



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS "DR. JACOBO
BUCARAM ORTIZ"**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO
(PET) PARA LA PRODUCCIÓN DE FILAMENTO DE
IMPRESIÓN 3D EN LA ECOALDEA DE LA ISLA
SANTAY**

AUTOR

SERRANO BURBANO ENRIQUE ANTONIO

TUTORA

OCE. ZAMBRANO ZAVALA LEILA ELIZABETH, MSc.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO BUCARAM
ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ZAMBRANO ZAVALA LEILA ELIZABETH, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de anteproyecto: “RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) PARA LA PRODUCCIÓN DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D EN LA ECOALDEA DE LA ISLA SANTAY”, realizado por el estudiante SERRANO BURBANO ENRIQUE ANTONIO; con cédula de identidad N°0931995229 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Sede Matriz “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” - Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Oce. Leila Zambrano Zavala, MSc.

Guayaquil, 23 de septiembre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO BUCARAM
ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) PARA LA PRODUCCIÓN DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D EN LA ECOALDEA DE LA ISLA SANTAY”, realizado por el estudiante SERRANO BURBANO ENRIQUE ANTONIO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. ARCOS JACOME DIEGO, M.Sc.
PRESIDENTE

OCE. ZAMBRANO ZAVALA LEILA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. GUEVARA VINZA JUAN M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 20 de diciembre de 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis a Dios por haberme guiado en mi camino y permitirme desarrollar este trabajo de investigación. A mis padres, abuelos y hermano por ser motor de mi superación diaria. A mi novia Andrea Toral, por acompañarme desde el inicio de mis estudios universitarios y brindarme todo el apoyo en cada momento. También a los jóvenes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, a quienes el fruto de esta investigación les brindará la oportunidad de hacer crecer a su comunidad, a través de una nueva actividad económica y de conservación ambiental.

Agradecimiento

Agradezco a mi tutora y mentora, Oceanógrafa Leila Zambrano, quien desde el primer semestre impulsó mi interés por las ciencias naturales y la investigación.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **ENRIQUE ANTONIO SERRANO BURBANO**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) PARA LA PRODUCCIÓN DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D EN LA ECOALDEA DE LA ISLA SANTAY”** para optar el título de **INGENIERO AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, diciembre 26 de 2024

SERRANO BURBANO ENRIQUE ANTONIO

C.I. 0931995229

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se centra en el reciclaje de plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) para la producción de filamento de impresión 3D en la Ecoaldea San Jacinto de Santay, ubicada en el Área Nacional de Recreación Isla Santay. Donde se aborda la creciente problemática de la contaminación por plásticos en ecosistemas frágiles de la isla. El estudio propone un enfoque basado en la economía circular, a través de la recolección, clasificación y transformación de los envases de tipo PET en filamento para impresoras 3D, utilizando la técnica de extrusión. Se caracterizaron los residuos plásticos por medio de un inventario físico in situ para identificar los tipos de plásticos presentes en la Ecoaldea. Durante dos semanas se muestrearon 11 tachos distribuidos en diferentes puntos, encontrando que el PET es el más abundante, representando el 79,41% del total. Se determinó que el tiempo óptimo de precalentamiento de la máquina extrusora es de 15 minutos para alcanzar una temperatura entre 70°C y 75°C, ideal para la deformación del PET. La velocidad óptima del motor es de 12RPM para seguir una extrusión homogénea y enfriamiento adecuado con ayuda del ventilador. El plan de economía circular propuesto plantea la estructura para su implementación, comenzando desde la educación ambiental, la instalación de nueva infraestructura de recolección, transformación técnica del PET en filamento. Promueve la participación comunitaria mediante la creación de un canal de digital “Santay Circular” que también fomente el marketing del emprendimiento. Se pretende convertir la gestión de residuos en una oportunidad de desarrollo sostenible.

Palabras clave: *Extrusión, impresión 3D, Isla Santay, PET, Reciclaje.*

ABSTRACT

This research project focuses on the recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) plastics for the production of 3D printing filament in Ecoaldea San Jacinto de Santay, located in Área Nacional de Recreación Isla Santay. It addresses the growing problem of plastic pollution in fragile ecosystems in the island. The project proposes an approach based on the circular economy, through the collection, classification and transformation of PET containers into filament, for 3D printers, using the extrusion technique. Plastic waste was characterized through an on-site physical inventory to identify the types of plastics present in the Ecoaldea. During two weeks, 11 garbage cans distributed at different points were sampled, finding that PET is the most abundant, representing 79.41% of the total. It was determined that the optimum preheating time for the extruder machine is fifteen minutes to reach a temperature between 70°C - 75°C, ideal for PET deformation. The optimal motor speed is 12 RPM to follow a homogeneous extrusion and adequate cooling with the help of the fan. The proposed circular economy plan proposes the structure for its implementation, starting with environmental education, installation of new collection infrastructure, technical transformation of PET into filament. It promotes community participation through the creation of a digital channel "Santay Circular" to facilitate the marketing of the enterprise. The aim is to turn waste management into an opportunity for sustainable development.

Keywords: *Extrusion, Isla Santay, PET, Recycling, 3D printing.*

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2 Planteamiento y Formulación del problema.....	13
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	13
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	14
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	18
1.5 Objetivo general	18
1.6 Objetivos específicos	18
1.7 Hipótesis.....	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Estado del arte	19
2.2 Bases teóricas.....	28
2.2.1 <i>Plástico</i>	28
2.2.2 <i>PET</i>	28
2.2.3 <i>Impresión 3D</i>	28
2.2.4 <i>Filamento para impresión 3D</i>	30
2.2.5 <i>Reciclaje de plásticos</i>	31
2.2.6 <i>Tipos de plásticos</i>	32
2.2.7 <i>Residuos plásticos de la Ecoaldea San Jacinto de Santay</i>	32
2.2.8 <i>Extrusión de plástico</i>	33
2.2.9 <i>Economía Circular</i>	34
2.2.9.1. <i>Principios de la Economía Circular</i>	34
2.2.10 <i>Muestreo aleatorio sistemático</i>	35
2.3 Marco legal.....	35
2.3.1 <i>Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial 449 de 20-oct-2008, Última modificación: 01-ago-2018</i>	35
2.3.2 <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible, Organización de las Naciones Unidas, 2015</i>	37

2.3.3 Acuerdo de París, 2015.....	37
2.3.4 Resolución del Parlamento Europeo, de 13 de septiembre de 2018, sobre una estrategia europea para el plástico en una economía circular (2018/2035 (INI)) .	38
2.3.1 Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017	39
2.3.2 Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso, Tercer Suplemento – Registro Oficial N° 354, de 21-dic.-2020.	39
2.3.3 Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, Cuarto Suplemento Registro Oficial N° 488, de 2-jul.-2021	41
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1 Enfoque de la investigación.....	43
3.1.1 Tipo de investigación.....	43
3.1.2 Diseño de investigación.....	43
3.2 Metodología.....	44
3.2.1 Variables	44
3.2.1.1. Variable independiente.....	44
3.2.1.2. Variable dependiente	44
3.2.2 Recolección de datos.....	44
3.2.2.1. Recursos	44
3.2.2.2. Métodos y técnicas.....	47
3.2.3 Análisis estadístico.....	49
4. RESULTADOS.....	51
4.1 Caracterizar los tipos de residuos plásticos provenientes de la Ecoaldea de la Isla Santay, a través de un inventario físico in situ.....	51
4.2 Convertir el plástico reciclado de tipo PET, proveniente de la Ecoaldea de la Isla Santay a filamento de impresión 3D, empleando el proceso de extrusión	57
4.2.1 Preparación del PET	57
4.2.2 Corte.....	57
4.2.3 Extrusión	57
4.2.3.1. Componentes	57
4.2.3.2. Precalentamiento	58
4.3.3.3. Funcionamiento.....	58
4.3.3.4. Control de temperatura	58
4.3.3.5. Recolector de filamento.....	58

4.3 Proponer un plan de economía circular en la Isla Santay basado en el reciclaje de los plásticos tipo PET que sirva como producto de comercialización para la Ecoaldea San Jacinto de Santay.....	59
5. DISCUSIÓN.....	61
6. CONCLUSIONES.....	62
7. RECOMENDACIONES	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	65
9. ANEXOS	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Plan de economía circular sobre plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) para la Ecoaldea de la Isla Santay.....	82
--	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Estudios han revelado que con toda la cantidad de plástico que se produjo en el período de tiempo entre 1950 y 2015 se podría cubrir la totalidad del planeta Tierra en una capa de plástico. Este tipo de productos plásticos afectan directamente a los ecosistemas por su acumulación en ellos, además, en toda su cadena de producción se llevan a cabo actividades que contribuyen al cambio climático, siendo la más perjudicial el uso de combustibles fósiles en grandes cantidades (Espino y Koot, 2020).

