los productos que se van a escoger. A continuación, se

evaluó cada criterio en una matriz de pares de acuerdo a las marcas de platos mencionadas en las Tablas 5 y 6, conforme a la escala de valores y criterios presente en la Tabla 2.

En estas matrices se determinó el Peso de la Opción (PO) el cual se basa en “dividir la suma de cada fila entre el total global de la columna” (Calderón, 2017, p. 3).

**Tabla 5.**  
Matriz de Pares-Costo.

	<b>Darnel</b>	<b>Ecompake</b>	<b>Dream Pack soperos</b>	<b>Dream Pack loncheras</b>	<b>Dream Pack tarrinas</b>	<b>SUMA</b>	<b>Peso de la Opción (PO)</b>
<b>Darnel</b>	0	5	5	5	5	20	0,42
<b>Ecompake</b>	0,2	0	0,2	1	0,2	1,6	0,03
<b>Dream Pack soperos</b>	0,2	5	0	5	5	15,2	0,32
<b>Dream Pack loncheras</b>	0,1	5	0,2	0	0,2	5,5	0,12
<b>Dream Pack tarrinas</b>	0,1	0,2	5	0,2	0	5,5	0,12
<b>TOTAL</b>						<b>47,8</b>	

**Fuente:** Modelo de Matriz de Pares. Criterio-Costo. Calderón (2017)

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica

**Tabla 6.**  
Matriz de Pares-Información Web.

	<b>Darnel</b>	<b>Ecompake</b>	<b>Dream Pack soperos</b>	<b>Dream Pack loncheras</b>	<b>Dream Pack tarrinas</b>	<b>SUMA</b>	<b>PESO DE LA OPCIÓN (PO)</b>
<b>Darnel</b>	0	5	1	1	1	8	0.42

<b>Ecompake</b>	1	0	0.2	0.2	0.2	1.6	0.08
<b>Dream Pack soperos</b>	1	0.2	0	1	1	3.2	0.17
<b>Dream Pack loncheras</b>	1	0.2	1	0	1	3.2	0.17
<b>Dream Pack tarrinas</b>	1	0.2	1	1	0	3.2	0.17
<b>TOTAL</b>						19.2	

**Fuente:** Modelo de Matriz de Pares. Criterio-Información Web. Calderón (2017)

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima

Una vez realizadas las matrices de pares con los criterios pertinentes se procedió a realizar una Matriz de Pares final, la cual evaluó en conjunto estos criterios y seleccionó la mejor opción de platos para el estudio; dicha matriz consiste en “multiplicar el Factor de Ponderación (FP) por el Peso de la Opción (PO) respectivo; luego sumar cada fila para cada opción; finalmente seleccionar la opción de mayor puntaje” (Calderón, 2017, p. 5).

**Tabla 7.**  
Matriz de Pares Final.

	Costo		Información Web			Puntaje Final
	FP	x PO	FP	x PO	FP	
<b>Darnel</b>	0.05	0.42	0.72	0.42	0.32	
		0.02		0.30		
<b>Ecompake</b>	0.05	0.03	0.72	0.08	0.06	
		0.00		0.06		
<b>Dream Pack soperos</b>	0.05	0.32	0.72	0.17	0.14	
		0.02		0.12		
<b>Dream Pack loncheras</b>	0.05	0.12	0.72	0.17	0.13	
		0.01		0.12		

	0.05	0.12	0.72	0.17	
<b>Dream Pack tarrinas</b>					0.13
	0.01	0.12			

**Fuente:** Modelo de Matriz de Pares Final. Calderón (2017)

**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima

Con la Matriz de Pares Final se determinó que la mejor opción de platos desechables biodegradables para el estudio de la presente investigación fue la marca de platos Darnel con una puntuación final de 0.32, esta opción de plato está hecha a base de papel basado en celulosa; y para realizar la comparación entre productos biodegradables se escogió también la menor puntuación final 0.06 que correspondió a la marca Ecompake, dada que su composición es a base de hoja de palma.

Debido a toda la información recabada se procedió a detallar los productos seleccionados para el Estudio comparativo de compostabilidad de materiales con eco-etiquetado comercializados en el DMQ.

### **3.1.3. Hallazgos obtenidos en el levantamiento de información.**

Partiendo de la información recabada se encontró que:

- En los supermercados escogidos se pudo evidenciar que hay ciertas marcas que cuentan con un catálogo amplio de productos eco amigables, es decir que tienen diferentes presentaciones de un producto sin perder su esencia ecológica.  
Por ejemplo, el caso de la marca Biofase que exhibe sus cubiertos (cuchara, tenedor, cuchillo) en empaques unitarios o conjuntos, los cuales se adecuan a las necesidades del consumidor.
- Los productos desechables biodegradables, elaborados a base de celulosa (papel) se encontraron en paquetes con mayores unidades, tal es el caso de la marca Dream pack cuenta con (vasos, platos y loncheras de papel).
- Cantidad limitada de productos en la mayoría de supermercados del DMQ.
- Los precios de los productos con enfoque amigable son elevados, a comparación de los plásticos tradicionales, esto en cuanto a la cantidad de cada empaque.  
Por ejemplo, en el paquete de 24 unidades de cubiertos con eco etiquetado los cuales se encuentran en un precio de entre \$1.71 a \$2 mientras que las 50 unidades de cubiertos desechables plásticos tradicional se presentan en un precio de \$0.75 a \$1.00.

- Páginas web inexistentes, es decir que no existe en la web, pero se mencionan en el empaque, tal es el caso de la marca Eco Solutions (WWW.ECOSOLUTIONS.EC)
- Algunos productos no detallan cuál es su materia prima de elaboración, como por ejemplo el vaso de plástico marca Darnel, no especifica qué tipo de polímero utilizaba a pesar de tener una etiqueta verde, además los cubiertos de la marca Eco Solutions no especifica qué tipo de fuentes orgánicas se utilizan en su elaboración.
- La información de ciertas páginas web es limitada, es decir que no explican las condiciones que deben aplicarse al producto para una adecuada biodegradación.

La marca Eco Solutions, Dream pack no presenta información,

## **3.2. Detalle de prueba de biodegradabilidad mediante la técnica de compostaje.**

En este apartado se detalla los dos procesos, desde la elaboración de la semilla mediante el Método Takakura hasta la elaboración del compost y la división de las 13 pilas.

### **3.2.1. Elaboración de la semilla**

La elaboración de las soluciones (dulce y salada) se llevó al cabo de 7 días por la fermentación necesaria que requieren los ingredientes, es importante tomar en cuenta que existe una amplia gama de ingredientes que se pueden utilizar o sustituir, además las proporciones se establecen según las necesidades requeridas en los distintos casos. Además, esta elaboración siempre se lo realiza en la sombra.

La segunda y tercera fase que consistió en la mezcla de las soluciones con la respectiva cantidad de aserrín y la colocación en la compostera de cartón hasta que se produzca el crecimiento de microorganismos se dio alrededor de 7 días, en los cuales es importante empezar el registro de los parámetros para observar algún tipo de variación con el objetivo de eliminar cualquier interferencia.

### **3.2.2. Proceso de compostaje.**

Este proceso se lo realizó después de la creación de la semilla, fue necesario definir qué tipo de materiales se iban a implementar para el aprovechamiento del compost, tomando en cuenta la relación C/N que tienen, por lo cual se eligió a el aserrín con una relación C/N de 158 y al césped con una relación C/N de 14, fueron escogidos por la accesibilidad y además para ayudar a un proceso homogéneo.

Se pueden utilizar diferentes materiales para la elaboración del compostaje, tal como se presentan los ejemplos en la Figura 13.

En esta etapa del proceso también se lleva a cabo el registro de los parámetros para determinar qué fase se está desarrollando.

Además, en la primera etapa del compostaje fue necesario realizar análisis para determinar si el compost producido se encontraba con las características como nutrientes, proteínas, aminoácidos, entre otras propiedades, ya que “la relación carbono orgánico total /nitrógeno orgánico total ( $CO_T/NO_T$ ) de la mezcla de restos orgánicos es uno de los parámetros más empleados para examinar la evolución de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje” (Moreno y Moral, 2008, p. 167).

Por lo cual la muestra fue enviada al Laboratorio AGROBIOLAB- Grupo Clínica Agrícola, donde se realizaron los análisis de carbono orgánico y nitrógeno orgánico, para cuantificar experimentalmente la relación C/N, “debido que por factores externos el compost puede no salir con una relación carbono nitrógeno de 30, pero si valores semejantes cuando se habla de manera práctica (Sztern y Pravia, 2016).

Los datos demostraron que la relación C/N del compostaje en su etapa inicial es de 25.82 (Ver Anexo III), lo cual indicó que el compostaje se encontraba en los valores de 20 a 30, de acuerdo a la bibliografía (Sztern y Pravia, 2016, p. 21).

#### **3.2.2.1. Parámetros analizados.**

A continuación, se evidencian los valores de los parámetros tomados en cuenta en la investigación de cada una de las pilas del compost de los productos seleccionados. Los parámetros fueron tomados con un medidor multiparámetro de pH, humedad y temperatura.

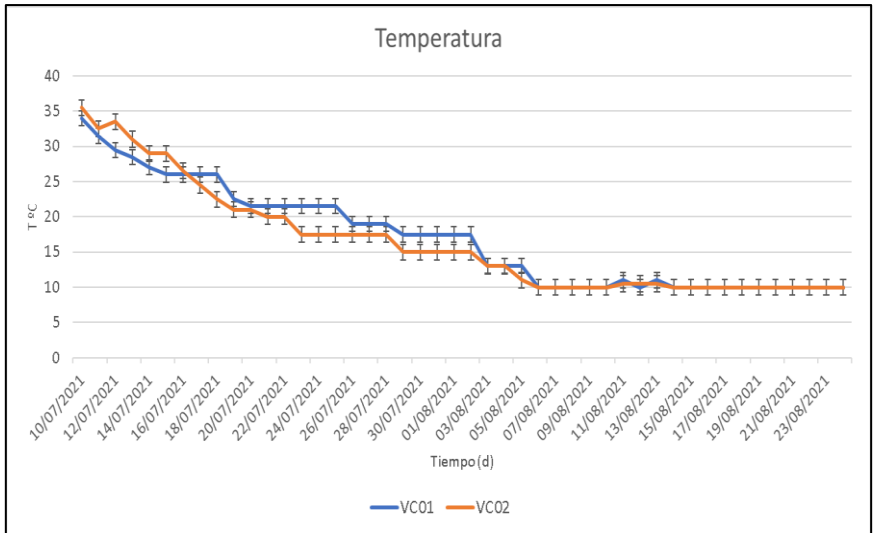
##### **Temperatura:**

La temperatura, en cada una de las pilas mostró una variación de acuerdo a los valores de desarrollo del compostaje, se registró los siguientes valores promedio:

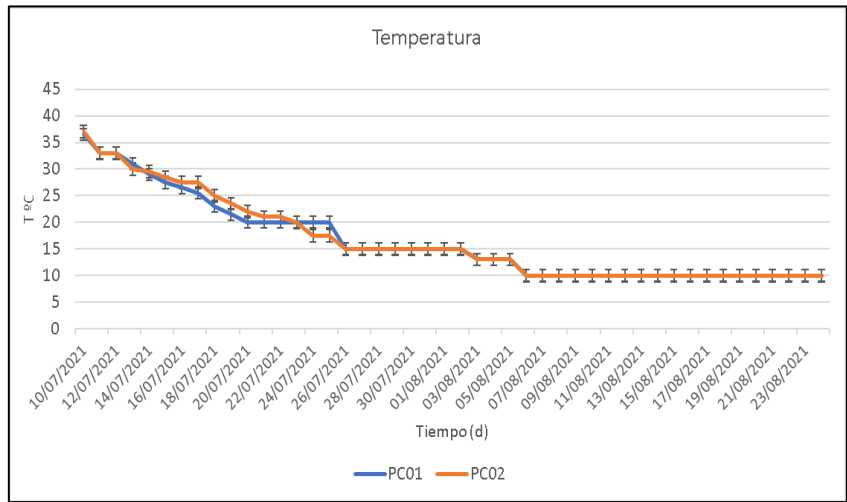
- Etapa inicial: 36 °C
- Etapa media: 18 °C
- Etapa final: 15 °C

En las Figuras 21, 22 y 23 se indican los gráficos de temperatura correspondientes a las pilas de compost de cada producto según su codificación. Los valores de temperatura fueron promediados con los duplicados de cada pila.

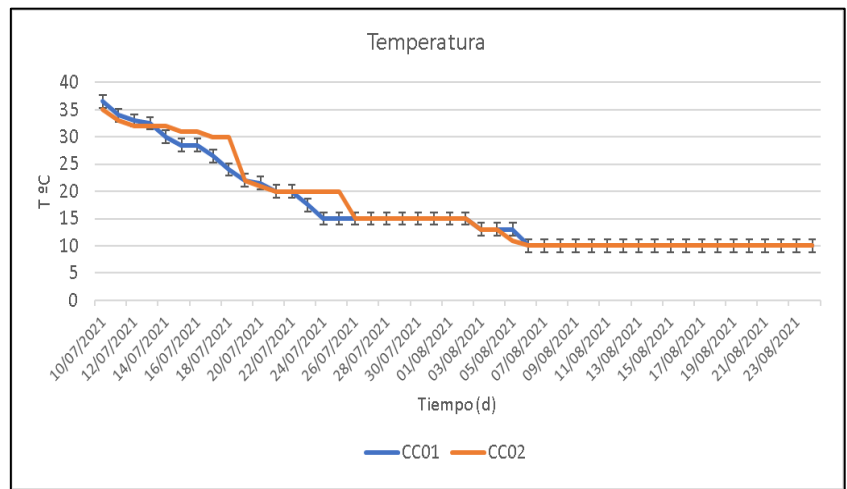




**Figura 22.** Valores de temperatura-vasos



**Figura 23.** Valores de temperatura-platos.



**Figura 24.** Valores de temperatura-cubiertos.

Los valores de los duplicados de los productos se aprecian en las Figuras 34, 35 y 36 del Anexo IV.

En cuanto a la variación de temperaturas de las pilas, con respecto a otros estudios puede deberse al tamaño de las pilas de compost, ya que, en la bibliografía, el compost se trataba en centros industriales, mientras que las pilas realizadas en el trabajo eran de menor tamaño adaptados a un recipiente de 24 l con perforaciones en la parte inferior. La temperatura se debe controlar, ya que, por una parte, “las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje” (Negro et al., s.f).

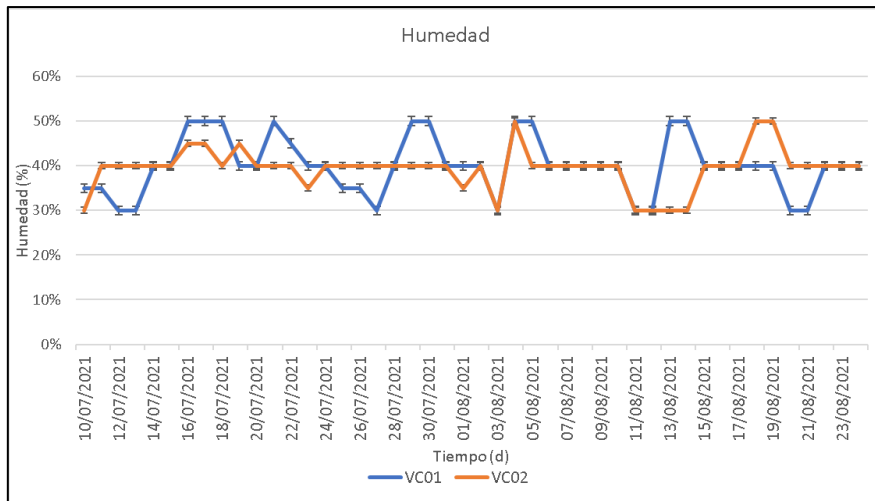
### **Humedad**

La humedad indicó valores diferentes a los óptimos mencionados en el marco teórico por Márquez (2017), ya que en su investigación menciona que el rango recomendado es de 45%-60%. Sin embargo, basados en otras investigaciones, “se considera un intervalo de valores entre el 30% al 65% de humedad para el proceso de compostaje o, en todo caso siempre debajo del 80%” (ARC-CAT, 2004, p. 2).

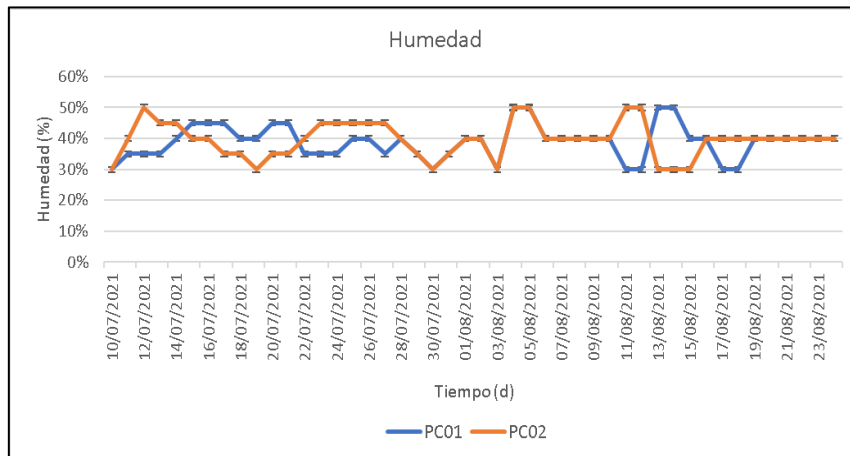
A continuación, se detallan los valores promedios obtenidos:

- Etapa inicial: 31%
- Etapa media: 40%
- Etapa final: 41%

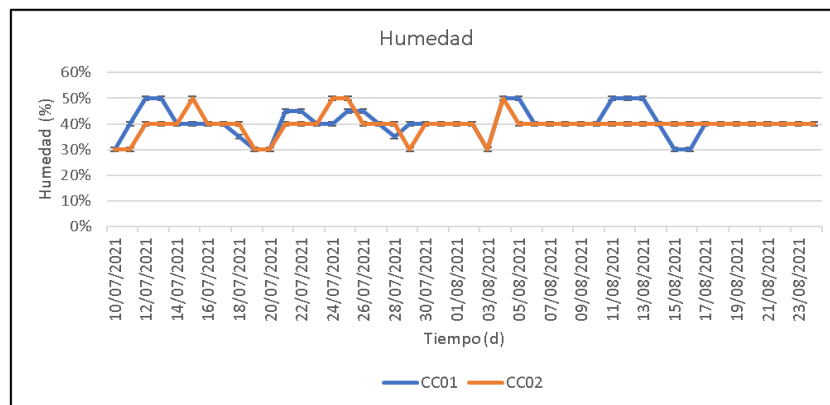
En las Figuras 25, 26 y 27 se indica los gráficos de la humedad correspondientes a las pilas de compost de cada producto según su codificación. Los valores de humedad fueron promediados con los duplicados de cada pila.