Hoy en día los plásticos se encuentran acumulados en todo tipo de ecosistemas, en los terrestres como selvas, bosques, desiertos y matorrales; en los mixtos como costas y humedales; y en los acuáticos como ríos, lagos y mares. Perjudicando a la vida de la flora y fauna, un ejemplo es el caso de los animales marinos, causándoles atrapamiento por botellas plásticas presentes en el océano. Siendo los microplásticos, los más amenazantes, debido a que existe la posibilidad de que ingresen al sistema de tejidos de los peces y hasta de los seres humanos (Caballero, Dueñas, y Rolón, 2019).

Si el consumo de plástico sigue el mismo ritmo, se prevé que para el año 2050 ya se habrán excedido 35000 toneladas de este producto, y tan solo se habrán reciclado 6000 toneladas, el resto se incinerará, otra fracción se dispondrá en rellenos sanitarios y otra será descartada al ambiente. Para alcanzar un sistema efectivo de reciclaje, principalmente se debe incentivar la disminución del consumo de plástico, también se necesita reutilizar productos de consumo masivo como las botellas plásticas de tipo PET e integrarlo en el marco de una economía circular (Valarezo y Ruiz, 2022).

1.2 Planteamiento y Formulación del problema

1.2.1 *Planteamiento del problema*

La presencia de residuos plásticos en los ecosistemas representa una grave afectación para la vida de la flora y fauna, así como también para la belleza paisajística de la zona, perjudicando directamente al turismo que acude a los ecosistemas a observar su encanto natural, sin embargo, mientras más plástico esté presente en el ambiente, se podrá divisar menor cantidad de especies, ya que este tipo de contaminación provoca que se destruya su medio de vida o que migren a otros lugares (Gómez, González, y Simmonds, 2019).

La Isla Santay cuenta con diversos aspectos de importancia biológica y ecosistémica, así como también histórica y cultural. Esta área protegida se encuentra circundada por manglares, zonas propensas a inundaciones y corrientes estuarinas, en el corazón de la isla se haya la presencia de matorrales y bosques secos. Actualmente está siendo amenazada por una serie de factores, entre ellos la contaminación por plásticos (Torres, 2020).

Los residuos plásticos ingresan por medio de tres distintas fuentes, la primera es gracias a la marea que al subir trae una gran cantidad de residuos de las aguas del Río Guayas, entre ellos los más comunes son las botellas plásticas del tipo de Tereftalato de Polietileno (PET), la segunda es por el consumo interno por parte de los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay y la tercera es la mala disposición de los residuos por los turistas que acuden a visitar la isla.

El sistema precursor de la presencia masiva de residuos plásticos a nivel global es la economía lineal, la cual nace en la Revolución Industrial generando un modelo extractivista de materias primas, para producir elementos de consumo, que luego de un tiempo acaba su vida útil y son desechados. En este tipo de economía, la primacía recae en el capital, que se manifiesta a través de la explotación de recursos y la generación de residuos, sobre el impacto ambiental provocado. De manera paralela, nace la economía circular, la cual se encuentra diseñada para ser regenerativa, con la intención de mantener el ciclo de vida de los productos y materiales en su nivel más elevado de utilización, haciendo posible la disminución de la afectación ambiental. Si continuamos con el modelo de economía lineal, se prevé que para 2050 se requerirán 3 veces más materia prima, 70% más de alimentos y las necesidades de agua y energía crecerán en un 40% (Melo, García, y Castillo, 2022).

A través de un plan de economía circular existe la posibilidad de que los residuos plásticos de tipo PET de la Ecoaldea San Jacinto de Santay puedan ser aprovechados en beneficio de los habitantes, clasificándolos y procesándolos para que se transformen en filamento de impresión 3D que puede ser comercializado como un producto ecológico, beneficiando a los aldeanos en el aspecto socioeconómico y ambiental.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cómo se podría disminuir la cantidad de residuos plásticos tipo PET en la Ecoaldea San Jacinto de Santay?

1.3 Justificación de la investigación

La Isla Santay es un humedal marino-costero reconocido a nivel mundial desde el año 2000 por ser un sitio Ramsar Tipo "1", que alberga manglares, bosques inundados e inundables mareales de agua dulce. A pesar de ser un área alterada por la mano del hombre, alberga un sin número de especies de flora y fauna, conservando una inmensa diversidad biológica puesto que se ubica en un ecotono (Ramsar, 2000).

De acuerdo con investigaciones de National Geographic (2018), se ha revelado que a nivel mundial cerca de 5700 millones de toneladas de residuos plásticos no reciben un tratamiento adecuado, y alrededor de 8 millones de toneladas de estos residuos terminan en el océano. La persistencia en aumentar la producción de plástico sin reutilizar lo existente plantea la posibilidad de continuar enfrentando incertidumbres en relación con el calentamiento global. Por lo tanto, es crucial dirigir la atención hacia la búsqueda de soluciones de gran alcance.

La crisis medioambiental originada por los plásticos tiene un impacto cada vez más evidente en la vida humana. Investigaciones indican que parte de estos desechos ya están ingresando a la cadena alimenticia humana. Los vertederos de basura se encuentran casi saturados, y el uso excesivo del plástico ha generado una sobreproducción de objetos y materiales que requieren años en descomponerse naturalmente (Rocha, Pérez, y Villanueva, 2020). Es por ello que para promover la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental se plantea un modelo de economía circular.

La investigación dedicada a los plásticos ha generado una extensa línea de conocimiento. No obstante, los expertos involucrados en estas evaluaciones han identificado áreas cruciales que aún requieren atención inmediata. Estas áreas abarcan desde la medición de volúmenes de diversas fracciones plásticas de fuentes clave y su destino en diferentes hábitats marinos y oceánicos, hasta la evaluación cuantitativa de los daños y costos económicos causados por los residuos plásticos, en términos de impactos en los ecosistemas y salud humana. Se destacan también mejoras necesarias en las tecnologías de reciclaje y los estándares para el reciclaje de plásticos, así como el desarrollo de enfoques circulares y ecodiseño para productos plásticos (United Nations Environment Programme, 2021).

La sociedad mantiene prácticas primitivas, en gran medida debido a la falta de conocimiento sobre los daños que estas pueden causar al medio ambiente y la falta de conciencia sobre las consecuencias. Esto resulta en la destrucción de la biodiversidad de los ecosistemas, ya que los residuos son arrojados de manera inapropiada y sin control, mayormente en áreas al aire libre, ríos e incluso a través de la incineración (Coronel y Ramón, 2022).

La Comisión Europea (2022), a través del informe de “Pacto Verde Europeo: fin del despilfarro de envases, impulso de la reutilización y reciclado”, en primer lugar, pretende prevenir la generación de residuos plásticos para envases al reducir su cantidad, limitar el uso de envases innecesarios y promover el empleo de recipientes reutilizables y recargables. En segundo lugar, busca fomentar el reciclado de alta calidad a manera de un circuito cerrado, con la meta de que todos los envases sean económicamente viables de reciclar antes del 2030. Y, en tercer lugar, propone disminuir la dependencia de recursos naturales primarios, estableciendo un mercado eficaz de materias primas secundarias, incrementando el uso de plásticos reciclados en los envases mediante objetivos de obligatorio cumplimiento.

La economía circular presenta una serie de ventajas tanto para los individuos como para las empresas, y en términos generales, contribuye al bienestar del planeta. En este momento de la historia humana, se puede afirmar con seguridad que la transición hacia una economía circular será la siguiente evolución innegable para aquellas organizaciones que opten por continuar comercializando sus productos y mantener una ventaja competitiva (Massachusetts Institute of Technology, 2022).

El presente proyecto de investigación nace con el propósito de brindar una solución para disminuir la cantidad de residuos plásticos de tipo PET presentes en los ecosistemas del Área Nacional de Recreación Isla Santay, a través de un proceso de recolección, clasificación y transformación a filamento para impresión 3D, por medio de la técnica de extrusión.

En la industria de fabricación de filamentos para impresión 3D, los procesos de extrusión son extensamente empleados. Esta metodología asegura que los productos finales posean una homogeneidad que se mantiene a lo largo de todo el filamento (Murillo et al., 2023).

La implementación de un plan de economía circular en la comunidad de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, les brindará una serie de beneficios, promoviendo una nueva actividad económica de manera que se generen empleos para los habitantes de la isla. También se proporcionará una oportunidad valiosa para educar a los miembros de la Ecoaldea, acerca de la importancia de la gestión pertinente de residuos y la conservación del entorno natural en el que habitan, al mostrar beneficios tangibles del reciclaje de plásticos tipo PET se promueve de manera profunda la conciencia ambiental y se incentiva a la participación activa en prácticas sostenibles.

La conciencia ambiental implica la actitud, acciones y conocimientos sobre cómo la actividad humana afecta el equilibrio ambiental ya sea de manera positiva o negativa (Rubina, Padilla, y Gutiérrez, 2021).

Una potencial herramienta para reducir el impacto ambiental es el reciclaje y la reutilización de estos plásticos como materia prima para la producción de nuevos materiales, dada la limitación de los métodos tradicionales. En consecuencia, se vuelve imprescindible la implementación de enfoques innovadores que posibiliten dar un nuevo propósito a la considerable cantidad de desechos plásticos (Ordoñez et al., 2023).

Implementar este proyecto no solo incluye el beneficio ambiental, sino que también fomenta la innovación tecnológica y la ampliación de las capacidades locales en el marco de la producción de productos sostenibles, atrayendo la inversión externa y el crecimiento económico de la localidad. El filamento de impresión 3D puede ser muy útil para las necesidades internas de los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, así como también sería provechosa la oportunidad de comercializar filamento para impresión 3D a partir de materiales reciclados, teniendo un costo mínimo de producción.

La reducción de la cantidad de plástico tipo PET presente en los ecosistemas de la isla contribuirá directamente a la vida de las especies de flora y fauna locales, así como también a la belleza paisajística, del mismo modo se reflejará el beneficio socioeconómico en los habitantes de la Ecoaldea, acogiendo una nueva actividad comercial.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Área Nacional de Recreación Isla Santay (-2.2166667, -79.85) (*Figura 5*) – Ecoaldea San Jacinto de Santay (-2.2278274, -79.8692429) (*Figura 6*).
- **Tiempo:** 4 meses.
- **Población:** 310 personas en la Ecoaldea San Jacinto de Santay (INEC, 2022).

1.5 Objetivo general

Reutilizar plásticos tipo PET utilizando un proceso de extrusión para la producción de filamento de impresión 3D en la Ecoaldea de la Isla Santay 2024.

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar los tipos de residuos plásticos provenientes de la Ecoaldea de la Isla Santay, a través de un inventario físico in situ.
- Convertir el plástico reciclado de tipo PET, proveniente de la Ecoaldea de la Isla Santay a filamento de impresión 3D, empleando el proceso de extrusión.
- Proponer un plan de economía circular en la Isla Santay basado en el reciclaje de los plásticos tipo PET que sirva como producto de comercialización para la Ecoaldea San Jacinto de Santay.

1.7 Hipótesis

El 70% de residuos plásticos de la Ecoaldea San Jacinto de Santay pueden transformarse a filamento de impresión 3D a través de un proceso de extrusión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Un estudio científico realizado por Palacios (2017), sobre “Diseño y puesto en marcha de nuevos filamentos cargados para su uso en impresión 3D”, define al filamento de impresión 3D como un material que actualmente se encuentra en alta demanda por sus diversos usos y su facilidad para ser manejado en el modelado de piezas. Las impresoras 3D se alimentan de este material para imprimir sus productos, comúnmente se usan filamentos de tipo ABS o PLA, sin embargo, el avance de esta industria ha hecho posible que se vayan integrando nuevos tipos de filamentos de distintas características y propiedades.

Los tipos de filamentos de impresión 3D son varios:

- ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
- PLA (Ácido Poliláctico)
- PVA (Acetato de Polivinilo)
- HPS (Poliestireno de Alto Impacto)
- PET (Polietilén Tereftalato)
- Nylon
- Filaflex

El trabajo investigativo llevado a cabo por Coral e Izquierdo (2021), acerca de “Extrusora de filamentos para impresión 3D con reciclado de botellas PET-G para prácticas de prototipado en laboratorios AUNAR”, afirma que los plásticos son sumamente imprescindibles en varios sectores de la industria, día a día las personas alrededor del mundo utilizamos varios objetos con plástico y es casi imposible llegar a prescindir de ellos. Una máquina extrusora representa una gran respuesta a las exigencias del mercado, a la vez que se cuida al ambiente, puesto que darles una nueva vida útil a los materiales plásticos es necesario para el desarrollo sostenible.

Uno de los problemas que existen en la actualidad para las personas que incursionan en el mundo de la impresión 3D es lo costoso que puede llegar a ser el filamento, en Colombia el kilo se comercializa en aproximadamente 22 dólares americanos, por lo que la construcción de una extrusora que produzca filamentos por medio del reciclado del PET puede llegar a beneficiar a aquellos estudiantes,

emprendedores o personas de bajos recursos, para que sigan trabajando en la tecnología de impresión en 3D.

Antes de desarrollar un prototipo de extrusora de filamentos es necesario analizar las condiciones termoplásticas del material, de manera que se identifiquen las variables de su comportamiento en las impresoras 3D, una vez que se haya efectuado este análisis se debe diseñar el sistema que permitirá extruir el filamento y que este se pueda ajustar a los requerimientos térmicos y dimensionales del material. Una vez construido el prototipo se tiene que implementar un sistema de monitoreo constante que provea de datos y determine la temperatura y tiempo óptimo en el proceso de extrusión. De esta manera se garantizará un funcionamiento adecuado, lo que resultará en un producto de calidad.

El estudio desarrollado por Obregón, Bermúdez, y Palencia (2023), sobre “Elaboración de filamento a base de botellas recicladas PET para el insumo de impresoras 3D”, menciona que la sociedad actual se encuentra inmersa en un ciclo de consumo lineal, sin comprender totalmente los daños que le causamos al ambiente, esto no deja en una postura de tomar acción ante las soluciones que se pueden implementar desde los propios hogares, escuelas, universidades y empresas.

Uno de los residuos que mayormente se generan son las botellas plásticas PET, las cuales tienen una degradación tardía cuando se encuentran dispuestas en los ecosistemas, ciertas técnicas de eliminación de botellas plásticas se basan en la incineración, sin embargo, esto genera más afecciones para el ambiente y para las personas, ya que se emiten gases que perjudican la salud y provocan la contaminación del aire, contribuyendo al calentamiento global. Por lo que se requieren soluciones que aporten a darles una nueva vida a este tipo de residuos, sembrando la conciencia del reciclaje y fomentando al desarrollo de la economía circular.