**Figura 25.** Valores de humedad-vasos.



**Figura 26.** Valores de humedad-platos.



**Figura 27.** Valores de humedad-cubiertos.

Los valores de los duplicados de los productos se pueden apreciar la Figura 37,38 y 39 del Anexo IV.

Existe variación de humedad, debido a que a pesar de que las pilas se encuentren dentro de una

compostera, estas no son protegidas 100% de los factores climáticos, por lo tanto, las pilas de compost variaron de humedad, en relación al clima del día, en algunos casos, hubo días con una intensidad solar fuerte y fuertes vientos, que secaban a las pilas y otros días que hubo fuertes lluvias que humedecieron el compost.

Otro factor a tomar en cuenta era la posición de los contenedores dentro de la compostera, ya que había pilas más cercanas a la parte descubierta de la compostera y otras que estaban más alejadas.

## pH

Este parámetro indicó que en las primeras etapas donde se elaboró la semilla tuvo valores bajos (ver valores Anexo II) y posteriormente con el paso de las semanas logró alcanzar niveles más altos, comprobando un proceso de compostaje, muy relacionado con los datos que arroja Bravo (2017), ya que se adapta al rango ideal de 4,5 a 8,5.

- Etapa inicial: 5
- Etapa media: 6-7
- Etapa final: 8

En las Figuras 28, 29 y 30 se indica los valores de pH correspondientes a las pilas de compost de cada producto según su codificación. Los valores de pH fueron promediados con los duplicados de cada pila.

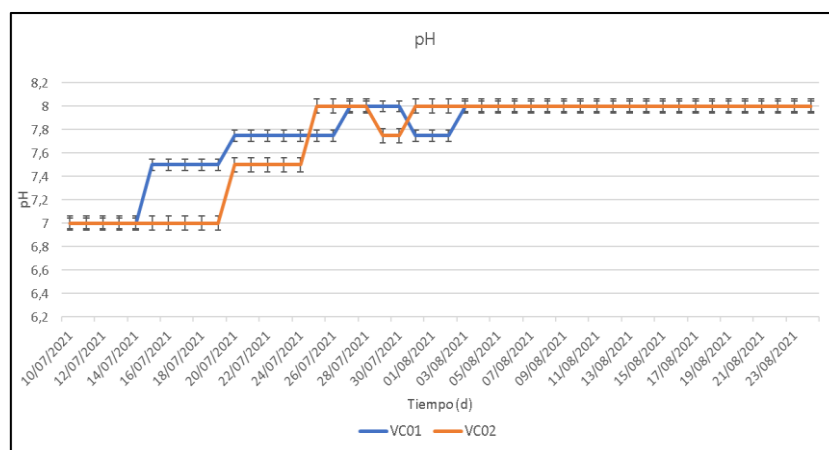
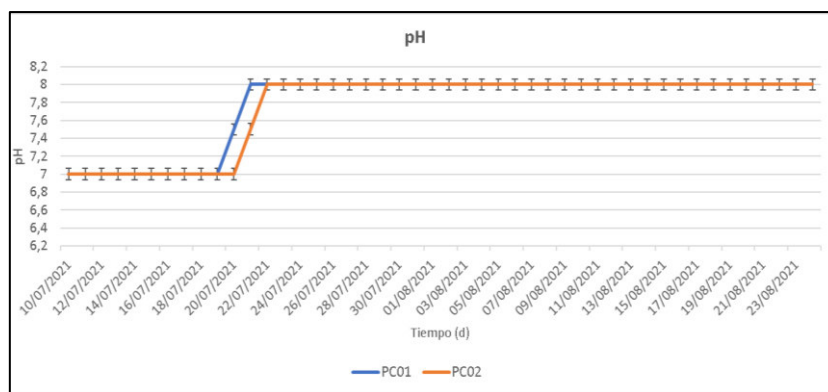
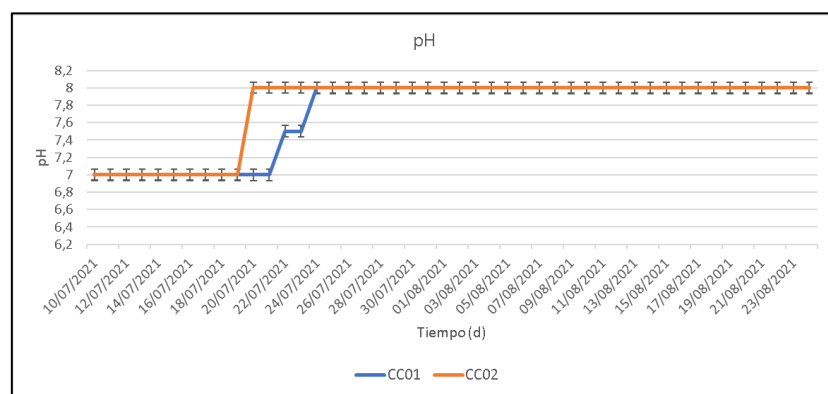


Figura 28. Valores de pH-vasos.



**Figura 29.** Valores de pH-platos



**Figura 30.** Valores de pH-cubiertos.

Los valores de los duplicados de los productos se pueden apreciar la Figura 40,41 y 42 del Anexo IV.

### 3.2.3. Proceso de biodegradación de los productos.








Para esta investigación es importante destacar que además de los parámetros como temperatura, humedad y pH, los cuales ayudan a generar un proceso el compostaje y biodegradación de los productos, también es necesario que los resultados se detallan mediante las observaciones (visuales) y descripciones de la desintegración que se produce a lo largo de la degradación del material.

Esto ayuda a evidenciar los cambios según el paso del tiempo. para lo cual se añade fotografías, como se menciona en la NTE que trata sobre el Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. (INEN NTE 2640, 2012, p. 6).

Por lo tanto a continuación se presenta el registro fotográfico de cada producto con su respectiva codificación y según sus categorías.

- Categoría vasos :








**Tabla 8.**  
Registro visual. Vaso Dreampack (VC01).

<b>VC01-Vaso de papel Dreampack</b>	
Inicio	
	
Semana 1	Semana 2
	
Semana 3	Semana 4
	
Semana 5	Semana 6
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.










**Tabla 9.**  
Registro visual. Vaso Darnel (VC02)

<b>VC02-Vasos Poliestireno GPPS Darnel</b>	
Inicio	
	
Semana 1	Semana 2
	
Semana 3	Semana 4
	
Semana 5	Semana 6
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

- Categoría Platos.








**Tabla 10.**  
Registro visual. Plato Darnel (PC01).

<b>PC01-Plato Darnel</b>	
Inicio	
	
Semana 1	Semana 2
	
Semana 3	Semana 4
	
Semana 5	Semana 6
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.










**Tabla 11.**  
Registro visual. Plato Ecompake (PC02).

<b>PC02- Plato Ecompake</b>	
<b>Inicio</b>	
	
<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>
	
<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>
	
<b>Semana 5</b>	<b>Semana 6</b>
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

- Categoría Cubiertos.








**Tabla 12.**  
Registro visual. Cubiertos Biofase (CC01).

<b>CC01- Cubiertos Biofase</b>	
<b>Inicio</b>	
	
<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>
	
<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>
	
<b>Semana 5</b>	<b>Semana 6</b>
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.



**Tabla 13.**  
Registro visual. Cubiertos Eco-solutions (CC02).

<b>CC02- Cubiertos Eco-solutions.</b>	
Inicio	
	
Semana 1	Semana 2
	
Semana 3	Semana 4
	
Semana 5	Semana 6
	

**Fuente:** Investigación Realizada  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

A continuación, se describe los resultados del registro visual.

- Categoría vasos:

### **VC01 – Vaso de papel Dreampack**

Es importante mencionar que este producto forma parte de una cadena de empaques sustentables de papel los cuales son elaborados a base de cartulina reciclable y degradable (Dreampack, 2021).

Al ser el papel un sustituto del plástico ya que proviene de celulosa, las personas que generan alternativas ecológicas la han utilizado como materia prima para los productos ya que es un componente natural (celulosa), que se encuentra en diferentes organismos y presentan una fácil biodegradación.

Por lo tanto, tomando en cuenta el tiempo en se mantuvo el material en el compost, se evidenció la coloración blanca no se ve alterada, hasta la cuarta semana donde se evidenció un cambio a un color marrón-amarillento.

Además a nivel físico los fragmentos cambiaron y se pudieron sentir más delgados y frágiles al tacto y de manera visual se vio una pequeña disminución del espesor. Todos los cambios son más apreciables a lo largo de las semanas.

### **VC02 – Vaso Darnel (Poliestireno GPPS).**

Este producto pertenece a la línea de sostenibilidad “ecoefficient: amigable con el planeta y el bolsillo”, el cual presenta al mercado productos reciclables, biodegradables o compostables (Darnel, 2021).

A pesar de su eco-etiquetado a lo largo de la investigación, durante las cuatro semanas de compostaje no se logró evidenciar ningún cambio en lo absoluto, es decir, no presentó una atenuación de color, a simple vista no se apreció cambio del grosor de ningún fragmento y mantuvo su dureza.

Este caso es muy importante ya que al no ser capaz de biodegradarse o presentar algún cambio, se puede considerar erróneo su etiquetado, por lo tanto, se identificó como un caso de *greenwashing*, en cuanto a compostabilidad de material.

Sin embargo, si este producto está diseñado para reutilizarse varias veces si puede estar correcta su etiqueta de 100% reciclable.

- Categoría platos:

### **PC01 – Plato Hondo Darnel.**

Estos platos son parte de la categoría Darnel Naturals, los cuales están elaborados con pulpa de papel los cuales provienen de bosques controlados, son más resistentes a la humedad y a la grasa, además son 100% biodegradables y compostables a condiciones de compostaje industrial. (Darnel, 2021).

El producto en cuestión, resultó degradarse sorprendentemente rápido, al cabo de la primera semana se notó el cambio en su coloración, llegó a tener una tonalidad marrón, además, los fragmentos dejaron de ser rígidos y se volvieron completamente maleables.

Al remover el compost del material estos se sentían cada vez más frágiles al tacto y fue algo complejo tratar de separar los fragmentos del compost ya que estaban sumamente adheridos, por lo que en algunas de las fotos fue difícil mostrar el material, sin romperlo.

### **PC02 – Plato Ecompake, Hecho de hoja de palma**

Ecompake presenta una gama de productos que forman parte de una idea de soluciones sostenibles, con ejemplares 100% naturales, libres de químicos y con procesos amigables con el ambiente, además brindan la opción de compostar los productos de una manera más casera (ecompake, 2021).

El producto en cuestión se consideró el más “compostable”, ya que en la primera semana se evidenció que la coloración tomó un tono marrón oscuro, muy similar al color del compost. Además, las características físicas como rigidez cambiaron en tan solo una semana estos fragmentos eran muy maleables o frágiles al tacto, disminuyeron en un gran porcentaje su grosor volviéndose tan débiles que podían romperse tan solo tocarlos.

En la última semana los fragmentos eran más pequeños, al igual que el otro plato compostable el compost se adhería al material.

- Categoría cubiertos:

### **CC01- Cubiertos Biofase**

Biofase es una empresa con conciencia ambiental que fabrica productos a base de biopolímeros hechos a partir de la semilla de aguacate, además de ser biodegradables, la materia prima es aprovechada de los residuos agroindustriales, teniendo un impacto importante por los productos biobasados que exponen ante el mercado (Biofase, 2021).

Tomando en cuenta el tiempo, con el paso de las semanas, se logró evidenciar algunos cambios

físicos, por ejemplo, al cabo de la segunda semana se logró palpar que los fragmentos eran más maleables, además paulatinamente el color se hizo un poco más opaco, tomando en cuenta que a la cuarta semana este cambio de tonalidades es más evidente en los fragmentos del cuchillo, llegando a obtener un color marrón más oscuro.

Sin embargo, en la categoría de cubiertos se debe mencionar un detalle muy importante y es que, el cuchillo de este par de cubiertos presentó mayor degradación a comparación de la que tuvo el tenedor.

La degradación más rápida puede deberse a la forma más aplanada del cuchillo y a la diferencia de grabados entre los 2 tipos de cubiertos, donde el cuchillo presentó un diseño en el cual algunas partes son menos gruesas, mientras que las formas irregulares del tenedor son más gruesas.

### **CC02 – Cubiertos Eco-solutions**

Este producto llamó la atención en el desarrollo de la investigación ya que a pesar de que en su empaque especifica que está elaborado con BSP-P200 (compuesto de fuentes orgánicas) y que logra una biodegradación entre el 90 al 100% dentro de 250 días en contacto con un ambiente aeróbico (vertederos) y alrededor de 310 días en un ambiente anaeróbico (rellenos sanitarios), mencionando normativa como la ISO 17556 y ASTM D5526-12 respectivamente, no se logra ingresar a la página web de la dicha marca, por lo tanto se evidencia que es una página inexistente.

Al poner a prueba estos utensilios se observó un ligero cambio de color a un tono más café, sin embargo, entre cada semana realmente no hay un cambio significativo ya que su rigidez y maleabilidad permaneció casi idéntica a la del inicio.

A diferencia de su contraparte en la marca Biofase, este producto no especifica cuáles son las “fuentes de materia prima” de las que proviene, finalmente se estima que los fragmentos de este producto se pueden degradar eventualmente, más no a la misma velocidad que los otros productos destinados a esta investigación.

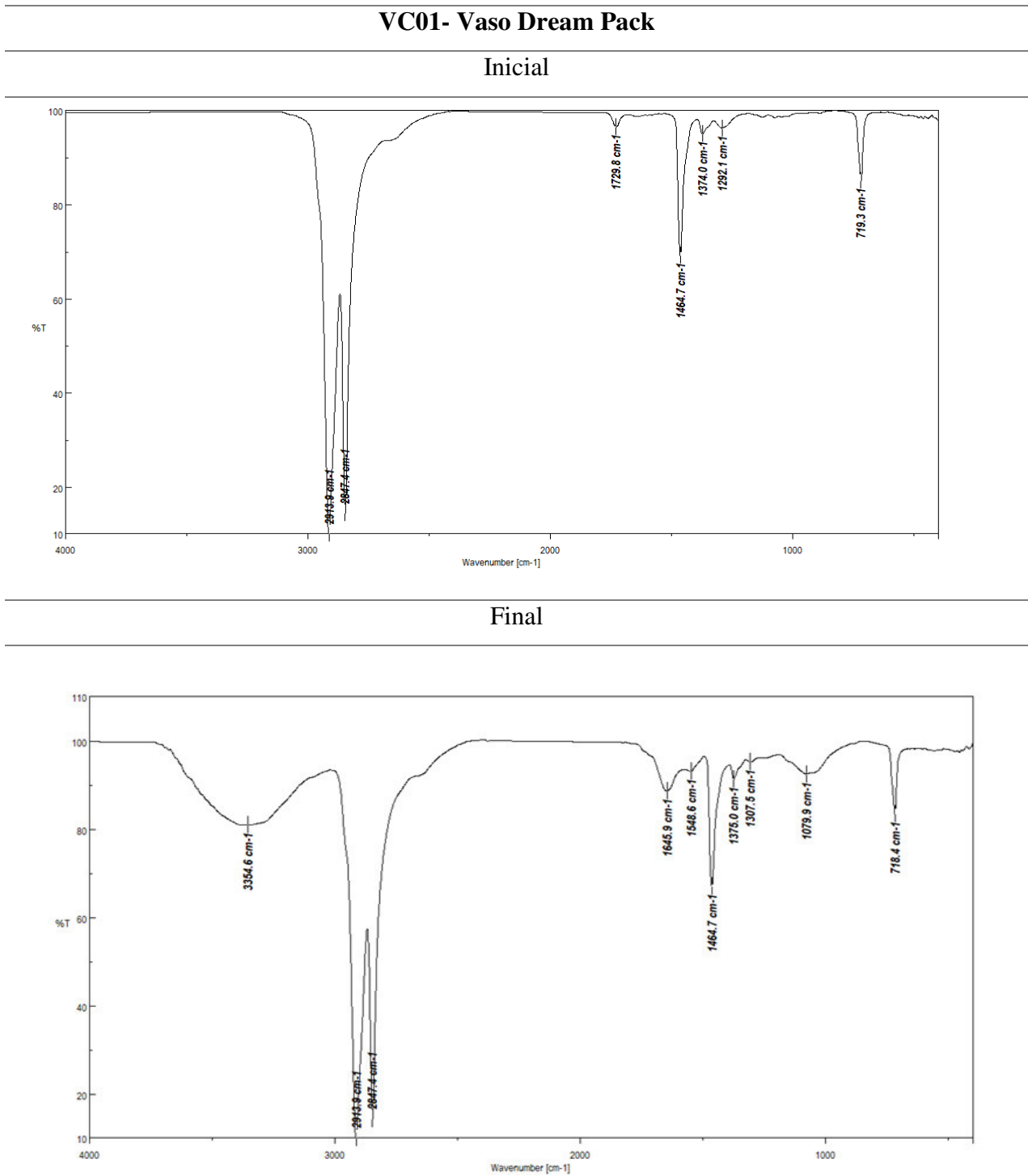
## **3.3. Análisis de los resultados de los espectros mediante FTIR para identificar la biodegradabilidad de los productos.**

### **3.3.1. Caracterización por FTIR de los productos seleccionados**

Una vez realizadas las pruebas de espectroscopía FTIR, se obtuvieron los siguientes espectros para cada uno de los productos seleccionados.