En la investigación realizada por García (2014), acerca de “Estudio de residuos sólidos no peligrosos y su impacto socio-ambiental en habitantes de la Isla Santay, Cantón Durán, período 2013”, se menciona que los impactos ambientales en la Isla Santay por la presencia de residuos dispuestos en el ecosistema son de 3 tipos.

Afectación a la belleza paisajística.- Los residuos sólidos no peligrosos como los plásticos, se observan en gran cantidad, generando una mala imagen para los turistas que acuden a la isla, afectando la belleza escénica y paisajística del área.

Afectación al suelo.- En varios lugares de la isla se presentan agresiones físicas al suelo por presencia de residuos sólidos, como botellas plásticas, tarrinas, fundas, entre otros, estos ingresan a la isla al momento que sube la marea y son arrastrados por el río, como también por la mala gestión de los residuos por parte de los habitantes de la isla. Causando impacto estético, malos olores y daños a la flora y fauna local.

Afectación hidrológica.- La presencia de residuos plásticos en el agua provoca cambios en el balance del agua, debido a que la cantidad de plásticos es alta, este factor se convierte en un potencial impacto ambiental para las aguas del río Guayas como también para los riachuelos que cruzan la isla.

En el trabajo investigativo de Miño y Molina (2019), sobre “Estudio de mercado para determinar la producción y comercialización de filamentos para impresión 3D a base de Polietileno Tereftalato (PET) en la ciudad de Guayaquil”, se menciona que actualmente existen inconvenientes en Ecuador con los procesos de importación de filamento de impresión 3D, lo que también resulta en el aumento de los precios del material. Las empresas que se dedican a la impresión 3D están en constante búsqueda de filamentos de calidad a precios razonables, que les permitan comercializar sus productos finales en costos accesibles.

Como resultado del estudio de Design Thinking que desarrollaron los autores se pudo evidenciar un alto interés por parte de las empresas de impresión 3D, en los filamentos producidos con PET reciclado, esto fue gracias a sus buenas características de calidad y sobre todo al precio. El costo promedio del filamento común en el mercado ecuatoriano se encuentra en \$40,31 el kilogramo. Tomando en cuenta los gastos de fabricación del filamento a base de PET reciclado y el valor actual de este material se afirma que es un producto altamente competitivo que podría tener gran acogida en la industria.

En base a los cálculos del estudio se concluyó que el precio final de venta al público del kilogramo de filamento producido a partir de PET reciclado, con un margen de ganancia del 75% fue de \$20,49. Fijando un punto de equilibrio en la manufactura del filamento para que el negocio sea rentable, en 1626 unidades al año, estimando una demanda anual de 2880 unidades.

En el estudio científico realizado por Lazo (2021), sobre “Mejoramiento de la procesabilidad del PET reciclado: Evaluación de mezclas poliméricas para mitigar degradación y mejorar estabilidad en la extrusión de filamento de impresión 3D con PET posconsumo” se realizaron una serie de ensayos iterativos, basados en la metodología de prueba y error con la finalidad de obtener filamento de impresión 3D de un diámetro de 1,75mm. Su primera fase de análisis fue de carácter cualitativo acerca de las propiedades superficiales del material, así como también la estabilidad del diámetro, posteriormente se realizaron pruebas de tensión que determinaron el rendimiento mecánico.

En el análisis del diámetro del filamento producido con PET reciclado se evidenció que a mayor incremento de la viscosidad del plástico extruido se desarrolla de mejor manera la presión dentro del extrusor, lo que facilita el proceso de salida del material fluidamente. El índice de la extrusión denota la relevancia de la estabilidad del proceso de extrusión, haciendo hincapié en las variaciones de diámetro que finalmente pueden provocar que se desperdicie material y en las peores instancias, que llegue a dañar la impresora 3D.

También se debe tener en consideración que muchas botellas plásticas están compuestas por mezclas de PET sumamente variadas, siendo mayormente combinaciones de material virgen y reciclado, lo que tiene una consecuencia directa al momento de trabajar con este material para la producción de filamento.

En el artículo científico realizado por Vargas (2023), acerca de “Diseño de sistema embebido para máquina de reciclaje de PET”, se describe detalladamente las etapas del proceso de transformación de las botellas plásticas tipo PET a filamento de impresión 3D. Inicialmente se debe asegurar que la botella se encuentre limpia y libre de humedad, una vez que se verifique su estado, se procede a cortar los extremos superior e inferior de la botella, luego con ayuda de una cuchilla dispuesta de manera horizontal se va cortando la botella en una sola franja de plástico. Una vez obtenida la tira de PET se procede a enrollarla en un carrete que se ubica frente al extrusor.

La franja del material plástico será introducida en el extrusor que la calentará a una temperatura que lo derretirá, esta temperatura se encuentra entre 200 y 280 °C. Esta etapa se compone de una resistencia de 12V/40W, un termistor NTC 100 K b3950 y un módulo MOSFET IRFZ44N.

El control de la temperatura se lleva a cabo por medio de una placa de desarrollo que va conectada con el termistor y con la resistencia, por medio del módulo MOSFET. La persona que manipule el equipo deberá configurar la temperatura del equipo de manera que se moldee la franja de plástico que va recibiendo el extrusor. Es importante mencionar que este método de extrusión es el mismo que se lleva a cabo en el proceso de impresión 3D.

Una vez extruido el plástico y convertido a filamento será recolectado en un rollo que irá girando enrollando el material, impulsado por un motor paso a paso tipo NEMA 17. La velocidad del giro del motor debe ser controlada por medio de un timer del microcontrolador, el mismo que interrumpirá el proceso si se llega a desbordar.

Durante el proceso de extrusión del plástico las 2 tareas primordiales son mantener estable la temperatura del extrusor y configurar el motor para que el giro sea continuo y a una velocidad constante.

En el estudio investigativo realizado por Arteaga (2015), sobre “Fabricación y caracterización de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados”, se menciona acerca de otra manera de fabricar filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados, utilizando una máquina extrusora que trabaja con pellets o plásticos triturados. El proceso se inicia preparando la extrusora a 180 °C con una boquilla de 3 mm de medida, una vez que se alcanza la temperatura mencionada se debe rellenar la tolva con la cantidad de pellets necesaria, el proceso comienza con poca cantidad de material reciclado, ya que se debe ir observando su desempeño a medida que se le va agregando más materia prima.

La temperatura se deberá aumentar a 200 °C para conseguir que el material se funda, observando que su consistencia sea óptima y esté libre de burbújas, en caso de que no sea así, se deberá ir graduando la temperatura hasta que se alcance las características requeridas. Una vez extruido el plástico este se irá enrollando en un carrete, al terminar el proceso, el carrete debe ser dispuesto en un sitio libre de humedad.

En la investigación de Navarro y Torres (2022), sobre “Desarrollo de un prototipo de máquina recicladora de polímeros para la elaboración de filamento para impresión 3D”, se proponen una serie de recomendaciones al momento de trabajar con filamento de impresión 3D fabricado en base a PET reciclado.

La máquina extrusora requiere de una etapa previa de precalentamiento de aproximadamente 45 minutos hasta que alcance una temperatura entre 230 °C y 240 °C, para iniciar al proceso. Puesto que la energía calórica se transmite por la resistencia y en el tiempo mencionado se alcanza a establecer una temperatura constante que permitirá al equipo extruir la materia prima de manera óptima.

Para extruir una cantidad de 250g de plástico PET se necesitaron 120 minutos, fundiendo y bobinando el carrete a una velocidad y temperatura constante. Es muy importante tener en cuenta que la boquilla calentadora debe ser alimentada de manera continua sin ningún tipo de interrupción que pueda afectar a la calidad del material, alterando su diámetro.

Una fase de enfriamiento del material, posterior al proceso de bobinado del carrete no es necesaria, ya que el filamento se tiene que enfriar paulatinamente a medida que va saliendo de la extrusora, en caso de que no alcance el nivel de transición vítrea, el cual se define a una temperatura entre 60 °C y 80 °C, el producto final se puede tornar quebradizo.