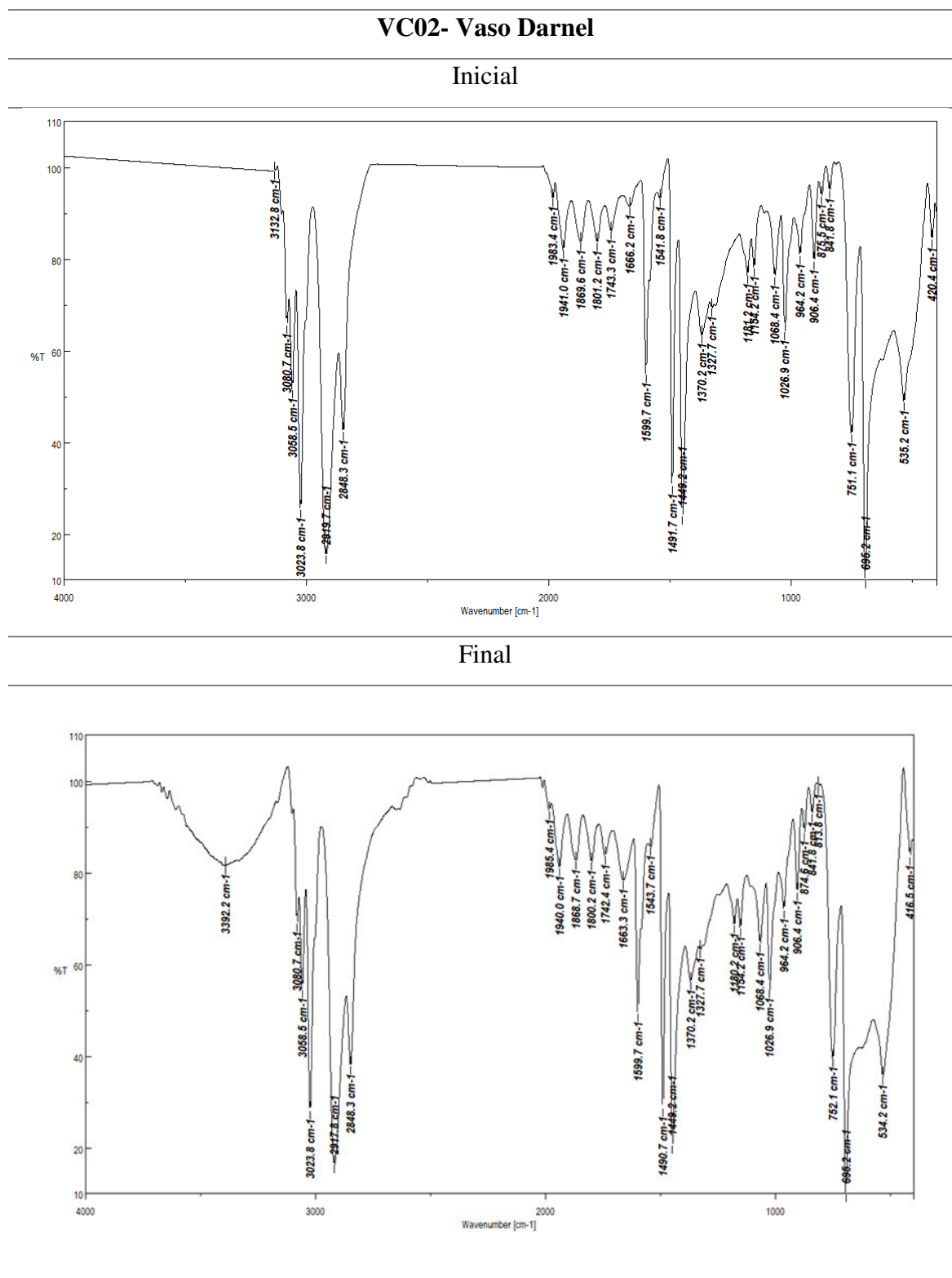
- Categoría Vasos:

**Tabla 14.**  
Espectros FTIR. Vaso Dream Pack (VC01).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

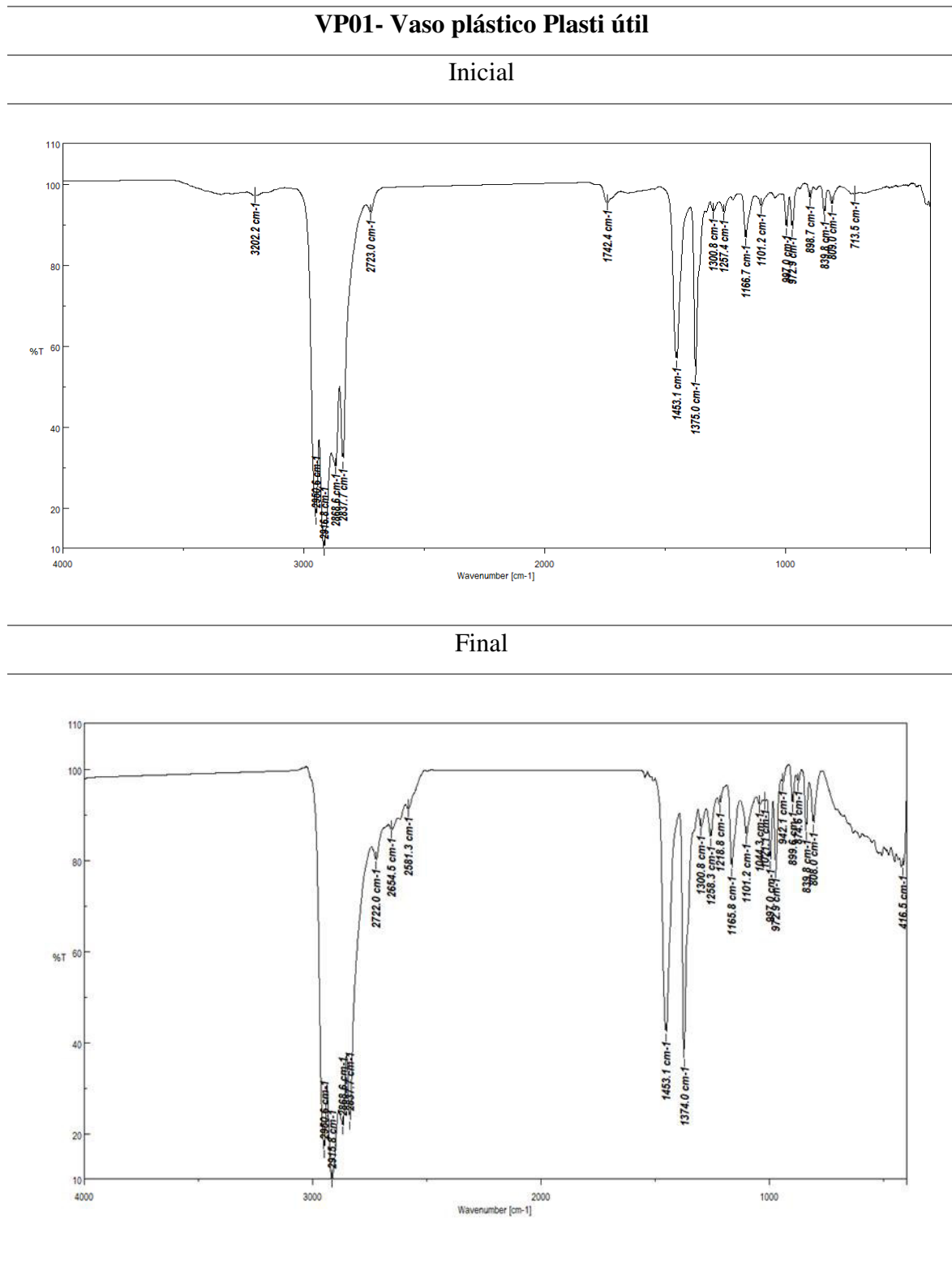
**Tabla 15.**  
Espectros FTIR. Vaso Darnel (VC02).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.



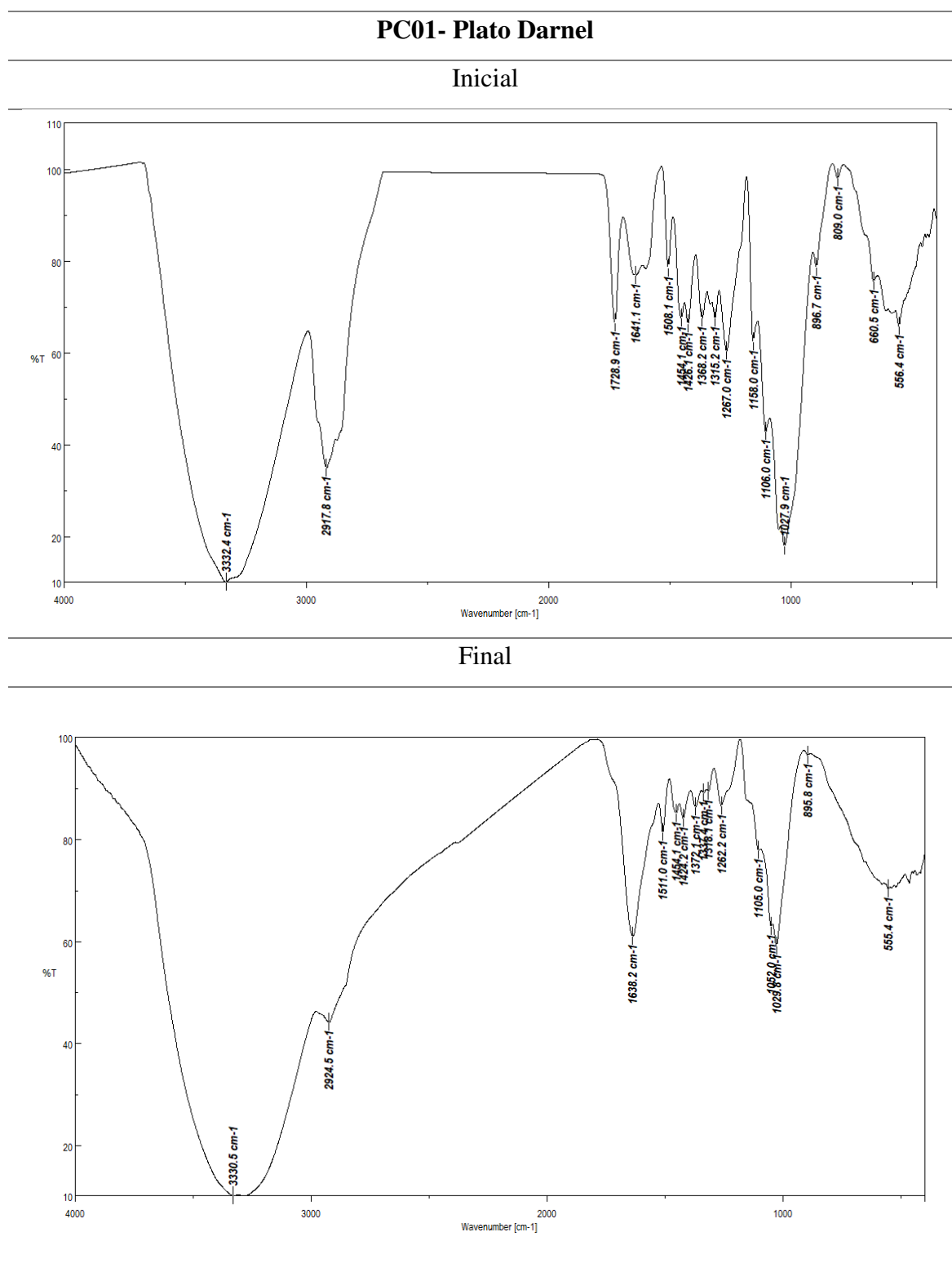
**Tabla 16.**  
Espectros FTIR. Vaso plástico tradicional (VP01).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

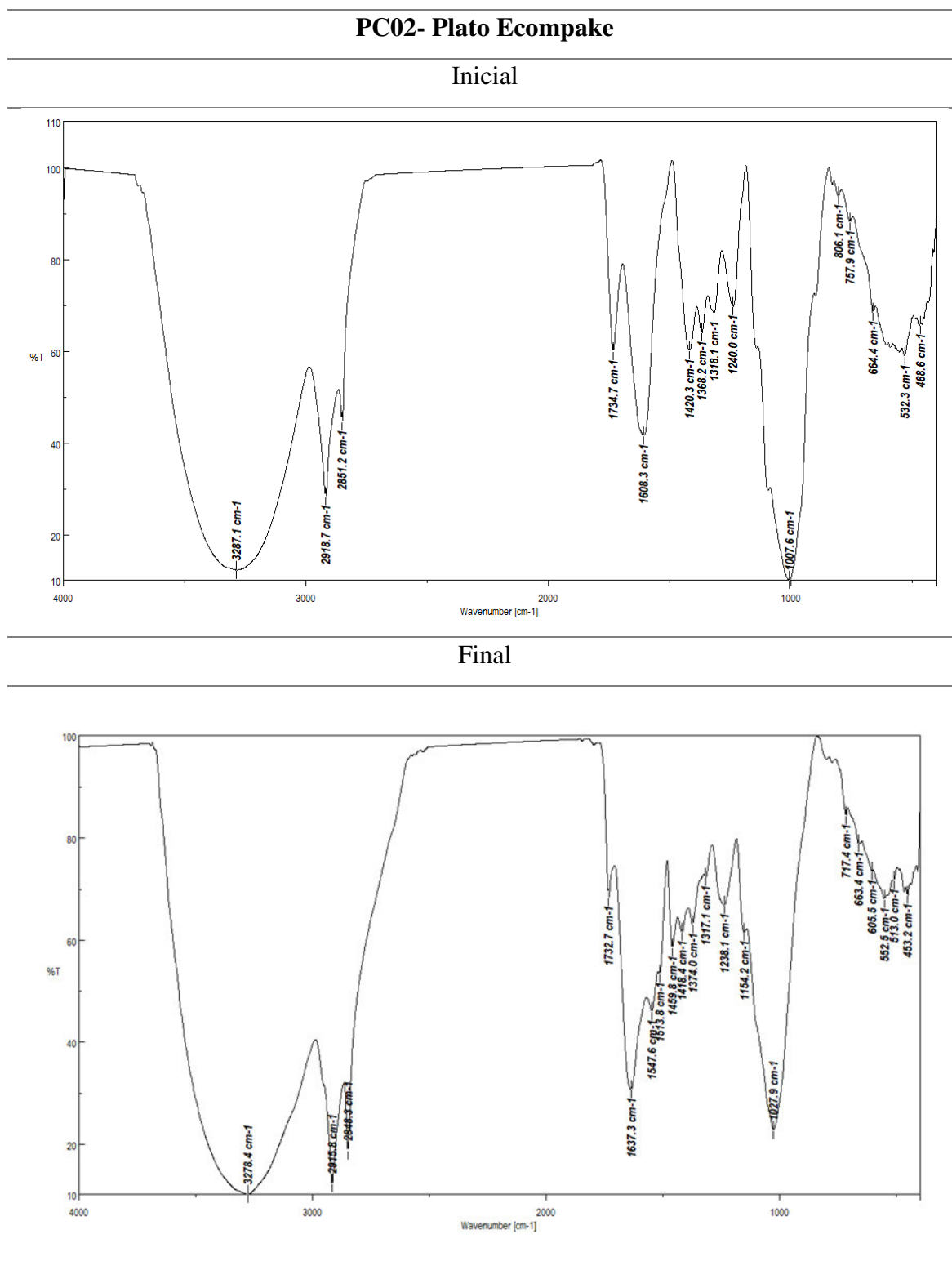
- Categoría Platos:

**Tabla 17.**  
Espectros FTIR. Plato Darnel (PCO1).



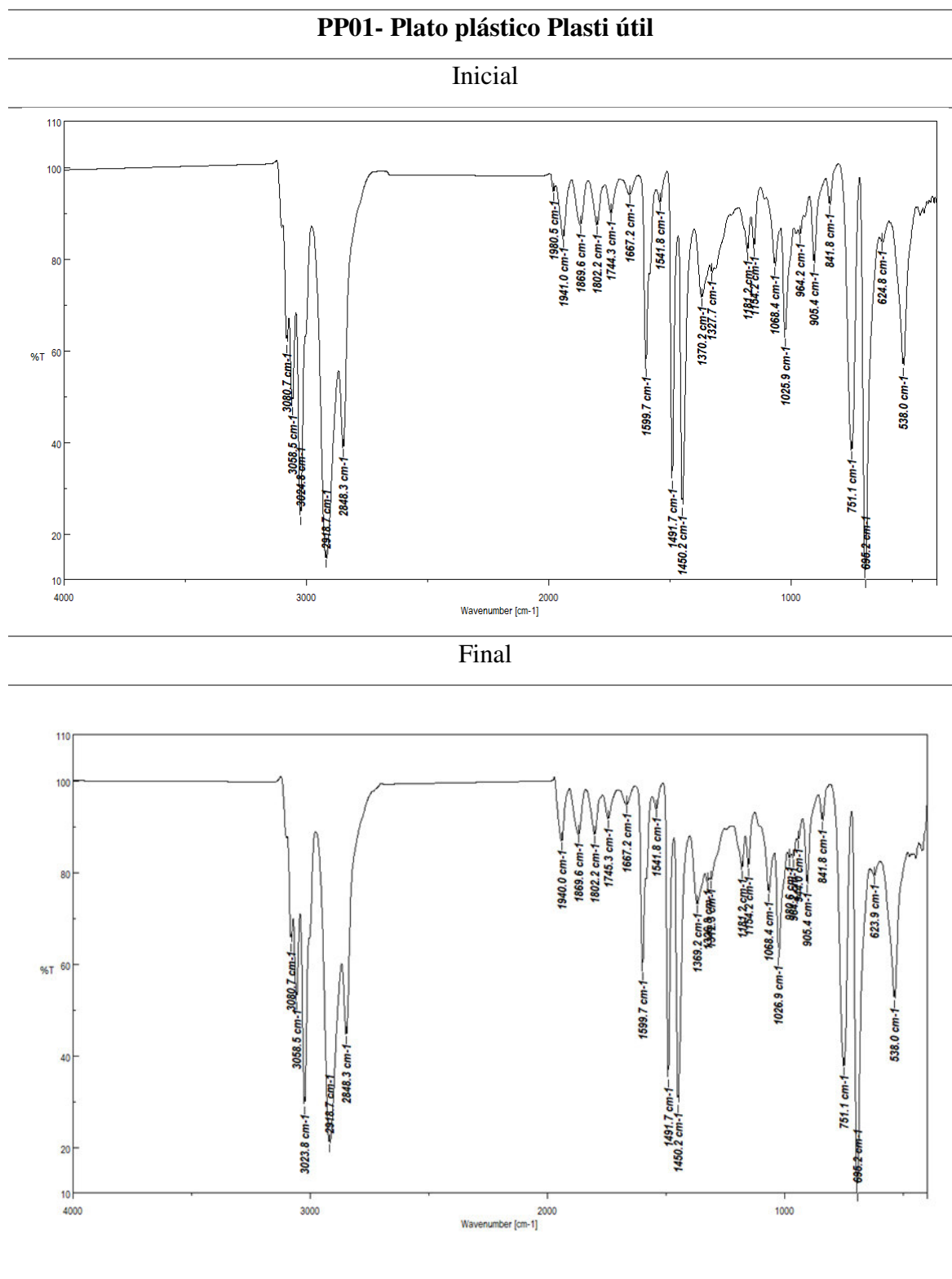
**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