En el trabajo de investigación de Druetta y Fazi (2018), sobre “Extrusora de monofilamento para impresión 3D” se afirma que el sistema que controla la temperatura de la extrusora trabaja de mejor manera cuando se encuentra libre de material previo a la fundición del plástico, por lo que se necesita limpiarlo previamente. En caso de que haya material sólido dentro del equipo, se alargará el tiempo de calentamiento.

El proceso de extrusión es más óptimo a revoluciones menores a 15RPM, que a altas. Se debe graduar correctamente el motor paso a paso antes de que se inicie el procedimiento.

Para conseguir un filamento de 1,75 mm de diámetro, el orificio exterior de la extrusora tiene que ser de menor medida a la que se desea alcanzar, esto se debe a que el plástico se expande hasta que el filamento se solidifica por completo.

En el artículo científico de Rodríguez, Mosquera y Vega (2022), sobre “Análisis de la aplicación del modelo de economía circular en las empresas del Ecuador”, se define a la Economía Circular como un modelo de negocio que se encuentra enfocado en reutilizar, reciclar y reducir el uso de recursos no necesarios en la producción, los cuales han generado consecuencias significativas de manera global, fomentando la generación de residuos que han provocado todo tipo de contaminación ambiental, este modelo circular garantiza los cuidados económicos,

al mismo tiempo que protege al ambiente y reduce las consecuencias de la contaminación, dirigiendo a las empresas hacia un desarrollo sostenible.

La aplicación de modelos de economía circular va tomando campo paso a paso, tanto en las empresas nacionales como también a nivel mundial, lo que ha fomentado el crecimiento en la seguridad dentro de la cadena de suministros gracias a la reducción de la cantidad de insumos y desperdicio de materiales, lo que ha traído numerosas oportunidades de una producción eficiente en todo ámbito, aprovechando los residuos y disminuyendo costes.

Gracias a la innovación que traen consigo los modelos de economía circular, las empresas ha empezado a incursionar en temas ambientales, sociales y sobre todo económicos, ya que la economía lineal a la que hemos estado acostumbrados, basada en usar y luego tirar solo provoca el desperdicio de materiales y contaminación ambiental, lo que ha fomentado el uso de materia prima para un corto plazo, las nuevas ideas económicas y de reutilización de materiales, llevará a las empresas por el camino de la conservación ambiental y ahorro de materiales, creando un nuevo ciclo de vida de los desechos que iban a parar al basurero.

En la investigación de González y Medina (2023), sobre “Análisis de los modelos de economía circular para el aprovechamiento de residuos plásticos PET en Bogotá”, afirma que en la ciudad de Bogotá el 56% de residuos corresponde solo a plástico, en Colombia apenas se recicla un tercio de la todas las botellas que se consumen. En la investigación se dio a conocer que existen residuos provenientes de la industria del plástico que aún no están caracterizados, los que pueden formar parte de este modelo de economía circular, motivando a continuar con la investigación sobre la caracterización de demás materiales, que se encuentren presentes en la industria del plástico.

En el estudio también se evidenció que hace falta el crecimiento de la cultura del reciclaje en la sociedad, esta comienza desde los propios generadores de residuos. Para obtener la cantidad exacta de residuos que puedan abastecer la producción de distintas industrias, se necesita aumentar el reciclaje del plástico, labor que ahora se encuentra en manos de los más de 24.000 recicladores tratan de realizar día a día en la ciudad de Bogotá.

Para poder ampliar los diferentes procesos de economía circular, los autores de la investigación propusieron el diseño de un parque de tipo ecológico industrial, donde puedan intervenir diferentes sectores que incluyan la reutilización del PET

en la manufactura de productos, para esto, los autores hacen un llamado a la sociedad para poner en práctica el uso de las 7R, las cuales constan de: rediseñar, reducir, reutilizar, reparar, renovar, reciclar y recuperar, pudiendo de esta manera captar el enfoque de las industrias en materia de economía circular, de forma que en cada etapa del ciclo de vida de un producto, este se pueda volver a aprovechar desde principio a fin.

En la investigación realizada por Manzanos y García (2018), sobre “Aprovechamiento de los residuos plásticos generados en el Municipio de Arauca desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible”, se determinó el potencial existente de aprovechamiento de los residuos plásticos como PET, PP, PEAD, PEBD, en el municipio de Arauca mediante de procesos de transformación y valorización, llevando a cabo un análisis desde tres ámbitos diferentes; económico, ambiental y social, apegándose al marco del desarrollo sostenible.

En cuanto a lo económico, se resalta el impacto positivo en cuanto a la generación de nuevos puestos de trabajo, según los análisis realizados dentro del Municipio de Arauca, la cifra se definió en veinte nuevos empleos, entre recicladores, operarios y personal administrativo. En lo que respecta a la estructura operativa y administrativa, mencionan que podrían formalizarse dieciséis recicladores que al día de hoy no logran percibir ingresos superiores a quinientos mil pesos mensuales o ciento veinte dólares americanos.

En materia ambiental según los análisis realizados en el estudio, los impactos positivos representarían la disminución de cerca de 60 toneladas mensuales de residuos plásticos al vertedero del Municipio de Arauca, aportando a la mitigación de impactos ambientales generados por residuos plásticos.

En el ámbito social, hacen énfasis en fortalecer la educación ambiental dentro del Municipio de Arauca, lo que afirman que permitirá cambiar de rumbo a la tendencia actual de la eliminación y disposición de residuos sólidos. Por lo que es clave crear alianzas entre la academia y la sociedad, a través de estudios y del diseño de planes de educación enfocados en las escuelas, colegios y universidades de la región.

Según el artículo científico redactado por Santurde y Castro (2021), sobre “La aportación de la Economía Circular a los ODS frente a las limitaciones del sistema lineal”, afirma que la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la ONU, son un llamado a tomar acción de manera global, con la

finalidad de que los modelos de producción y consumo actuales evolucionen hacia uno que sea sostenible. El cumplimiento de los objetivos es responsabilidad de todos los países presentes en las Naciones Unidas, sin embargo, están lejos de cumplirse, por lo que se necesita que los países actúen de manera urgente para conseguir el cumplimiento de un modelo de sostenibilidad que se mantenga a largo plazo.

El modelo lineal presenta fallas en varios aspectos, en el campo ambiental, el capital ecológico de los países está siendo sobreexplotado; económicamente el planteamiento lineal y la columna de producción y consumo demandante es defectuosa en varias de sus etapas, lo que ocasiona pérdidas monetarias; y desde el aspecto social, los factores externos del modelo lineal han estado afectando directamente a las comunidades, creando mayores desigualdades y aumentando el número de refugiados por crisis climática.

La Economía Circular plantea un modelo que repiensa y replantea el modelo lineal, dirigiéndose hacia uno circular, presentando un sistema de producción y consumo en equilibrio con el ambiente. Representa la evolución y la adopción de términos clave para un sistema viable que pueda superar los desafíos del modelo lineal. Esta se encuentra alineada con los requerimientos de los ODS, los beneficios son múltiples tanto de manera directa, específicamente en ellos que tratan sobre materia socioeconómica, ambiental, producción, industria y consumo, en otros ODS la aportación es indirecta como en el caso de la educación, igualdad de género, salud, justicia y paz; sin embargo, no deja de ser un modelo que contribuye de manera firme y eficaz al cumplimiento de la Agenda 2030 y los ODS.

En la investigación realizada por Valarezo y Ruiz (2022), sobre “El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular”, mencionan que la integración de las fuentes de energía, el reciclaje y la disminución de la huella de carbono representan las bases para alcanzar una Economía Circular. El aumento de la población mundial y del consumismo son aspectos clave que han hecho del plástico un material que se encuentra presente en lugares donde no debería estarlo, siendo este un elemento que cuenta con grandes ventajas por su composición fisicoquímica.