**Tabla 18.**  
Espectros FTIR. Plato Ecompacte (PC02).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

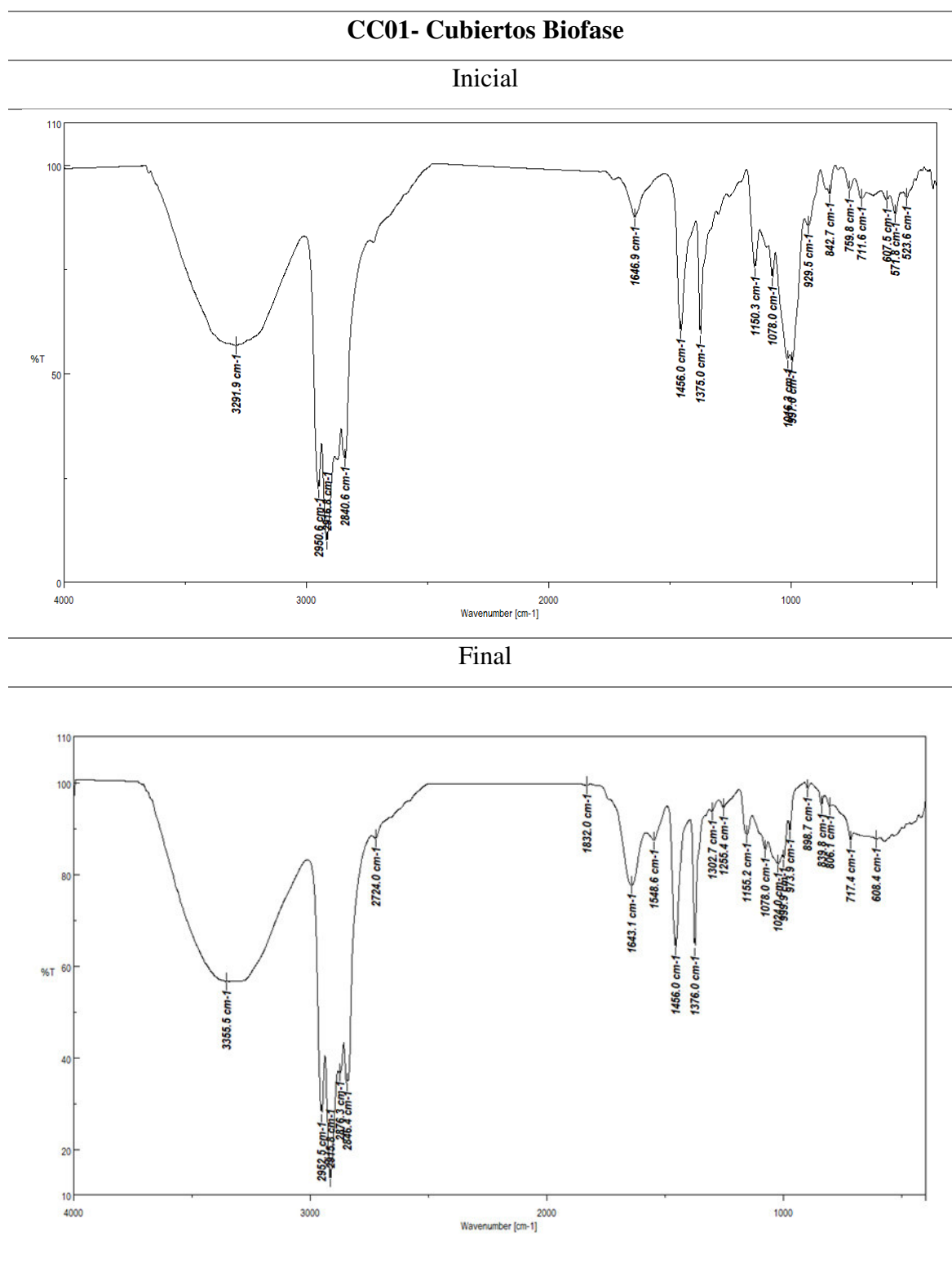
**Tabla 19.**  
Espectros FTIR. Plato tradicional (PP01).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

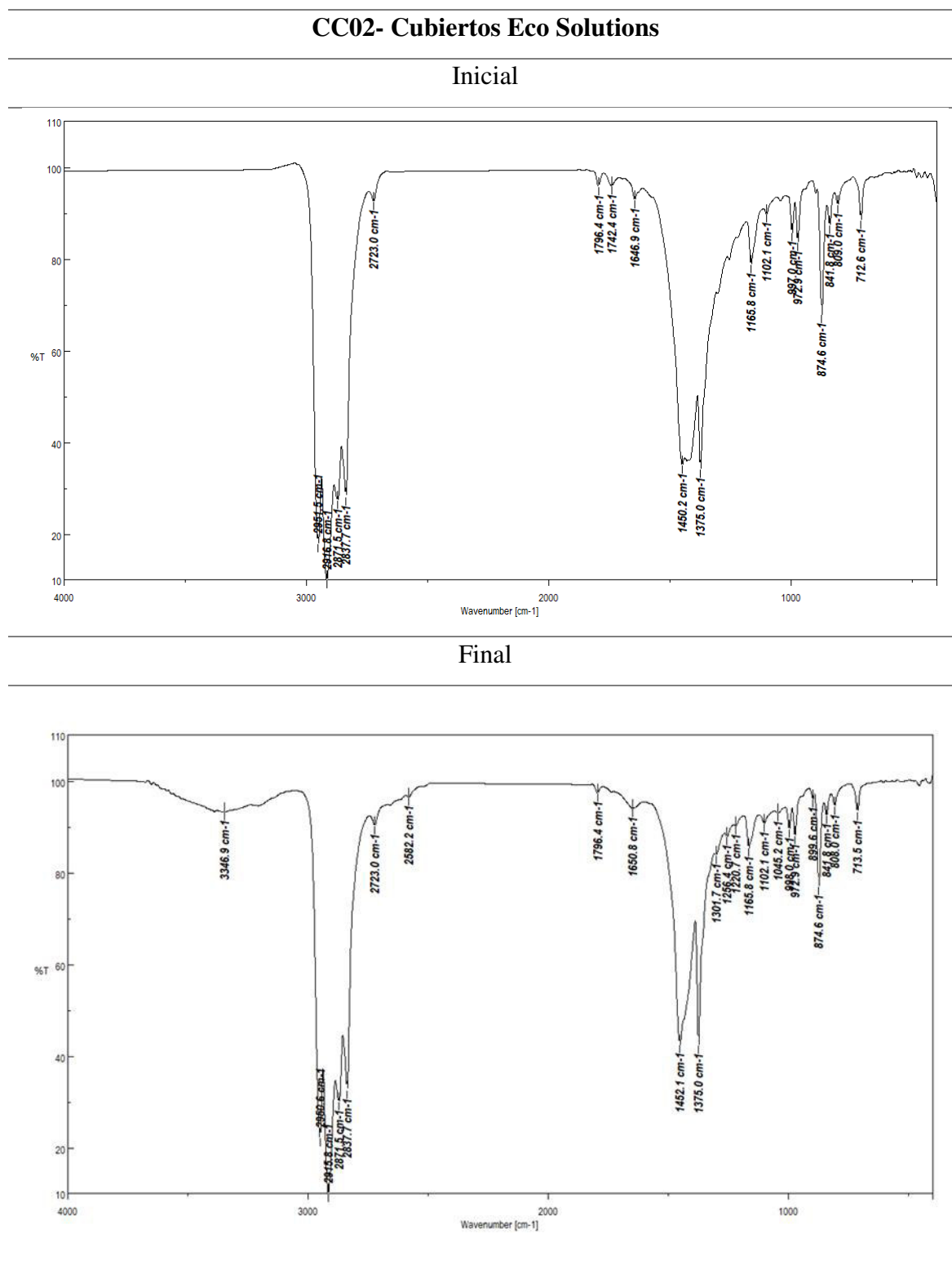
- Categoría Cubiertos:

**Tabla 20.**  
Espectros FTIR. Cubiertos Biofase(CC01).



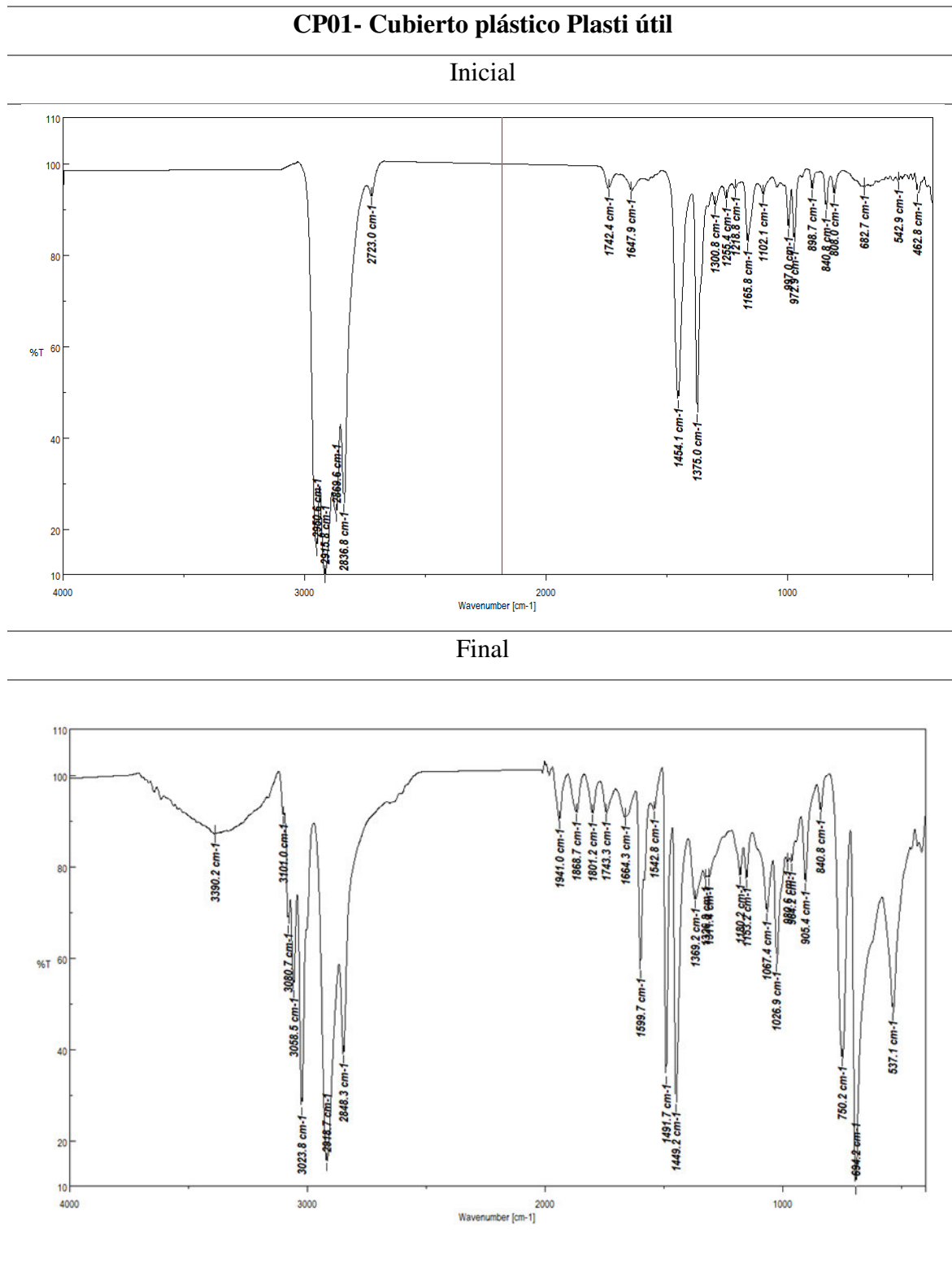
**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

**Tabla 21.**  
Espectros FTIR. Cubiertos Eco Solutions (CC02).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

**Tabla 22.**  
Espectros FTIR. Cubiertos tradicionales (CP01).



**Fuente:** Investigación Realizada-Espectros CIAP  
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.

### 3.3.2. Interpretación de espectros de los productos seleccionados.

Es importante saber que para interpretar los espectros no existe una regla general, por lo cual hay gran variedad de bibliografía las cuales presentan tablas de asignación de las bandas (Anexo V) para que se facilite la explicación, las tablas se organizan de diferentes maneras en las cuales pueden definirse entre qué tipo de compuesto es o a que grupo funcional pertenece los valores de la longitud de onda presente en los espectros (Mondragón, 2017, p. 42).

La interpretación en este estudio se encuentra relacionada con el estudio de Velandia (2017), en el cual se pueden comparar los espectros de algunos polímeros con el fin de identificar si los espectros obtenidos tienen alguna relación con el plástico tradicional (Anexo VI).

Los valores comprendidos desde 1400 y 600  $cm^{-1}$  no son descritos por el motivo que son zonas complejas ya que se presentan vibraciones de flexión y alargamiento, además en esta región cada compuesto tiene una absorción característica y se la denomina huellas dactilares (Mondragón, 2017, p. 40).

Para la interpretación de los espectros se tomará en cuenta las bandas más sobresalientes

- Categoría Vasos:

#### VC01- Vaso Dream Pack -Inicial:

En el espectro inicial se puede observar que existe bandas o picos sobresalientes a 2913.9 y 2847.4  $cm^{-1}$ , cuyos valores pertenecen al grupo funcional de los aldehídos y cetonas. La banda de flexión con valor 1729.8  $cm^{-1}$  pertenece a los aldehídos y por último la banda de estiramiento con valor 1464.7  $cm^{-1}$  pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos.

Al comparar con un espectro de la bibliografía del polietileno de baja densidad (ver Anexo VI), se observa que guardan mucha similitud, ya que el polietileno en su estructura comparte algunos de los grupos funcionales que se encuentran en los materiales de papel (Mondragón, 2020).

#### VC01- Vaso Dream Pack - Final:

Una vez sometido al proceso de compostaje (degradación) se observa una banda nueva muy perceptible la misma que tiene un valor de 3354.6  $cm^{-1}$  la cual pertenece al grupo O-H de los ácidos carboxílicos, probablemente esta banda se genera por la presencia de la humedad adherida al material, lo que podría interpretarse como una señal de degradación.



Además se producen dos pequeñas bandas con los valores de  $1645.9\text{ cm}^{-1}$  perteneciente al grupo de aldehídos y cetonas, también se genera un pico muy pequeño con el valor de  $1548.6\text{ cm}^{-1}$  el cual conforma el grupo de ácidos carboxílicos. No obstante, las demás bandas y picos del espectro se mantuvieron relativamente igual.

#### **VC02 – Vaso Darnel – Inicial:**

La banda más pequeña de flexión tiene el valor de  $3132.8\text{ cm}^{-1}$  la cual pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos, mientras que los picos entre  $2919.7$  y  $2848.3\text{ cm}^{-1}$  son parte del grupo de aldehídos y cetonas, además el pico más pronunciado cerca de la huella dactilar tiene un valor de  $1491.7\text{ cm}^{-1}$  que corresponde al grupo de los ácidos carboxílicos.

Los aldehídos son compuestos compuesto comúnmente utilizado para la fabricación de resinas plásticas, al comparar el espectro inicial al espectro del Anexo VI, se logra observar que, hay similitudes en los espectros, se podría tratar de una variante del polipropileno.

#### **VC02 -Vaso Darnel – Final:**

Al identificar el espectro se evidencia la presencia de una nueva banda con el valor de  $3392.2\text{ cm}^{-1}$ , misma que pertenece al grupo de ácido carboxílico, segmento en el cual destaca el enlace O-H, la presencia de hidróxidos nos permite decir que probablemente esta presencia proviene de la humedad del material que se dio luego de haber entrado en contacto con el compost. Además de la aparición de esta nueva banda, no hay ningún cambio significativo en el material.

#### **VP01- Vaso plástico Plasti útil – Inicial:**

La banda con el valor  $3202.2\text{ cm}^{-1}$  pertenece al grupo funcional de los ácidos carboxílicos, entre los valores  $2950.6$  y  $2837.7\text{ cm}^{-1}$  existen varias bandas estiradas las cuales pertenecen al grupo de aldehídos y cetonas. Se presenta un pico muy corto de flexión con el valor de  $1742.4\text{ cm}^{-1}$  mismo que pertenece al grupo de los éteres y la banda más cercana a la huella digital tiene un valor de  $1453.1\text{ cm}^{-1}$  y pertenece al grupo de ácidos carboxílicos. Todos estos valores pertenecen al espectro de polipropileno (ver Anexo VI), el cual se caracteriza por ser parte de los hidrocarburos saturados, derivados de los combustibles fósiles, es decir los vasos plásticos convencionales.