Es posible alcanzar un ciclo cerrado en el reciclaje de plásticos, sin embargo, existen ciertas limitaciones en cuanto a los diferentes tipos de polímeros y demás materiales como tintas, adhesivos, pigmentos, provocando que el proceso de

reciclaje sea más complejo. La vía para alcanzar el ciclo cerrado en el reciclaje de plásticos es el perfeccionamiento de la clasificación de los plásticos, y el avance en los procesos de triturado del material o reducción de tamaño, junto con el mecanismo de lavado.

Los procesos de reciclaje de material plástico deben de ser sólidos e incluir la participación de todos los aspectos involucrados para cumplir con una metodología sustentable de reciclaje, por lo que se debe trabajar en nuevas tecnologías que logren el máximo desempeño de una Economía Circular.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Plástico

Los plásticos son polímeros sintéticos formados a partir de materia prima como petróleo, celulosa, gas natural, carbón, entre otras. Este material posee características como: buena resistencia, flexibilidad, peso ligero, aislación térmica y eléctrica, bajo costo. Debido a las distintas materias primas utilizadas en su elaboración y a las combinaciones, como también a los procesos de polimerización, actualmente existen una amplia variedad de polímeros plásticos (Reynoso, 2018).

2.2.2 PET

El Polietileno Tereftalato (PET) es un plástico utilizado para envasar bebidas, su gran aceptación se debe a que las botellas de este material son reciclables y no dañan la salud humana. Es un polímero hecho a base de petróleo crudo, aire y gas. A partir del petróleo se extrae el paraxileno el cual al entrar en contacto con el aire se oxida, convirtiéndose en ácido tereftálico. El etileno se obtiene de los derivados líquidos del gas natural, el cual al ser oxidado con aire se transforma a etilenglicol. Un kilogramo de PET está conformado en 64% por petróleo, 23% por derivados del gas natural y un 13% de aire (Cobos et al., 2011).

2.2.3 Impresión 3D

Según Valdivia (2020), de manera técnica, se denomina impresión 3D al procedimiento de acumular material de manera secuencial, sobre una base sólida, a través de diferentes métodos como inyección, extrusión, laminado y depósito metálico. Sin importar la técnica que se utilice el objetivo es el mismo, construir objetos de 3 dimensiones en base a un diseño digital, modelado por medio de software. La impresión se lleva a cabo con una impresora 3D, la cual consiste en una máquina construida para producir objetos físicos volumétricos, representando un ahorro de tiempo y material, a comparación de otras técnicas de producción de

piezas volumétricas. Esta tecnología se ha venido utilizando principalmente en las áreas de arquitectura y diseño industrial, pero gracias a su progreso y gran acogida en la actualidad también se usa en sectores como la medicina, manufactura de textiles, calzado, incluso hasta en la producción de alimentos.

Esta avanzada tecnología presente grandes ventajas en la producción de materiales, tales como:

- **Versatilidad:** Una impresora 3D puede crear cualquier objeto que una persona se pueda imaginar y modelar en software.
- **Ahorro de tiempo:** Para usar una impresora 3D no se requiere un alto nivel de conocimiento, solo basta con saber diseñar en los softwares aplicados y calibrar la máquina según las necesidades.
- **Ahorro de costos:** A comparación con los equipos industriales tradicionales para modelar o crear piezas, una impresora 3D resulta sumamente económica.
- **Bases de datos de modelos:** Actualmente en internet existen varias páginas web como Thingiverse, con una infinidad de modelos de piezas 3D, en formato STL.
- **Reducción de materiales:** Una impresora 3D utiliza únicamente el material necesario para producir el objeto, sin dejar residuos.

Así como esta tecnología presenta grandes ventajas, también tiene sus desventajas que vale la pena mencionar a continuación:

- **Producción reducida:** Si se trata de grandes volúmenes de piezas, la fabricación puede ser lenta y no rentable económicamente.
- **Calidad de acabados:** Los productos finales de la impresión 3D suelen presentar una superficie escalonada, sin embargo, con el avance de la tecnología y la creación de nuevos tipos de filamentos, se están generando superficies más lisas.
- **Plagio:** Es sumamente complejo controlar el copyright de los modelos digitales, por lo que se pueden obtener de manera ilícita en internet.
- **Usos negativos:** Lamentablemente existen personas que están utilizando esta tecnología para crear armas y demás objetos que pueden perjudicar a la sociedad.

2.2.4 Filamento para impresión 3D

Según Bañegil y Sainz (2022), el filamento para impresión 3D es la materia prima de esta tecnología, generalmente los filamentos que se usan son diferentes clases de plástico con sus propiedades físicas, químicas y estéticas. El uso de cierto tipo de filamento dependerá de las necesidades del productor, a continuación, se detallan los distintos tipos de filamentos que se encuentran disponibles en el mercado:

- **PLA (ácido poliláctico):** Es uno de los plásticos mayormente estudiados y usados por su sencillez al momento de usarlos para para imprimir en 3D. Este polímero se sintetiza de manera directa de ácidos orgánicos naturales o moléculas de ácido láctico monomérico, por lo que tiene la clasificación de material biodegradable. Tiene un módulo de flexión de 2685 Mpa, presentando alta rigidez, son poco resistentes a altas temperaturas y a químicos (Díaz y Crespo, 2022).
- **ABS (acrilonitrilo butadieno estireno):** Es un material plástico cuyo procedimiento para elaborarlo resulta complejo a comparación con los polímeros de tipo polietileno y polipropileno. Se deriva de 3 monómeros para generarlo: acronitrilo, butadieno y estireno. Actualmente se considera de buena rentabilidad, de toxicidad nula y fácil unión. Tiene una buena resistencia química y mecánica, una densidad de 1,02 g/cm³, resistencia a la flexión de 509 kg/cm² y su temperatura de formación se encuentra entre 90 y 105 °C. Este material puede ser trabajado por medio de extrusión, inyección, solapado y prensado (Cárdenas et al., 2023).
- **PETG (tereftalato de polietileno glicolizado):** Se usa para impresiones que necesitan ser más rápidas, sin embargo, no soporta temperaturas muy altas. Resiste la humedad y productos químicos, tiene alto nivel de transparencia y puede ser utilizado para objetos que vayan a tener contacto con alimentos.
- **Nylon (poliamida):** Las poliamidas son una categoría de polímeros ampliamente utilizada y de considerable interés técnico debido a sus destacadas características. Es un material bastante resistente, tiene una gran durabilidad, flexible. Resiste al calor, a los impactos y a la corrosión. Posee características higroscópicas. Se utiliza comúnmente para imprimir

herramientas. No es apto para ser usado en objetos que entren en contacto con alimentos o fines médicos (Pérez et al., 2014).

- **HIPS (poliestireno de alto impacto):** Es de soporte soluble. Para trabajar con este plástico se debe tener una impresora con doble extrusor, puesto que a menudo se usa en combinación con ABS. Permite imprimir figuras geométricas complejas con mayor facilidad.
- **PVA (alcohol polivinílico):** Es un polímero sintético con buena resistencia física y química, es biodegradable y biocompatible. Se obtiene mediante la polimerización del acetato de vinilo, luego de una de hidrólisis parcial del éster en uso de un catalizador alcalino. El PVA se define como un material atáctico, con cristalinidad, esto se debe a que los grupos hidroxilo son sumamente pequeños para ajustarse en la red de manera que no la interrumpen. EL precio de este plástico es bajo, se encuentra fácilmente en el mercado y no es tóxico. Usualmente se lo utiliza en fundas de comida, cosméticos, farmacia, productos electrónicos y textiles (Arango et., 2022).
- **TPU (poliuretano termoplástico):** Es un material sumamente flexible y maleable, por lo que es ideal para imprimir productos que se deformen de manera constante en su uso, resiste a impactos severos, y tiene una alta amortiguación de vibraciones. El TPU no se ve afectado ante el contacto con gasolina, aceites y solventes. Su densidad es de 1,21 g/cm³, un nivel de resistencia a la flexión de 5,3 MPa y su temperatura de formación es de 200 a 250 °C (Cárdenas et al., 2023).
- **Compuestos (fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio):** Su compatibilidad con las impresoras 3D de tipo FDM es limitada, sin embargo, tienen excelentes características de rigidez y resistencia.