#### **VP01- Vaso plástico Plasti útil – Final:**

Al comparar con su estado inicial podemos evidenciar la aparición de 3 pequeños picos en la

gráfica, en los puntos 2722.0, 2654.5 y 2581.3  $cm^{-1}$ , además de la eliminación de la pequeña banda que pertenecía a los ácidos carboxílicos. Pero fuera de esto cambios, no se evidencia ningún otro cambio significativo en el espectro, por lo que, podría decirse que no hubo un cambio significativo en su estructura.

- Categoría Platos:

#### **PC01- Plato Darnel – Inicial:**

Se observa que en el espectro hay una banda extendida y ancha que tiene el valor de 3332.4  $cm^{-1}$  la cual pertenece al grupo de ácidos carboxílicos este punto se identifica con el grupo funcional OH. El ancho de la banda representa que existen bandas superpuestas pertenecientes a otros grupos funcionales.

Otra banda destacada pertenece al grupo de aldehídos y cetonas el cual tiene un valor de 2917.8  $cm^{-1}$ , finalmente otro punto de interés es la banda que tiene el valor de 1728.9  $cm^{-1}$  la cual pertenece al grupo de éteres.

#### **PC01- Plato Darnel – Final:**

Al comparar el estado final del material con su estado inicial, además se evidencia que el enlace O-H se está “agrandando” por así decirlo mismo que cuenta con un valor de 3330.5  $cm^{-1}$ , esto ocurre por la tendencia de los hidróxidos a formar puentes de hidrógeno intramoleculares con el oxígeno (Aguayo, 2017).

Adicionalmente se denota la desaparición de uno de los picos pronunciados en la longitud de onda 2917.8  $cm^{-1}$ , lo cual podría ser señal de degradación del material.

Si se compara con el Anexo VI, no se halla ningún resultado que se asemeje a este espectro. Por lo cual se puede evidenciar que el material no contiene ningún plástico convencional.

#### **PC02- Plato Ecompacte – Inicial:**

Al observar el espectro, se puede apreciar una banda ancha O-H con un valor de 3287.1  $cm^{-1}$ , lo cual identifica este espectro en el grupo funcional de los ácidos carboxílicos, además, se evidencia la presencia de tres bandas con valores de 29187.7, 2851.2 y 1734.7  $cm^{-1}$ , valores que forman parte del grupo de aldehídos y cetonas .

Si se compara este espectro con los del Anexo VI no hay ninguno que se le parezca, por lo tanto, no contiene ningún material plástico convencional.

**PC02- Plato Ecompake – Final:**

Al comparar este espectro con su contraparte inicial, se aprecia el agrandamiento del grupo funcional O-H de los ácidos carboxílicos, ya que se aprecia un desplazamiento de la longitud de onda de 3287.1 a 3278.4.  $cm^{-1}$ . Otro valor a tomar en cuenta es el enlace en la onda 2915.8 y 2848.3  $cm^{-1}$ , ya que de igual manera se desplazaron, señal de que el material talvez podría estarse degradando, al interactuar con el compost.

**PP01- Plato plástico Plasti útil – Inicial:**

La banda más pronunciada tiene un valor de 2918.7  $cm^{-1}$  la cual pertenece al grupo funcional de los aldehídos y cetonas, además la banda más cercana a la huella digital tiene el valor de 1450.2  $cm^{-1}$ , misma que forma parte del grupo de ácidos carboxílicos.

Se comparó este espectro con el Anexo VI, y se identificó como el espectro del Poliestireno de baja densidad, por la similitud en las longitudes de onda.

**PP01- Plato plástico Plasti útil – Final:**

Al comparar con el espectro inicial, no se denotaron cambios algunos con el material, dando a entender que durante su tiempo de compostaje no se alteró o degrado su estructura química de alguna manera significativa.

- Categoría Cubiertos:

**CC01- Cubiertos Biofase – Inicial:**

Las bandas destacadas pertenecen al valor de 3291.9  $cm^{-1}$  la cual pertenece al grupo de ácidos carboxílicos, la banda extendida con valor 2916.8  $cm^{-1}$  es parte del grupo de aldehídos y cetonas , además la banda más cercana a la huella digital tiene un valor de 1456.0 misma que pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos.

**CC01- Cubiertos Biofase – Final:**

Al comparar con su fase inicial, hubo un desplazamiento de la transmitancia de 3291.9 a 3355.5  $cm^{-1}$ , de igual manera hubo desplazamientos en las demás uniones y en el área de huella dactilar del espectro. No obstante, además de ese desplazamiento, no hubo cambios significativos en el material en su estructura.

Al ser comparado con los espectros del Anexo VI, se puede apreciar cierta similitud con el espectro de polipropileno, sin embargo, su estiramiento del enlace O-H es más grande en comparación al del polipropileno. Lo que podría indicar que estructuralmente contiene similitudes al polipropileno en sus moléculas.

#### **CC02- Cubiertos Eco Solutions – Inicial:**

Se evidencia la presencia de una banda destacada con valor  $2916.8\text{ cm}^{-1}$ , la cual pertenece al grupo de aldehídos y cetonas, además cerca de la huella digital se notó la presencia de una banda con valor  $1450.2\text{ cm}^{-1}$ , misma que pertenece al grupo de ácidos carboxílicos.

#### **CC02- Cubiertos Eco Solutions – Final:**

Después de haber sido compostado el material, el espectro muestra un ligero desplazamiento en su longitud de onda, además de una nueva banda con valor de  $3346.9\text{ cm}^{-1}$ , además de estos ligeros cambios, no se encontró ningún cambio significativo en la estructura del material al compostar.

Al comparar este espectro con el Anexo VI de espectros convencionales de los distintos tipos de plásticos, se observa que corresponde al espectro del polipropileno. Lo cual demuestra que el material en cuestión podría tratarse de un plástico convencional.

#### **CP01- Cubierto plástico Plasti útil- Inicial:**

Al identificar una de las bandas representativas se identificó el grupo funcional de aldehídos y cetonas con un valor de  $2915.8\text{ cm}^{-1}$ , además de pequeños picos entre los valores de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , que pertenecen a los éteres, finalmente una banda cerca de la huella digital que tiene el valor de  $1454.1\text{ cm}^{-1}$  que forma parte del grupo de ácido carboxílico.

#### **CP01- Cubierto plástico Plasti útil- Final:**

Cuando se compara el espectro inicial del material con su contraparte luego de ser sometido al compostaje, podemos evidenciar que existen algunos cambios, como la presencia de una nueva unión O-H en la longitud de onda  $3390.2\text{ cm}^{-1}$ , misma que pertenece al grupo de ácido carboxílico, señal de que existe humedad en el material y la aparición de nuevos picos después de la longitud de onda  $2000\text{ cm}^{-1}$ .

Comparando el espectro inicial del material con el Anexo VI, podemos identificar que el espectro correspondiente es el del polipropileno, coherente por ser un material plástico.

El análisis realizado mediante la técnica FTIR, no indica resultados concluyentes o definitivos para saber si un producto es biodegradable o compostable, por lo que se requiere la realización de técnicas complementarias (DSC y TGA) mencionadas en el marco teórico de esta investigación.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Luego de la investigación realizada se concluye que en los supermercados de DMQ existe una cantidad limitada de productos con eco etiquetado, además los artículos existentes tienen un costo elevado a comparación de los plásticos tradicionales, lo cual evidencia una falta de proporcionalidad para los productos desechables biodegradables.

La selección de productos dio como resultado 6 alternativas de ejemplares correspondientes a la categoría de vasos, platos y cubiertos, para la elección de los platos fue necesario utilizar la metodología de la selección de matriz de pares, en la cual se debe tomar en cuenta las características necesarias para los objetivos de estudio.

Para determinar la biodegradabilidad de los productos fue necesario realizar el método de compostaje, implementando una metodología similar a la normativa ecuatoriana base, como fue la INEN NTE 2640 y 2643, en las cuales se detalla que parámetros se toma en cuenta para un proceso de compostaje.

Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron temperatura, humedad y pH; para acelerar el proceso de compostaje se aplicó el método Takakura, con esta semilla a los 4 días se evidenció el crecimiento de microorganismos detectado a simple vista con la presencia de moho, basados en la bibliografía.

La relación C/N inicial fue importante para determinar la calidad del compost mismo que dió como resultado 25.82/1 según los análisis de laboratorio, valor que ingresa en el rango recomendado por la bibliografía. La temperatura en la fase inicial fue elevada por la etapa mesofílica por la que atravesó el compostaje, sin embargo, la última semana presentó una temperatura ambiente, la humedad presentó valores de entre 31% hasta un 50%.

El pH es un parámetro importante dentro de la investigación ya que se pudo determinar uno de los factores más importantes en la normativa como es la presencia de CO<sub>2</sub>, en las primeras etapas con un pH bajo se presentó la formación de CO<sub>2</sub> y al subir los valores de pH se generó la liberación de CO<sub>2</sub>.

Los análisis de espectroscopía ayudaron a diferenciar como van cambiando las longitudes de onda de los productos, con lo cual se pudo evidenciar el cambio que presentan los espectros según los grupos funcionales, a pesar de que no son resultados concluyentes se determina que la humedad es uno de los factores que proporciona estos cambios.

Se demostró que mediante el registro fotográfico y la observación de los productos con eco etiquetado: los cubiertos de pepa de aguacate marca Biofase, cubiertos BSP 200 provenientes de “fuentes orgánicas” marca Eco solutions, plato hondo de pulpa de papel marca Darnel, plato Ecompake de hoja de palma, vaso de papel Dream pack, muestran indicios de poder biodegradarse mediante un método de compostaje doméstico, adaptando adecuadamente la metodología y evitando cualquier tipo de interferencia. Mientras que el producto: vaso Poliestireno GPPS marca Darnel, no mostró ningún cambio en su estructura durante el tiempo de degradación.

## **4.2. Recomendaciones**

Los supermercados del DMQ deben estimar más espacio a los productos con eco-etiquetado, de tal manera que se exponga más variedad para los consumidores tanto para las personas que buscan alternativas amigables con el ambiente como para el público en general.

La información web de los productos no debe ser limitada, sería importante que alguna entidad lo regule para lanzar al mercado productos verificados evitando el greenwashing, además la información proporcionada debería detallar desde la materia prima que utilizan (polímeros, celulosa, pulpas o plásticos) con ayuda de fichas técnicas hasta la explicación de cómo aprovecharlos posterior a su uso.

Se debe tomar en cuenta la forma del material que se va a compostar, ya que puede alterar el tiempo de compostaje del mismo, por lo cual se incentiva a futuros estudios a tomar en cuenta esta característica y además investigar la forma ideal para cada tipo de producto con el fin de obtener una degradación rápida.

Se debe generar lineamientos enfocados a escenarios de compostaje doméstico, más accesibles a la población, dado que las normativas estandarizadas se enfocan en un compostaje industrial con metodología enfocada a sistemas de compostaje bajo condiciones de laboratorio.

Es importante que para futuros estudios se realice las pruebas de Elongación y Fuerza de Tensión a los productos desechables biodegradables previo al proceso de compostaje, con el fin de generar más puntos de comparación y análisis en la estructura del material.

Además, es necesario realizar pruebas complementarias a las pruebas FTIR, mediante otras técnicas complementarias como: la calorimetría diferencial de barrido que es la interacción del material al ser expuesto al calor y el análisis termogravimétrico de los productos, que permite realizar cambios en la masa del material para poder determinar bajo qué condiciones se puede degradar un determinado material.

Se debe tomar en cuenta que para identificar con mayor precisión las bandas superpuestas presente en los espectros de las pruebas FTIR, es necesario que se realicen pruebas de deconvolución, pruebas que permiten definir los grupos funcionales y su proporción dentro de estas bandas.



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AECID . (2018). *Agencia Español de Cooperación Internacional y Desarrollo*. Obtenido de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>
- Alejos, C. (2013). *Greenwashing: ser verde o parecerlo*. IESE Business School. Universidad de Navarra. Obtenido de <https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0328.pdf>
- Amigos de la Tierra. (2015). *Manual Básico para hacer Compost*. . Obtenido de [https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost\\_esp\\_v04.pdf](https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf)
- ARC-CAT. (2004). *Agencia de Residuos de Cataluña. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. Obtenido de <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha4.pdf>
- Ballesteros, L. (2014). *Los Bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo*. Repositorio Digital Universidad de San Buenaventura Cartagena. Obtenido de [http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl%C3%A1sticos\\_Laura%20Ballestero\\_USBCTG\\_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2247/1/Los%20Biopl%C3%A1sticos_Laura%20Ballestero_USBCTG_2014.pdf)
- Biofase. (2021). *Lasemilla de una revolución*. . Obtenido de <https://biofase.com.mx/>
- Bohórquez, A., Puentes , Y., & Menjivar , J. (2014). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar*. Repositorio Digital Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://sci-hub.do/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624644>
- Bonilla , X., & Urbina, J. (2020). *Estudio comparativo de dos técnicas de descomposición de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería del campus José Rubén Orellana*. Repositorio Digital Universidad Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20954/1/CD%2010452.pdf>
- Bravo , Y. (2017). *Aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes*. Repositorio Digital Universidad Central del Ecuador . Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12671/1/T-UCE-0017-0052-2017.pdf>
- Calderón, A. (2017). *Matriz de selección. Administración de calidad*. Obtenido de <https://cenincal.com/matriz-de-seleccion/>
- Chariguamán , J. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Darnel. (2021). *ECOEFFICIENT . Amigable con el planeta y el bolsillo*. Obtenido de <https://darnelgroup.com/es-co/sostenibilidad>
- Darnel. (2021). *Naturals. Platos de pulpa de papel*. Obtenido de <https://darnelgroup.com/es-co/productos/platos-de-pulpa-de-papel-darnel-naturals>
- Dreampack. (2021). *Empaques sostenibles de papel*. Obtenido de <https://www.dreampack.com.ec/>
- ECOEMBES. (2009). *Análisis de Bioplásticos. Cátedra ECOEMBES de Medio Ambiente*. Repositorio Digital Universidad Politécnica de Madrid. . Obtenido de [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/proyecto\\_bioplasticos\\_-\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/proyecto_bioplasticos_-_resumen_ejecutivo.pdf)
- ecompace. (2021). *La naturaleza al alcance de tu mano*. Obtenido de <https://ecompace.com/>
- Escobar , F., Sánchez , J., & Azero, M. (2012). *Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani*. Repositorio Digital Universidad Católica Boliviana. Obtenido de [67](https://sci-</a></p></div><div data-bbox=)

- hub.do/http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892012000100004&script=sci\_arttext
- Espejo , L. (2011). *Modificación estructural de Poli (Ácido Láctico) mediante extrusión reactiva. Universidad Politécnica de Cataluña.* Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41806043.pdf>
- FAO. (2013). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina.* . Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- FONAG. (2013). *Fondo para la Protección del Agua. El Método Takakura. Herramienta de responsabilidad Ambiental.* Obtenido de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>
- Gamarra , C., Díaz, M., Vera, M., & Galeano, M. (2018). *Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/323821988\\_Relacion\\_carbono-nitrogeno\\_en\\_suelos\\_de\\_sistemas\\_silvopastoriles\\_del\\_Chaco\\_paraguayo](https://www.researchgate.net/publication/323821988_Relacion_carbono-nitrogeno_en_suelos_de_sistemas_silvopastoriles_del_Chaco_paraguayo)
- García, A. (2015). *Obtención de un Polímero Biodegradable a partir de Almidón de Maíz. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.* Obtenido de <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>
- Greenpeace. (2009). *Basura Cero. Campaña contra la Contaminación. Greenpeace Argentina.* Obtenido de <https://www.senado.gob.ar/upload/8739.pdf>
- GREENPEACE. (2012). *Greenwash+20. Cómo las grandes empresas se interponen en el camino hacia el desarrollo sostenible.* . Obtenido de [http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/generales/gp\\_res\\_ejecutivo\\_greenwash20.pdf](http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/generales/gp_res_ejecutivo_greenwash20.pdf)
- INEN. (2012). *NTE 2640. Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje.* Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2640.pdf>
- INEN. (2012). *NTE 2643. Especificación para plásticos compostables.* Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2643.2012/page/n1/mode/2up>
- INIAP. (2011). *“Elaboración y Uso de Abonos Orgánicos”.* Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/95/1/iniapsc300cd.pdf>
- Juárez, D. (2014). *Análisis DSC para caracterización térmica de mezclas de polímeros por inyección.* Obtenido de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2014/02/AN%C3%81LISIS-DSC1.pdf>
- Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. Repositorio Digital Universidad Nacional de Educación a Distancia Master Universitario en Ciencia y Tecnología Química.* Obtenido de [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga\\_Viteri\\_Aitziber\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf)
- Márquez, J., Díaz , M., & Cabrera, F. (2017). *Factores que afectan al proceso de compostaje. Repositorio Digital Universidad de Huelva.* Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Mejía , E., & Ramos, S. (2019). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO DE LOS CANTONES COLTA, ALAUSI Y GUAMOTE, MEDIANTE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS. COMPOSTAJE, CO-COMPOSTAJE,*

- VERMICOMPOSTAJE Y TAKAKURA. ESPOCH* . Obtenido de <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10799/1/236T0430.pdf>
- Mondragón , P. (2020). *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas* . Obtenido de Segunda edición.: [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5f89fd7801268.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f89fd7801268.pdf)
- Mondragón, P. (2017). *Espesctroscopía de Infrarrojo para todos. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*. Obtenido de [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b7c09fdc1.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf)
- Moreno Casco , J., & Moral Herrero , R. (2008). *Comnpostaje* . Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=APuzwas6rrcC&lpg=PA4&ots=BSQsN8rtX8&dq=Moreno%20Casco%2C%20J.%2C%20%26%20Moral%20Herrero%2C%20R.%20\(2008\).%20Compostaje&lr&hl=es&pg=PA4#v=onepage&q=Moreno%20Casco,%20J.,%20%26%20Moral%20Herrero,%20R.%20\(2008\).%20Composta](https://books.google.com.ec/books?id=APuzwas6rrcC&lpg=PA4&ots=BSQsN8rtX8&dq=Moreno%20Casco%2C%20J.%2C%20%26%20Moral%20Herrero%2C%20R.%20(2008).%20Compostaje&lr&hl=es&pg=PA4#v=onepage&q=Moreno%20Casco,%20J.,%20%26%20Moral%20Herrero,%20R.%20(2008).%20Composta)
- Narváez, A. (2016). *Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón. Repositorio Digital Universidad San Francisco de Quito USFQ*. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6299/1/129278.pdf>
- Negro , M., Villa, F., Aibar, J., & Alarcón, R. (s.f.). *Producción y Gestión del Compost*. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>
- ONU Medio Ambiente. (2018). *Plásticos de un solo uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad*. Obtenido de <https://docplayer.es/128051484-Plasticos-de-un-solo-uso-una-hoja-de-ruta-para-la-sostenibilidad.html>
- Oviedo, C., & Navarro, D. (2019). *Importancia de productos biodegradables en Ecuador*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/06/productos-biodegradables-ecuador.html>
- Pazmiño , M. (2013). *Diseño Preliminar de una planta de mezclador de poliolefinas comerciales y recicladas a escala piloto*.
- Peinado , M. (2015). *Estudio de la biodegradabilidad y desintegración de películas a base de almidón y PVA que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas*. Obtenido de Repositorio Digital: Universidad Politécnica de Valencia. : <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56383/%20PEINADO%20%20ESTUDIO%20DE%20LA%20BIODEGRADABILIDAD%20Y%20GRADO%20DE%20DESINTEGRACION%20DE%20FILMS%20A%20BASE%20DE%20ALMIDON%20Y%20P...pdf?sequence=1>
- Posada, B. (2016). *La Degradación de los Plásticos. Revista Universitaria EAFIT*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/16534/document%20%287%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Quinatoa , M. (2012). *Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la asociación Santa Catalina del cantón Pillaro.Repositorio Digital Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2463/1/Tesis-31agr.pdf>
- Rodríguez, E., & Villegas , E. (2012). *Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico*. Obtenido de [www.dialnet.uniroja.es](http://www.dialnet.uniroja.es)
- Rojas, A., & Aranzazu, L. (2015). *Estabilidad de procesamiento de polímeros: índice de degradación en proceso. Revista MUTIS* . Obtenido de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1017/1045>
- Román , P., Martínez, M., & Pantoja , A. (2013). *Manual De Compostaje Del* . Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2>
- Roselló, J. (2001). *Compostaje de subproductos agrícolas*. Obtenido de

- [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_SH/SH\\_1997\\_5\\_19\\_26.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_SH/SH_1997_5_19_26.pdf)
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). *Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz*. Repositorio Digital Universidad Iberoamericana. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n2/art07.pdf>
- Secretaría de Desarrollo Productivo. (2020). *Informe Técnico. Análisis a la Ordenanza Metropolitana del Capítulo II, Título I, Libro IV.3. del Código Municipal, que incorpora la Sección VII*. Obtenido de "Para la reducción progresiva de plásticos de un solo uso y el fomento al desarrollo de sustitutos reutilizables, biodegradables y/o compostables en el Distrito Metropolitano de Quito".: [http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Comisiones%20del%20Concejo%20Metropolitano/Ambiente/2020/2020-11-13/Documentos%20para%20tratamiento/1%20Plasticos/3%2015oct2020-it-pl%C3%A1sticosunsolouso.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Comisiones%20del%20Concejo%20Metropolitano/Ambiente/2020/2020-11-13/Documentos%20para%20tratamiento/1%20Plasticos/3%2015oct2020-it-pl%C3%A1sticosunsolouso.pdf)
- Sernaqué, F., Huamán, L., Pecho, H., & Chacón, M. (2020). *Revista Scielo. Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852020000400022](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000400022)
- Soto, G. (2003). *Abonos orgánicos: El proceso de compostaje*. Centro Agronómico. Obtenido de Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 27 pp: [https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/74/Abonos\\_organicos\\_para\\_la\\_Produccion\\_sostenible\\_de\\_tomate.pdf;jsessionid=7C4A708C4064E2EA7F7DF9429F3CD168?sequence=1](https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/74/Abonos_organicos_para_la_Produccion_sostenible_de_tomate.pdf;jsessionid=7C4A708C4064E2EA7F7DF9429F3CD168?sequence=1)
- Sztern, D., & Pravia, M. (2016). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y Procedimientos*. Oficina de Planeamiento y Presupuesto Unidad de Desarrollo Municipal. Presidencia de la República de Uruguay. Obtenido de <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- Terán, J., Torres, A., Rendón, M., Lomelí, G., & Martínez, M. (2018). *Metodología para estimar la resistencia a la tensión de compuestos de fibra de carbón*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt504.pdf>
- UNAM. (2016). *Universidad Autónoma de México. Facultad de Química. Departamento de Química Orgánica. Manual de Experimentos*. Obtenido de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ManualLaboratoriodeQuimicaOrganicaII\(1407\)\\_32169.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ManualLaboratoriodeQuimicaOrganicaII(1407)_32169.pdf)
- Valero, M., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *Biopolímeros: Avances y Perspectivas*. Repositorio Digital Universidad de La Sabana. *Revista Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>
- Vega, Ó., & Montaña, D. (2020). *Biopolímeros, definiciones, caracterización y aplicaciones*. *Revista Digital ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/343268488\\_Biopolimeros\\_definiciones\\_caracterizacion\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/343268488_Biopolimeros_definiciones_caracterizacion_y_aplicaciones)
- Velandia, J. (2017). *Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja*. Facultad de Ingeniería-Universidad EAN. Obtenido de Revista Ontare: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/2005/1776>

## 6. ANEXOS

### ANEXO I. Cálculo de relación C/N

Fórmula:

$$R \frac{C}{N} = \frac{(\text{Peso A} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ A}) + (\text{Peso B} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ B})}{\text{Peso A} + \text{Peso B}}$$

DATOS		
<b>A</b>	Peso de Aserrín	1 kg
<b>B</b>	Peso de Césped	X
<b>R</b> <b>C/N</b>	Relación Carbono Nitrógeno óptima	30
<b>C/N</b>	Relación Carbono Nitrógeno de Aserrín	158
<b>C/N</b>	Relación Carbono Nitrógeno de Césped	14

$$30 = \frac{(1 * 158) + (X * 14)}{1 + X}$$

$$30 + 30x = 158 + 14x$$

$$16x = 128$$

$$x = 8 \text{ kg}$$

Césped	
<b>8</b>	kg
<b>30</b>	d
<b>0,27</b>	kg/d

## ANEXO II. VALORES DE PARÁMETROS -SEMILLA.

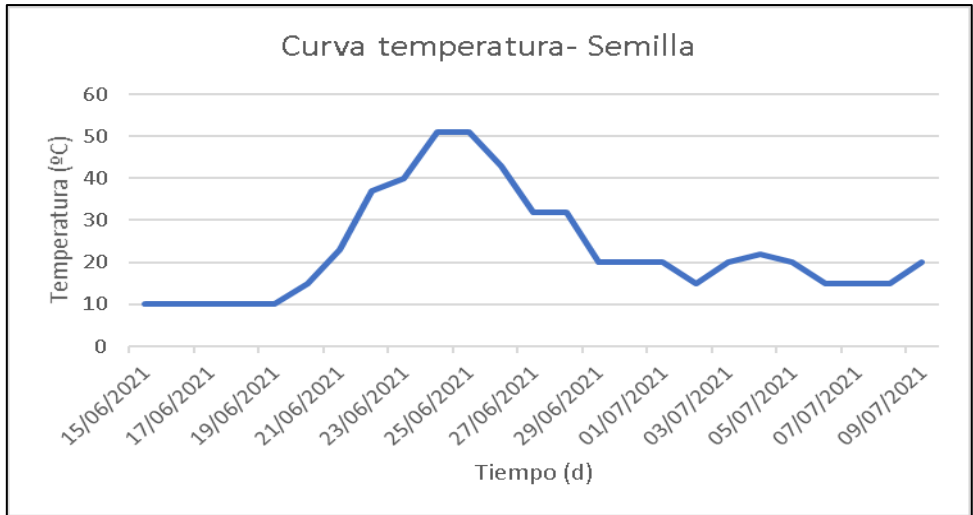
**Tabla 23.**

Monitoreo de semilla Método Takakura.

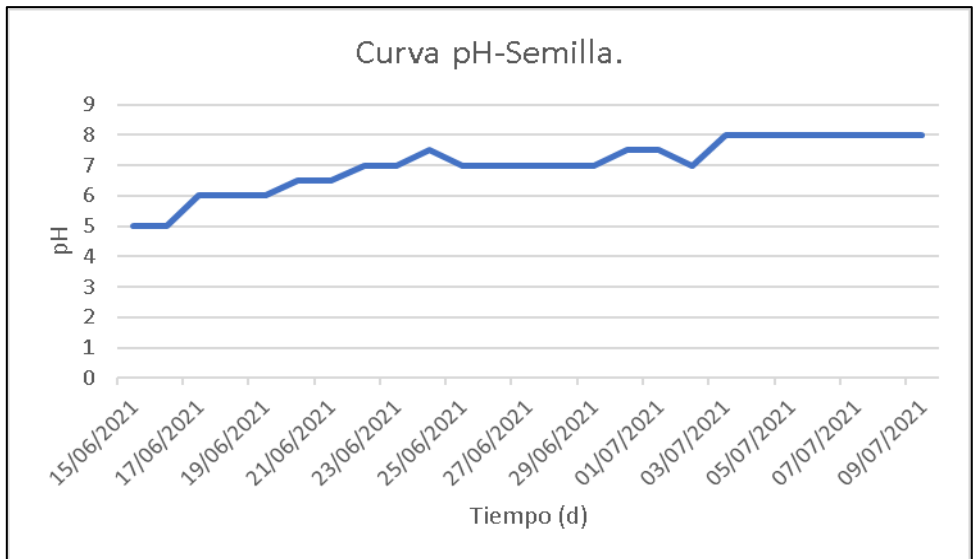
Fecha	Temperatura (°C)	Ph	Humedad
15/6/2021	10	5	20%
16/6/2021	10	5	30%
17/6/2021	10	6	40%
18/6/2021	10	6	40%
19/6/2021	10	6	50%
20/6/2021	15	6,5	60%
21/6/2021	23	6,5	70%
22/6/2021	37	7	60%
23/6/2021	40	7	60%
24/6/2021	51	7,5	50%
25/6/2021	51	7	50%
26/6/2021	43	7	60%
27/6/2021	32	7	50%
28/6/2021	32	7	50%
29/6/2021	20	7	50%
30/6/2021	20	7,5	50%
1/7/2021	20	7,5	40%
2/7/2021	15	7	30%
3/7/2021	20	8	40%
4/7/2021	22	8	50%
5/7/2021	20	8	40%
6/7/2021	15	8	50%
7/7/2021	15	8	50%
8/7/2021	15	8	50%
9/7/2021	20	8	50%

**Fuente:** Investigación Realizada

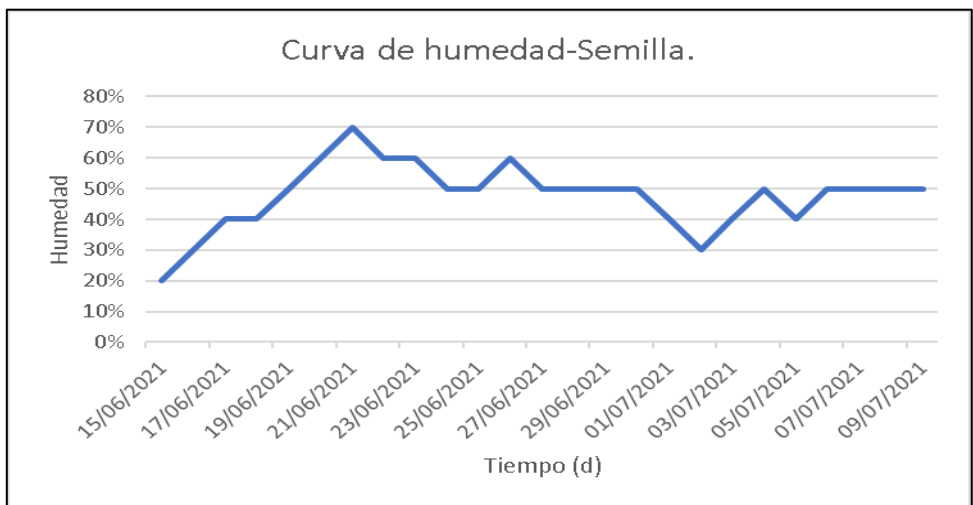
**Elaborado por:** Guttinger Andrés, Lima Jéssica.



**Figura 31.** Valores de temperatura- Semilla.



**Figura 32.** Valores de pH- Semilla.



**Figura 33.** Valores de humedad-Semilla.

**ANEXO III. Resultado -Relación CO/NO**



**AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA**  
**Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.**

Gonzalo Zaldumbide N45-294 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca)  
 Telf: (593-2) 341-2383 / 341-2386 Fax: (593-2) 341-3312 Guano - Ecuador  
 Página Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com

**COMPOST**

Datos del Cliente		Referencia
Cliente : GUTTINGER ANDRES		No. Doc: <b>54475</b>
Propiedad: GUTTINGER ANDRES		Emisión: 29/07/2021
Cultivo : COMPOST		Impreso: 29/07/2021
Ingreso : 23/07/2021	Ensayo: 29/07/2021	Página: 1 de 1
No. Lab : Desde: 2911	Hasta : 2911	

Nombre: MUESTRA 1 - CC

No. Lab: 2911

M %											
0.90											
	M.O. %	C %			C/N						
	40.07	23.24			25.82						

Simbolo decimal = (,)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal.  
 P (PESABLOS), K (PESABLOS)  
 Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.  
**¡SU ÉXITO ES NUESTRO!**

  
 Dr. Washington A. Padilla G. Ph.D  
 Director del Laboratorio



## ANEXO IV. Curvas de parámetros (Duplicados).

Parámetro temperatura (T °C):

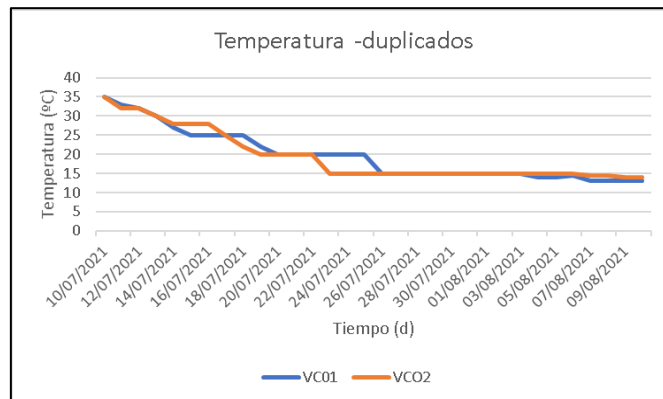


Figura 34. Valores de temperatura vasos duplicados.

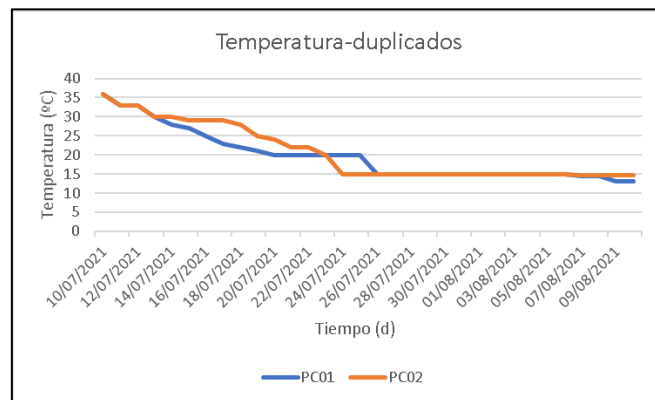


Figura 35. Valores de temperatura platos duplicados.

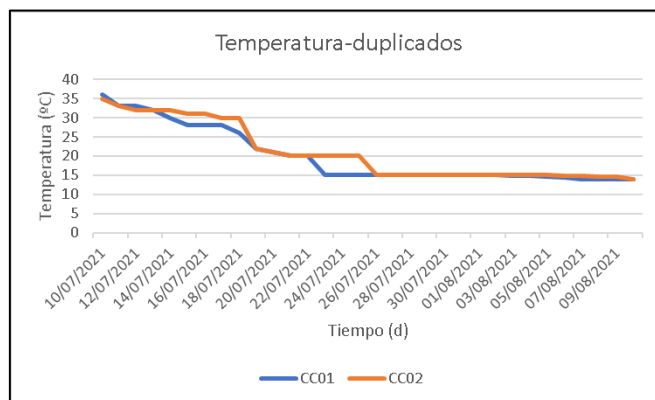


Figura 36. Valores de temperatura cubiertos duplicados.

Parámetro humedad:

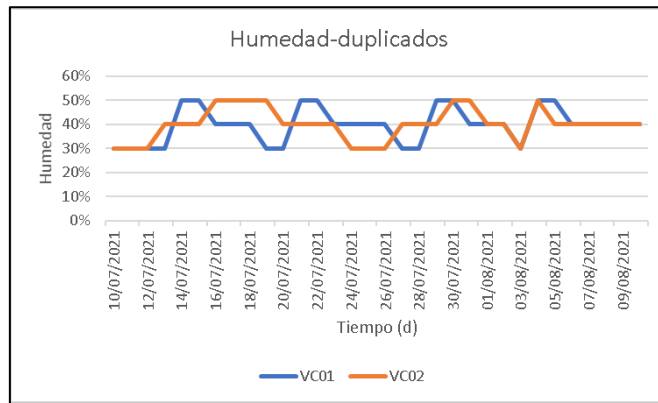


Figura 37. Valores de humedad vasos duplicados.

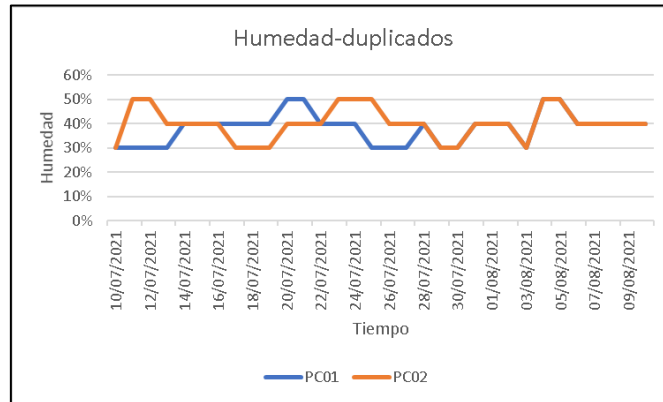


Figura 38. Valores de humedad platos duplicados.