2.2.5 Reciclaje de plásticos

El reciclaje de plásticos es una actividad clave para el desarrollo sostenible, pues tiene como objetivo extender el ciclo de vida de este material, haciendo posible la reducción de la materia prima y del uso de energía, beneficiando al planeta en varios ámbitos como el ahorro de recursos naturales, la reducción de la huella de carbono y la eliminación de estos residuos presentes en los diferentes ecosistemas (Mendoza et al., 2020).

2.2.6 Tipos de plásticos

Según Arcos y Marín (2021) los plásticos se clasifican según sus características, de manera general se dividen en: termoplásticos, termoestables y elastómeros, a su vez estos se subdividen en otros.

Los termoplásticos tienen propiedades físicas que les brindan flexibilidad, maleabilidad y facilidad al reciclar. Generalmente son los que más se usan para la manufactura de recipientes para alimentos como botellas plásticas o envoltorios.

Los termoplásticos se pueden clasificar en:

- Polietileno de baja densidad (PEBD)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Polipropileno (PP)
- Polietileno tereftalato (PET)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Poliestireno (PS)
- Poliestireno expandido (EPS)
- Policarbonato (PC)

Los termoestables, son aquellos que se encuentran estructurados por cadenas químicas entrelazadas, estos no son reciclables ya que para poder fundirlos se debe modificar su estructura a nivel molecular.

Estos se dividen en:

- Resinas fenólicas
- Resinas ureicas
- Aminoplastos

Los elastómeros tienen una alta capacidad de elasticidad, pueden regresar a su estado original después de ser estirados. Este tipo de plásticos no son reciclables, ya que su transformación es muy compleja. Estos son:

- Copolímero de estireno y butadieno (TPE-S)
- Poliolefina termoplástica (TPO)
- Copoliésteres (COPE)
- Copoliamidas (PEBA)

2.2.7 Residuos plásticos de la Ecoaldea San Jacinto de Santay

A través de una encuesta realizada a los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay se logró estimar que semanalmente se desechan

aproximadamente 504 botellas plásticas de tipo PET entre las 56 viviendas de la comunidad. Se estimó que el 70% de los residuos plásticos que se desechan semanalmente son de tipo PET, mientras que el 30% restante corresponde a otros tipos de plásticos como: PEBD, PEAD, PP, PVC y PS (Serrano et al., 2021).

2.2.8 Extrusión de plástico

La extrusión de plásticos es un procedimiento industrial, en el que el plástico se funde, gracias a las elevadas temperaturas y la fricción que se le aplica al momento de pasar por una boquilla con la medida del diámetro que se desea obtener, lo que le brinda una forma específica, posteriormente es enfriado paulatinamente con la finalidad de que no se produzcan deformaciones en el material. A través de este proceso se fabrican materiales como: filamentos, tubos, mangueras, láminas, ente otros. Las características termo físicas de la materia prima desempeñan un papel crucial. Estas propiedades inciden en el rendimiento energético y productivo, especialmente durante la fase de enfriamiento posterior a la extrusión (Jiménez et al., 2017).

Según Gómez y Gutiérrez (2007), existen diferentes técnicas para la extrusión de plásticos, estas se clasifican en:

a) Extrusoras con un husillo

- Extrusoras convencionales
- Extrusoras con ventilación
- Extrusoras co-mezcladores

b) Extrusoras sin husillo

- Bombas
- Extrusoras de discos

c) Extrusoras con husillo múltiple

- Extrusoras con doble husillo
- Husillos que no engranan
- Husillos que engranan
- Rotación en el mismo sentido
- Rotación inversa
- Extrusoras con más de dos husillos
- Rodillos planetarios

2.2.9 Economía Circular

La Economía Circular es un término que representa un modelo de producción circular donde los materiales son reintegrados al ciclo productivo luego de haber culminado su vida útil, alargando la vida de los materiales. Este modelo consiste en la extracción, producción, consumo y reciclado a diferencia de la tradicional Economía Lineal donde el proceso se resume en extracción, producción, consumo y desecho. En el marco de la Economía Circular la reutilización de los residuos es la parte medular, manteniendo su valor durante el mayor tiempo posible, de esta manera se reduce significativamente el volumen de los residuos presentes en botaderos y ecosistemas (Garabiza et al., 2021).

2.2.9.1. Principios de la Economía Circular

Según Cerdá y Khalilova (2016), los principios en que se sostiene una economía circular son los siguientes:

Principio 1. Preservar y aumentar el capital natural, controlando los los materiales finitos y equilibrando el uso de los recursos renovables.

Principio 2. Optimizar el aprovechamiento de los recursos, usando siempre materiales, componentes y objetos en su mayor nivel de uso.

Principio 3. Promover la eficiencia metodológica, produciendo patentes y procurando eliminar las externalidades que no son beneficiosas.

En base a estos 3 principios se pueden mencionar también las características clave para una economía circular:

a) Reducción de insumos y disminución del uso de recursos naturales.

- Proporcionar mayor valor con menor cantidad de materiales.
- Minimizar la dependencia de países externos para el suministro de recursos naturales.
- Disminución del consumo de agua y energía.

b) Uso compartido de energía, recursos renovables y reciclables.

- Reemplazar los recursos no renovables por renovables.
- Aumentar el nivel de materiales reciclables.
- Explotación y extracción sostenibles.

c) Minimización de emisiones.

- Reducir las emisiones en la cadena de producción de materiales.
- Ciclos materiales limpios.

d) Disminución de pérdidas de materiales.

- Minimizar los residuos.
- Reducir y limitar el volumen de residuos incinerados y vertidos.
- Eliminar las pérdidas de recursos con valor.

e) Conservar el valor de los productos y materiales

- Alargar el ciclo de vida de los productos.
- Reciclaje de componentes.
- Mantener el valor de los materiales, implementando técnicas óptimas de reciclaje.

2.2.10 Muestreo aleatorio sistemático

Según Otzen y Manterola (2017) este tipo de muestreo se utiliza cuando la disposición de los individuos en un conjunto de estudio se basa en un criterio que coloca a sujetos similares en proximidad, este método tiende a ser más preciso que el muestreo aleatorio simple, ya que abarca la población de manera más uniforme. De esta manera, se elige cada *k*ésimo caso.

Las ventajas del muestreo aleatorio sistemático son:

- a) Sencillo de poner en práctica.
- b) Garantiza incluir unidades de todos los tipos.
- c) Si el tamaño de la muestra está relacionado con el evento de interés, las conclusiones extraídas de la muestra podrían estar sesgadas.

La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$k = \frac{N}{n}$$

Donde:

k: intervalo de muestra sistemática

N: tamaño de la población

n: tamaño de la muestra

2.3 Marco legal

Ecuador en 2008 se convirtió en el primer país del mundo en otorgarle derechos al Ambiente, por medio de su constitución, con un conjunto de leyes dispuestas a favor de la naturaleza y todas sus partes.

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial 449 de 20-oct-2008, Última modificación: 01-ago-2018

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak*

kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 283.- El sistema económico es social y solidario; reconoce al ser humano como sujeto y fin; propende a una relación dinámica y equilibrada entre sociedad, Estado y mercado, en armonía con la naturaleza; y tiene por objetivo garantizar la producción y reproducción de las condiciones materiales e inmateriales que posibiliten el buen vivir. El sistema económico se integrará por las formas de organización económica pública, privada, mixta, popular y solidaria, y las demás que la Constitución determine. La economía popular y solidaria se regulará de acuerdo con la ley e incluirá a los sectores cooperativistas, asociativos y comunitarios.