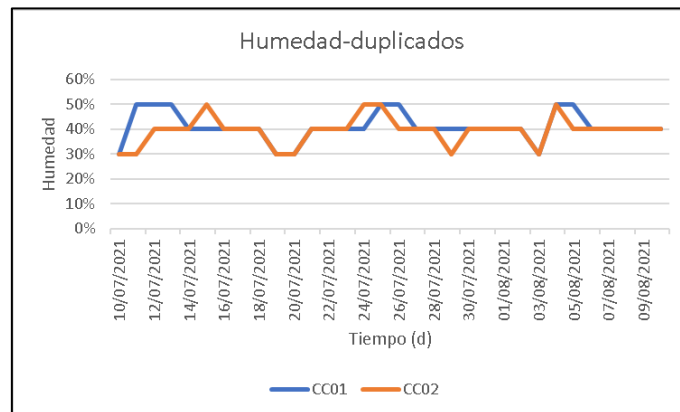


Figura 39. Valores de humedad cubiertos duplicados.

Parámetro pH:

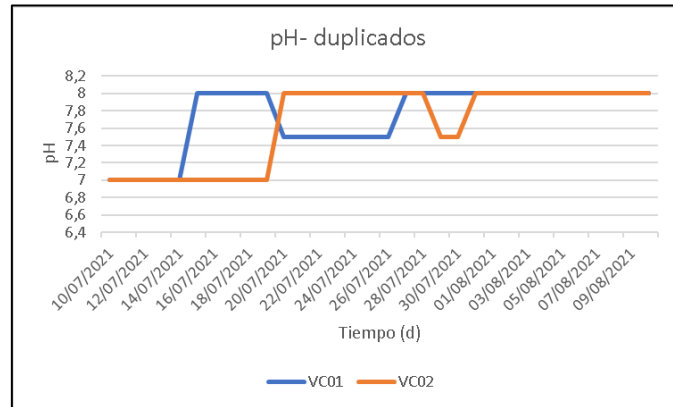


Figura 40. Valores de pH duplicados.

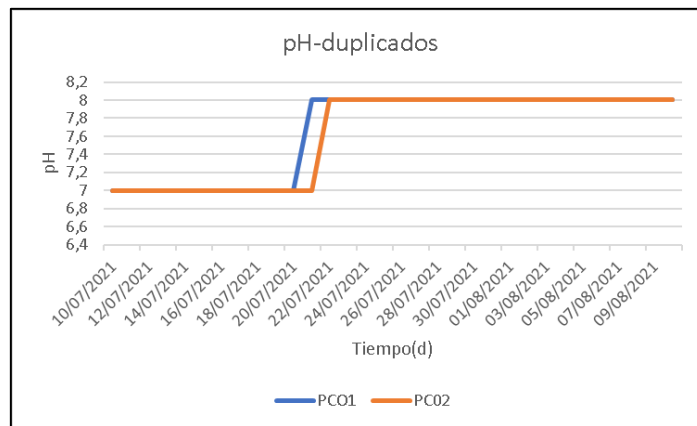


Figura 41. Valores de pH duplicados.

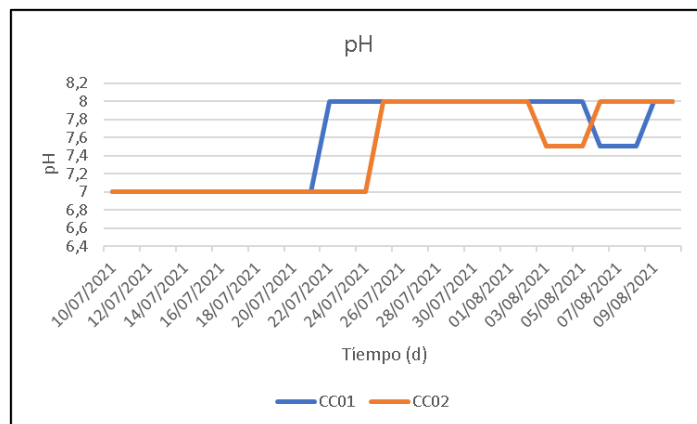


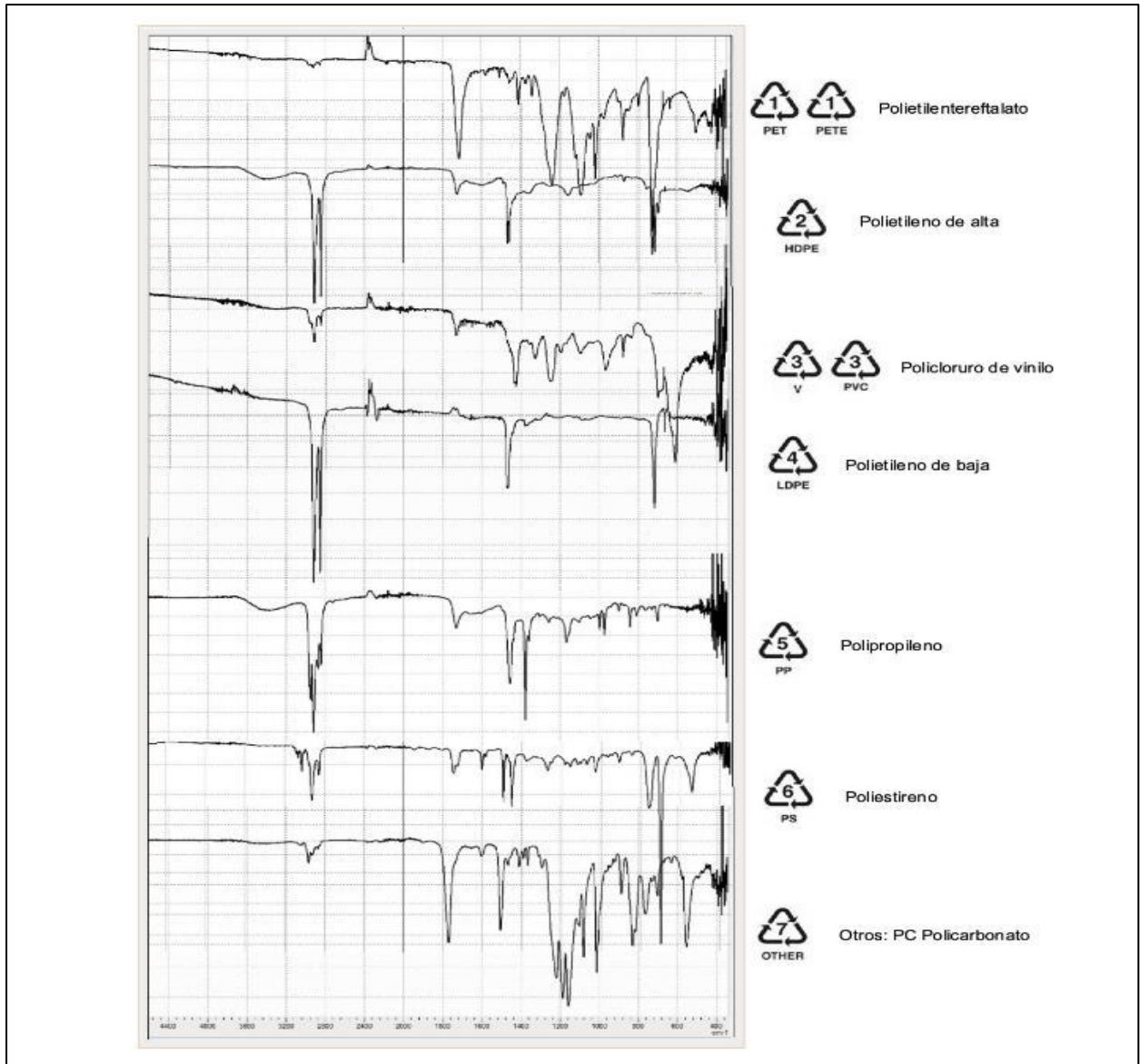
Figura 42. Valores de pH duplicados.

## ANEXO V. Tabla de asignación de bandas para FTIR

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Asignación
<i>Alcohol y fenoles</i>	
3600	Estiramiento O-H del alcohol
3550-3500	Estiramiento O-H del fenol
1300-1000	Estiramiento C-O
<i>Éteres</i>	
1100	Estiramiento C-O-C
<i>Aldehidos y cetonas</i>	
2900-2700	Estiramiento C-H del aldehído
1740-1720	Estiramiento C=O del aldehído alifático
1730-1700	Estiramiento C=O de la cetona alifática
1720-1680	Estiramiento C=O del aldehído aromático
1700-1680	Estiramiento C=O de la cetona aromática
<i>Éteres</i>	
1750-1730	Estiramiento C=O alifático
1730-1705	Estiramiento C=O aromático
1310-1250	Estiramiento C-O aromático
1300-1100	Estiramiento C-O alifático
<i>Ácidos carboxílicos</i>	
3300-2500	Estiramiento O-H
1700	Estiramiento C=O
1430	Flexión C-O-H en el plano
1240	Estiramiento C-O
930	Flexión C-O-H fuera del plano
<i>Anhidridos</i>	
1840-1800	Estiramiento C=O
1780-1740	Estiramiento C=O
1300-1100	Estiramiento C-O

**Fuente:** Investigación Realizada. (Mondragón, 2017)

## ANEXO VI. Espectros FTIR – “Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja”



Fuente: Investigación Realizada. (Velendia, 2017).

**ANEXO VII.**  
**GUÍA METODOLÓGICA PARA ANALIZAR**  
**LA COMPOSTABILIDAD DE PRODUCTOS**  
**CON ECO-ETIQUETADO.**

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**GUÍA METODOLÓGICA PARA ANALIZAR LA  
COMPOSTABILIDAD DE PRODUCTOS CON ECO-  
ETIQUETADO.**

**ANDRÉS ALEJANDRO GUTTINGER BERNAL**

[andres.guttinger@epn.edu.ec](mailto:andres.guttinger@epn.edu.ec)

**JÉSSICA PAOLA LIMA HERNÁNDEZ**

[jessica.lima@epn.edu.ec](mailto:jessica.lima@epn.edu.ec)

**Quito, septiembre 2021**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	83
2.	Objetivos: .....	84
2.1.	Objetivo General: .....	84
2.2.	Objetivos específicos: .....	84
3.	Fundamento teórico de compostaje .....	85
3.1.	¿Qué es el compostaje? .....	85
3.2.	Fases del compostaje .....	85
3.3.	Parámetros de control del compostaje .....	85
3.4.	Factores del compostaje .....	86
3.5.	Técnica de compostaje .....	86
3.6.	Técnicas para análisis de materiales .....	86
3.6.1.	Espectroscopía de infrarrojo de Fourier (FTIR) .....	86
3.6.2.	Calorimetría diferencial de barrido (DCS) .....	86
3.6.3.	Análisis termogravimétrico (TGA) .....	86
3.6.4.	Pruebas de elongación .....	87
3.6.5.	Fuerza de tensión .....	87
4.	Fundamentos prácticos para la compostabilidad de un material .....	87
4.1.	Adaptación de lugar de compostaje .....	87
4.2.	Como adaptar un material para su compostaje .....	89
4.3.	Elaboración y monitoreo de la semilla Takakura .....	90
4.4.	Revisión de parámetros de la semilla .....	93
4.5.	Monitoreo y alimentación del compost .....	93
4.6.	Cálculo de Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) .....	94
5.	Características de compostabilidad de materiales y/o productos .....	95
5.1.	Características de que un material se está degradando .....	95
5.2.	Técnicas Complementarias como se hacen .....	97
6.	Bibliografía: .....	99



## **1. Introducción**

La presente guía es un anexo del trabajo de investigación “Estudio comparativo de compostabilidad de materiales con eco-etiquetado comercializados en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)”, para una comprensión más profunda del tema se recomienda revisar el trabajo de investigación ya mencionado (Guttinger y Lima, 2021).

Uno de los problemas más importantes a nivel mundial son los residuos sólidos plásticos o plásticos de un solo uso (PUSU), ya que estos contaminan el ambiente, es por ello que a lo largo del tiempo se han desarrollado nuevos materiales y productos que prometen ser amigables con el planeta.

Algunas de las alternativas ambientalistas, han diseñado productos a base de biopolímeros que se consideran “biodegradables” y/o “compostables”, mediante condiciones de compostaje a gran escala. Sin embargo, también es aplicable en cuanto a compostaje doméstico (a pequeña escala).

Es por ello que esta guía tiene como propósito enseñar a estudiantes con carreras afines a temas ambientales y para las personas que buscan alternativas amigables con el ambiente, como para personas y organizaciones que requieran técnicas y recomendaciones para medir compostabilidad de los materiales y/o productos, utilizando implementos y herramientas de fácil acceso.

Esta guía se realizó bajo la crisis sanitaria de la COVID-19, por lo tanto, existieron limitaciones en cuanto a la metodología implementada, por lo cual existen recomendaciones a las técnicas utilizadas en caso de que se requieran resultados más detallados.

## **2. Objetivos:**

### **2.1. Objetivo General:**

Proporcionar una guía técnica que detalla la metodología de compostabilidad de materiales y/o productos con eco etiquetado.

### **2.2. Objetivos específicos:**

- Implementar la técnica de compostaje Takakura, adaptado a un contexto doméstico.
- Detallar los parámetros y características para la compostabilidad de materiales y/o productos.
- Establecer un seguimiento y control de la compostabilidad de productos y/o materiales dentro de la metodología.

Esta guía tiene como objetivo proporcionar una metodología para el compostaje de materiales y/o productos que requieran ser estudiados, utilizando la técnica de compostaje Takakura para acelerar el proceso de maduración del compost. En esta guía se incentiva la elaboración de una compostera (espacio para compostar) utilizando materiales de fácil acceso, de preferencia materiales reciclados. Además, se explica el monitoreo de las características de los materiales y/o productos que se requieran analizar.

### 3. Fundamento teórico de compostaje

#### 3.1. ¿Qué es el compostaje?

El compostaje consiste en una descomposición biológica que se da por la transformación de la materia orgánica en humus, el humus también conocido como abono se genera gracias a la actividad microbiana sobre los residuos orgánicos (Soto,2003).

El compostaje se da en condiciones aerobias es decir necesita la presencia de aire, además para realizar un compostaje es importante que “se genere bajo condiciones controladas, esto depende del tipo de materia orgánica, las técnicas/métodos de compostaje a aplicar y se toma en cuenta la duración del proceso” (Escobar et al., 2012, p. 391).

#### 3.2. Fases del compostaje

Según la FAO (2013) las fases del compostaje se dividen según la temperatura, las cuales son:

<u><i>Fase mesófila</i></u>	<b>T:</b> 45 °C, <b>pH:</b> 4- 4.5, <b>Tiempo:</b> 2-8.días
<u><i>Fase termófila</i></u>	<b>T:</b> 60 °C, <b>pH:</b> 5 - 5.5, <b>Tiempo:</b> 10días- meses
<u><i>Fase de enfriamiento</i></u>	<b>T:</b> 40-45°C, <b>pH:</b> 7.5-8, <b>Tiempo:</b> semanas- meses
<u><i>Fase de maduración</i></u>	<b>T:</b> ambiente, <b>pH:</b> 7.5-8, <b>Tiempo:</b> semanas- meses

#### 3.3. Parámetros de control del compostaje

En el proceso de compostaje intervienen diferentes parámetros para obtener un resultado y llevar a cabo un registro continuo; es necesario dar seguimiento, evaluar y llevar un control.

Los parámetros son:

- Aireación.
- Humedad.
- Temperatura.
- pH.
- Relación Carbono-Nitrógeno.

### **3.4. Factores del compostaje**

Según la FAO (2013) para escoger la técnica de compostaje más conveniente es importante tomar en cuenta: “la duración del proceso, disposición del espacio, seguridad higiénica, material de arranque, condiciones climáticas y las diferentes técnicas se dividen generalmente en sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos son aquellos que se hacen al aire libre, y los cerrados los que se hacen en recipientes o bajo techo”. (pp.25 – 30)

### **3.5. Técnica de compostaje**

Existen varias técnicas de compostaje como:

Vermicomposteo: consiste en una técnica agroecológica para la cría producción o tratamiento de lombrices para la descomposición de materia orgánica y obtención de compost (Villegas Y Laines, 2017).

Bocashi: consiste en la fermentación de materiales de origen animal y vegetal, mejora la actividad microbiana de la tierra y ayuda a la nutrición de las plantas (Bertolí et al, 2015).

Takakura: consiste “en la reducción de residuos orgánicos a partir de microorganismos aerobios (descomponen la materia orgánica), el constante movimiento del compost reduce la acción de microorganismos anaerobios (causan mal olor), lo cual descompone los desechos orgánicos en un tiempo reducido y no genera olores” (FONAG, 2013, p. 9).

## **3.6. Técnicas para análisis de materiales**

### **3.6.1. Espectroscopía de infrarrojo de Fourier (FTIR)**

La técnica FTIR permite determinar la composición de los compuestos moleculares e identificar moléculas en una muestra, es decir, ayuda a distinguir los diferentes grupos funcionales que se pueden evidenciar en los espectros (Mondragón, 2017, p.51).

### **3.6.2. Calorimetría diferencial de barrido (DCS)**

Es una técnica termoanalítica utilizada para la caracterización de materiales, analiza el cambio de propiedades físicas y mecánicas de los materiales con la temperatura, además se emplea para analizar qué cambio presenta un polímero ante el calor. (Espejo, 2011, p. 28).

### **3.6.3. Análisis termogravimétrico (TGA)**

Es un análisis donde se registra la pérdida o disminución de masa de un componente de una

muestra frente al aumento de temperatura durante un tiempo definido (Vega y Montaña, 2020, p.190).

#### **3.6.4. Pruebas de elongación**

Consiste en someter a un material a una determinada fuerza de tensión (estiramiento) para conocer qué tan resistente o rígido es, se interpreta en porcentaje con respecto a la longitud original, además, a partir de esta prueba se puede encontrar tres propiedades: deformación, tensión y módulo de elasticidad (Chariguamán, 2015, p.18).

#### **3.6.5. Fuerza de tensión**

Se trata del mayor estrés aplicado a un material al exponerse a las pruebas de elongación, “un incremento en la cantidad de plastificante da como resultado bioplásticos con menor fuerza de tensión y una mayor elongación” (Chariguamán, 2015, p. 44).

Estas técnicas ayudan a determinar las características de los materiales, y bajo que condiciones se pueden degradar, estas técnicas se realizan en laboratorios con los respectivos equipos y reactivos. Como resultado se obtiene características como:

- Grupos funcionales del material. (FTIR)
- Reacción del material frente al calor. (DSC)
- Disminución de masa al calentar el material. (TGA)
- Resistencia del material (Pruebas de elongación y fuerza de tensión)

## **4. Fundamentos prácticos para la compostabilidad de un material**

### **4.1. Adaptación de lugar de compostaje**

La adaptación del lugar es importante para saber en qué condiciones se va a desarrollar la degradación de los materiales. Se escoge el sistema que se adapte a las necesidades del usuario. Existen dos tipos de sistemas.

- Sistemas abiertos: aire libre
- Sistemas cerrados: hechos en recipientes o bajo techo.



En esta guía se detalla una adaptación de un sistema cerrado.

- Espacio de compostaje

Destinar un espacio para colocar las pilas de compost, entre más espacio más posibilidades hay de acomodar las pilas, sin embargo, si se cuenta con poco espacio se debe ser creativo para adecuar las pilas.

En el siguiente ejemplo se puede ver una compostera adaptada de materiales que se iban a desechar (Pallets) y un cobertor de lavadora de plástico, de tal manera que existen 4 espacios donde entran 4 recipientes plásticos “tipo lavacara”.



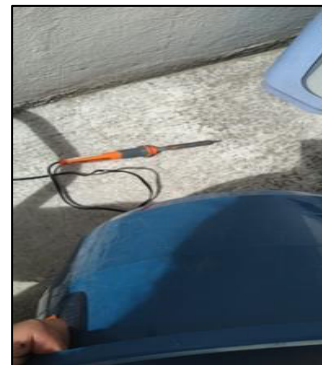
Recomendación: La forma y materiales de la compostera dependen fuertemente de los materiales que se tengan a la mano, por lo tanto, se recomienda experimentar con diversos materiales accesibles (de preferencia reciclados o de segunda mano) según el espacio disponible.

Ejemplos de espacio de compostaje:



- Recipientes

Luego se escogen los recipientes del volumen requerido, es necesario que estos contengan perforaciones o espacios abiertos para una mejor aeración del compost, a continuación, se observa una tina de plástico tipo “lavacara” con perforaciones hechas con cautín en la parte inferior del recipiente.



#### 4.2. Como adaptar un material para su compostaje

Al seleccionar un producto/material, para su compostaje, se debe adaptar el mismo, cortando este material en partes, para su degradación, dependiendo del tipo de producto/material, se puede trabajar con diferentes dimensionamientos para adaptar el material:

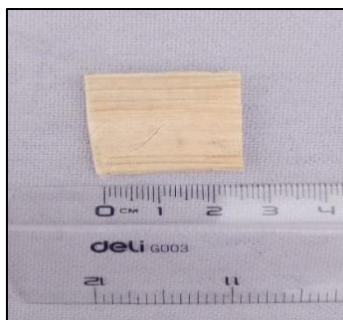
- 10mm x 5mm x 2mm o 25 mm x 25mm - para productos con grosores pequeños



- 3cm x 3cm - para productos de gran tamaño



Una vez seleccionada las dimensiones, se realiza los cortes del material y/o producto para su compostaje:



Consideraciones al colocar el material en el compost:

- En lo posible, enterrar el material lo más al centro dentro del compost, sin encontrarse en el fondo, pero sin estar en la superficie.
- Si el compost requiere ser humedecido es necesario retirar el material, humedecer el compost y luego volver a colocar el material.
- Evitar que los pedazos de material cortado se encuentren muy cerca unos de otros.

### 4.3. Elaboración y monitoreo de la semilla Takakura.

Para lograr la aceleración del proceso de compostaje es necesario implementar el método Takakura el cual se basa en la preparación de una semilla, misma que requiere la elaboración de 2 soluciones, una solución dulce y una solución salada.

- Solución Dulce:
  - 1,5 l de agua
  - 10 g de levadura activa seca
  - 200 g de queso maduro
  - 400 g de yogurt natural
  - 0,5 l de vino





- 200 gramos de azúcar.

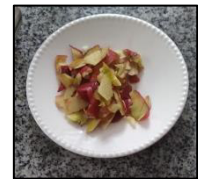
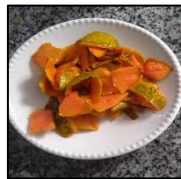
Se procede a mezclar los ingredientes en un recipiente de plástico de 2,5 l y se deja fermentar en la sombra durante 8 días.

Solución dulce después de su tiempo de fermentación:



- Solución Salada: Realizar un picado de verduras y frutas en las siguientes proporciones:

- 200g de cáscara de papaya
- 30 g de cáscara de pepino
- 100g de lechuga
- 100g de col
- 25g de cáscara de manzana
- 25g de cáscara de uva



- Se procede a mezclar los ingredientes en un recipiente de plástico de 2,5 l y se deja fermentar en la sombra durante 8 días.

Solución salada después de su tiempo de fermentación:



Al transcurrir 8 días, inicia la segunda fase que consiste en la creación de la base de la semilla, para lo cual se debe utilizar una tina para mezclar las 2 soluciones (dulce y salada) junto con aserrín.



La tercera fase consiste en la elaboración de la compostera, donde hay que dejar la pila cubierta con periódico durante 7 días dentro de una caja de cartón respirable (con orificios laterales para la respiración de los microorganismos).



Una vez transcurrido el tiempo, la semilla queda cubierta con moho blanco, indicador de que los microorganismos se desarrollaron, en este punto se encuentra lista la semilla para proceder a la alimentación y realizar el compost.



El proceso total de la elaboración de la semilla toma un tiempo de 15 días.

- 8 días fermentación de soluciones (salada y dulce).
- 7 días fermentación de semilla (aparición moho)

A partir de ese tiempo se empieza a alimentar la semilla dentro de la caja de cartón respirable para formar el compost, se puede realizar este proceso en otro recipiente o en el suelo. En este

caso son 30 días pero el tiempo puede variar.

#### 4.4.Revision de parámetros de la semilla

La siguiente tabla indica los valores de monitoreo de la semilla durante los 30 días de *alimentación*.

Es importante tomar en cuenta que al inicio del proceso las temperaturas son elevadas y tienden a disminuir a lo largo del tiempo

Monitoreo de la semilla		
	Máxima	Mínima
<b>Temperatura</b>	51 °C	10 °C
<b>pH</b>	8	5
<b>Humedad</b>	70%	20%

#### 4.5. Monitoreo y alimentación del compost



Para que el compost no se dañe, ya sea por factores externos como el clima o vectores biológicos (insectos, animales, etc.), es necesario estar pendiente al inicio del proceso de elaboración de la semilla y después del compost, es decir, si se ve que la semilla/compost está muy seca, agregar agua, o poner en la sombra, y si está muy húmeda agregar aserrín.

Se toma en cuenta que el monitoreo de los parámetros (temperatura, pH y humedad), se realizan diariamente con los instrumentos respectivos.



Recomendación:

- Monitorear 2 veces al día su humedad, pH y temperatura, una vez por la mañana y una vez por la tarde.
- Utilizar agua lluvia cuando se observe que la humedad del compost es baja (en lo posible evitar usar agua potable, mata a los microorganismos).

#### 4.6. Cálculo de Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

Después de preparar la semilla del compost mediante el método Takakura, se debe realizar el cálculo C/N, para establecer las cantidades de materia orgánica que son necesarias para realizar las pilas de compost.

Para realizar este cálculo es necesario, consultar sobre los valores de C/N de cada tipo de materia orgánica, en esta guía se utiliza la tabla elaborada por Roselló (2001) que se muestra a continuación:

Subproducto	Nitrógeno total (%)	Carbono orgánico (%)	Relación C/N
Poda de naranjo	2,03	55,22	27
Cáscara de arroz	0,91	44,43	49
Siega de césped	3,41	48,38	14
Restos de lechugas	3,14	44,10	14
Serrín de caducifolias	0,36	57,04	158
Mezcla de horticolas	2,74	41,91	15
Orujo de uva	2,82	54,23	19
Caña de maíz	0,96	50,23	52
Gallinaza	3,77	45,61	12
Estiércol	2,4	28,9	12
Purín de cerdo	3,07	41,42	13

Relación C/N de subproductos agrícolas.

Para poder alcanzar una relación C/N recomendada, “se debe tener una relación inicial de 20 a 30 para realizar el proceso de compostaje” (Sztern y Pravia, 2016, p. 21).

Para el cálculo de relación C/N teórica se utiliza la siguiente formula:

$$R \frac{C}{N} = \frac{(\text{Peso A} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ A}) + (\text{Peso B} * \text{relación } \frac{C}{N} \text{ B})}{\text{Peso A} + \text{Peso B}}$$

Relación C/N en base al peso y C/N de cada componente

Donde:

R: Relación

A: Aserrín

B: Césped

***Ejemplo de cálculo:***

Si se cuenta con 1 kg de aserrín y con 8 kg de poda de césped, se consulta la tabla con sus valores de C/N 158 y 14 respectivamente, se obtiene un resultado de relación C/N teórico de 30. Se puede alimentar a la pila con 0.27 kg/d si se quiere realizar la alimentación durante 30 días.

Si se quiere analizar con mayor precisión la relación C/N del compost, se sugiere mandar a un laboratorio para realizar pruebas de C/N orgánico.

Es importante mantener un monitoreo de las pilas de compost una vez ya separadas, en el siguiente ejemplo se observa los siguientes valores de los parámetros establecidos:

<b>Monitoreo del compost</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>Media</b>	<b>Final</b>
<b>Temperatura</b>	36 °C	18 °C	15 °C
<b>pH</b>	5	6-7	8
<b>Humedad</b>	31%	40%	41

## **5. Características de compostabilidad de materiales y/o productos.**

### **5.1. Características de que un material se está degradando**

Para observar el cambio en los materiales se debe hacer el compostaje de los mismos por duplicado, además de tener separada una pila de compost sin ningún material, con el propósito de contar con una muestra del compost no alterada, a esta pila de compost se la denomina “blanco” y sirve para monitorear las características del compost por sí solo.

Una vez colocado el material adaptado en el compost, se realiza un registro visual por semana de los materiales a lo largo del proceso de degradación, para verificar si hay o no algún cambio en el material.

Como, por ejemplo, el siguiente registro visual de un producto con eco-etiquetado:



---

**Plato de hoja de palma**

---

Inicio

---



---

Semana 1



---

Semana 2



---

Semana 3



---

Semana 4



---

Semana 5



---

Semana 6



En el ejemplo se puede evidenciar que, en la primera semana la coloración toma un tono marrón oscuro, muy similar al color del compost, además las características físicas como rigidez cambian en tan solo una semana. Estos fragmentos se tornan maleables o frágiles al tacto, disminuye su grosor a simple vista, además estos pueden ser tan débiles que pueden llegar a romperse con tan solo tocarlos. En la última semana los fragmentos son más pequeños y el compost se adhiere a estos.

Dentro del registro visual hay una serie de características que debemos tomar en cuenta como:

- Cambio de color del material y/o producto (oscurecimiento).
- Cambio en la rigidez del material (se siente más frágil al tacto).
- La cantidad del compost adherido al material.

Con este proceso, se puede analizar que algunos productos o materiales, cambian sus características, dando a entender que bajo las condiciones sometidas indican cierto grado de compostabilidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que cada situación es diferente por lo que se debe adaptar esta metodología a las diversas condiciones y productos que requieran ser puestos a prueba.

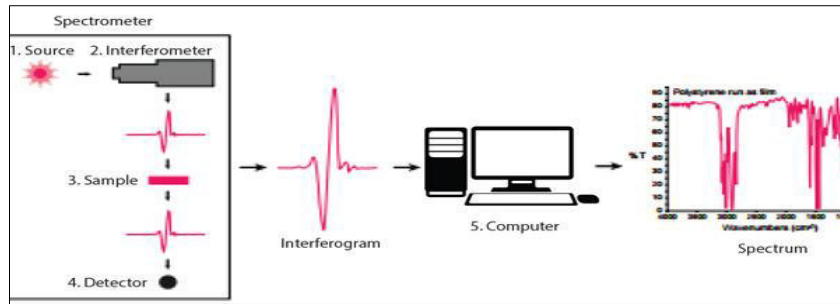
*Recomendación:* Además de estos puntos a notar, es recomendable hacer una comparativa de peso y grosor del material antes y después de compostar.

## **5.2. Técnicas Complementarias como se hacen**

Para analizar a mayor profundidad la compostabilidad de los materiales se recomienda utilizar las siguientes técnicas complementarias antes, durante y después de someter el material o producto al compostaje.

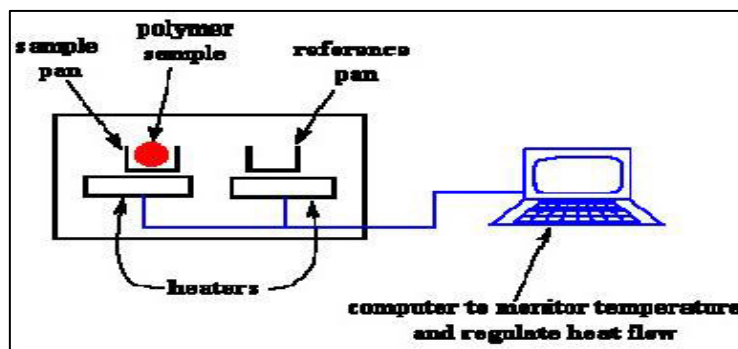
### *Espectroscopía de Infrarrojo de Fourier (FTIR)*

Se pesa y se coloca en la muestra dentro de una celda, luego se procede a ubicar dentro del espectrofotómetro, la luz infrarroja dentro empieza a atravesar la muestra y se registran las longitudes de onda del espectro en un software, además de registrar los valores en excel (en algunos softwares) (Mondragón,2017).



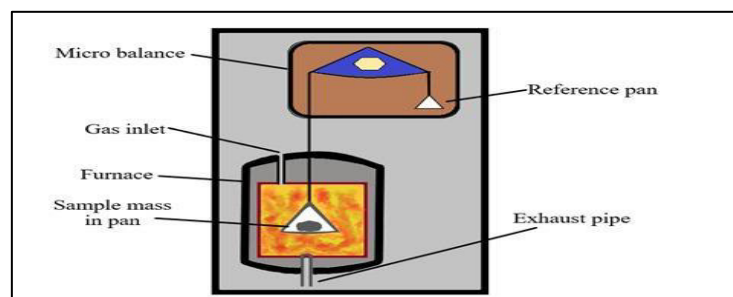
Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Se coloca la muestra dentro del calorímetro, este tiene dos platillos donde se coloca en uno la muestra y en el otro una referencia (blanco). Al elevarse la temperatura de los platillos se registra los cambios de la masa en determinadas temperaturas, esto para llevar un registro de los puntos de fusión, cambio de fase y transiciones vítreas del material (Espejo , 2011).



Análisis Termogravimétrico (TGA)

Se coloca la muestra en una balanza de precisión con una bandeja ubicada dentro del analizador termogravimétrico (horno), la temperatura va variando y se empiezan a analizar las reacciones térmicas del material, así como también las variaciones de presión que le ocurre al material al exponerse al calor, todos estos se registran en un gráfico de masa vs. temperatura (Vega y Montaña , 2020).





## 6. Bibliografía:

- Bertolí, M., Terry, E., & Ramos, D. (2015). . (2015). *Producción y uso del abono orgánico tipo Bocashi, una alternativa para la producción de los cultivos y calidad de los suelos*.
- Chariguamán , J. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Espejo , L. (2011). *Modificación estructural de Poli (Ácido Láctico) mediante extrusión reactiva*. Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41806043.pdf>
- FAO. (2013). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. . Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- FONAG. (2013). *Fondo para la Protección del Agua. El Método Takakura. Herramienta de responsabilidad Ambiental*. Obtenido de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>
- Guttinger , A., & Lima, J. (2021). *Estudio comparativo de compostabilidad de materiales con eco-etiquetado comercializados en el Distrito Metropolitano de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Guttinger, A., & Lima, J. (2021). *Estudio comparativo de compostabilidad de materiales con eco-etiquetado comercializados en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Escuela Politécnica Nacional.
- Mondragón, P. (2017). *Espesctroscopía de Infrarrojo para todos. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*. Obtenido de [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b7c09fdc1.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf)
- Roselló, J. (2001). *Compostaje de subproductos agrícolas*. Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_SH/SH\\_1997\\_5\\_19\\_26.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_SH/SH_1997_5_19_26.pdf)
- Soto, G. (2003). *Abonos orgánicos: El proceso de compostaje*. Centro Agronómico . Obtenido de Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 27 pp: [https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/74/Abonos\\_organicos\\_para\\_la\\_Produccion\\_sostenible\\_de\\_tomate.pdf;jsessionid=7C4A708C4064E2EA7F7DF9429F3CD168?sequence=1](https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/74/Abonos_organicos_para_la_Produccion_sostenible_de_tomate.pdf;jsessionid=7C4A708C4064E2EA7F7DF9429F3CD168?sequence=1)
- Sztern, D., & Pravia, M. (2016). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y Procedimientos*. Oficina de Planeamiento y Presupuesto Unidade de Desarrollo Municipal . Presidencia de la República de Uruguay. Obtenido de <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- Vega, Ó., & Montañó , D. (2020). *Biopolímeros, definiciones, caracterización y aplicaciones*. Revista Digital ResearchGate. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/343268488\\_Biopolimeros\\_definiciones\\_caracterizacion\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/343268488_Biopolimeros_definiciones_caracterizacion_y_aplicaciones)
- Villegas, V., & Laines, J. (2017). *Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos*.