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, estas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

2.3.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible, Organización de las Naciones Unidas, 2015

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.

Objetivo 1.- Poner fin a la pobreza en todas sus formas en el mundo.

Objetivo 6.- Agua limpia y saneamiento.

Objetivo 8.- Trabajo decente y crecimiento económico.

Objetivo 9.- Industria, Innovación e infraestructura.

Objetivo 10.- Reducción de las desigualdades.

Objetivo 11.- Ciudades y comunidades sostenibles.

Objetivo 12.- Producción y consumo responsables.

Objetivo 14.- Vida submarina.

Objetivo 15.- Vida de ecosistemas terrestres.

2.3.3 Acuerdo de París, 2015

Artículo 2.

1. El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.

Artículo 10.

1. Las Partes comparten una visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la

resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.3.4 Resolución del Parlamento Europeo, de 13 de septiembre de 2018, sobre una estrategia europea para el plástico en una economía circular (2018/2035 (INI))

1. Acoge con satisfacción la Comunicación de la Comisión titulada «Una estrategia europea para el plástico en una economía circular» (COM(2018)0028) como un paso adelante en la transición de la Unión de una economía lineal a una circular; reconoce la utilidad del plástico tanto en nuestra economía como en el día a día, si bien cabe al mismo tiempo destacar sus notables inconvenientes; considera por tanto que el reto clave radica en la gestión del plástico de forma sostenible a lo largo de toda la cadena de valor, es decir, en modificar la manera en que producimos y usamos los plásticos de modo que su valor permanezca en nuestra economía sin perjuicio para el medio ambiente, el clima o la salud pública;

2. Recalca que la prevención, tal y como se define en la Directiva marco sobre los residuos, en lo que respecta a residuos de plástico desde el inicio debería ser la principal prioridad de acuerdo con la jerarquía de residuos; considera por otra parte que impulsar de manera notable nuestra efectividad a la hora de reciclar el plástico reviste asimismo una importancia fundamental tanto para apoyar un crecimiento económico sostenible como para proteger la salud humana y el medio ambiente; pide a todas las partes interesadas que se planteen la reciente prohibición china de importar residuos de plástico como una oportunidad para invertir en la prevención de los residuos plásticos, en particular promoviendo la reutilización y el diseño circular de productos e invirtiendo en instalaciones de vanguardia para la recogida, la clasificación y el reciclado en la Unión; cree que es importante el intercambio de buenas prácticas en este sentido, especialmente para las pymes;

3. Está convencido de que la estrategia para el plástico debe servir también para catalizar nuevos modelos de negocio, producción y consumo inteligentes, sostenibles y circulares que abarquen toda la cadena de valor, en consonancia con el objetivo de desarrollo sostenible 12 de las Naciones Unidas relativo al consumo y la producción sostenibles, con una internalización de los costes externos; solicita a la Comisión que promueva en este sentido unos vínculos claros entre las políticas de la Unión relativas a productos, sustancias químicas y residuos, en particular mediante el desarrollo de ciclos de materiales no tóxicos según lo dispuesto en el Séptimo Programa de Acción en materia de Medio Ambiente;

4. Pide a la Comisión que establezca una política de economía circular y bioeconomía después de 2020 basada en un sólido pilar de investigación e innovación, y que garantice que los compromisos financieros necesarios estarán disponibles en el nuevo marco financiero plurianual (MFP); hace especial hincapié en la importancia que reviste la investigación para la obtención de soluciones innovadoras y la comprensión de la repercusión de los macropásticos, micropásticos y nanopásticos sobre los ecosistemas y la salud de las personas;

5. Destaca que los plásticos son diversos y tienen una gran variedad de aplicaciones, y que es necesario, en consecuencia, un enfoque a medida, a menudo específico para cada producto, para las diferentes cadenas de valor, con un surtido de soluciones que tenga en cuenta el impacto ambiental, las posibilidades de que se dispone y las necesidades regionales y locales, velando por que queden cubiertas las necesidades funcionales;

6. Subraya que son necesarias acciones conjuntas y coordinadas de todas las partes interesadas a lo largo de toda la cadena de valor, en particular los consumidores, para lograr buenos resultados que sean beneficiosos tanto para la economía como para el medio ambiente, el clima y la salud;

7. Hace hincapié en que la responsabilidad de reducir la generación de residuos es compartida y que la conversión de la preocupación general por los residuos de plástico en una responsabilidad pública sigue siendo un desafío igualmente importante; subraya que resulta fundamental en este sentido que surjan nuevas pautas de consumo impulsando un cambio en el comportamiento de los consumidores; solicita que se conciencie en mayor medida a los consumidores sobre las repercusiones de la contaminación de los residuos de plástico, la importancia de la prevención y de una gestión de residuos adecuada, y las posibilidades de que se dispone.

2.3.1 Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017

Art. 226.- Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

1. Prevención;
2. Minimización de la generación en la fuente;
3. Aprovechamiento o valorización;
4. Eliminación; y,
5. Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles. La Autoridad Ambiental Nacional; así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio.

Art. 228.- De la política para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos. La gestión de los residuos sólidos no peligrosos, en todos los niveles y formas de gobierno, estará alineada a la política nacional dictada por la Autoridad Ambiental Nacional y demás instrumentos técnicos y de gestión que se definan para el efecto.

Art. 229.- Alcance y fases de la gestión. La gestión apropiada de estos residuos contribuirá a la prevención de los impactos y daños ambientales, así como la prevención de los riesgos a la salud humana asociados a cada una de las fases. Las fases de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos serán determinadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

2.3.2 Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso, Tercer Suplemento – Registro Oficial N° 354, de 21-dic.-2020

Artículo 1.- Objeto. - La presente ley tiene por objeto establecer el marco legal para regular la generación de residuos plásticos, la reducción progresiva de plásticos de un solo uso, mediante el uso y consumo responsable, la reutilización y el reciclaje de los residuos y, cuando sea posible su reemplazo por envases y productos fabricados con material reciclado o biodegradables con una huella de carbono menor al producto que está siendo reemplazado, para contribuir al cuidado de la salud y el ambiente.

Artículo 2.- Ámbito. - Esta ley es de carácter orgánico y rige en todo el territorio nacional. Establece el marco de políticas, regulaciones y supervisión que se aplican a la producción, distribución, uso, reutilización y reciclaje de los plásticos, para evitar un impacto negativo en la salud humana, el ambiente y los ciclos naturales para su regeneración, aplicando los principios y las prácticas de la economía circular. Dispone el marco normativo para que los GAD municipales implementen las medidas y acciones necesarias en su territorio para alcanzar los objetivos de esta Ley, en el ámbito de sus competencias.

Artículo 3.- Objetivos de la Ley. Esta Ley orgánica tiene como objetivos:

- a) Reducir progresivamente, en origen, los plásticos de un solo uso que se disponen en el mercado nacional.
- b) Incentivar la reducción en la generación de residuos plásticos y su aprovechamiento mediante su reutilización y el reciclaje o industrialización.
- c) Promover la disminución de contaminación por residuos y desechos plásticos, especialmente en quebradas, ríos, mares, lagos, lagunas y el sistema nacional de áreas protegidas.
- d) Fomentar el reemplazo del uso de plásticos de un solo uso por envases y productos biodegradables.

Artículo 4.- Declaración de interés nacional. - Se declara de interés nacional la reducción de los desechos generados por la utilización de productos plásticos, principalmente los de un solo uso, que afecten el ambiente y la salud humana, así como la reducción del uso y comercialización de plásticos de un solo uso.

El Estado ecuatoriano implementará programas, proyectos, políticas y acciones, enmarcados en esta Ley, que tengan por objeto de la gestión de residuos plásticos, sensibilizar sobre su uso responsable, regular su producción y promover su aprovechamiento con base en los principios y prácticas de la economía circular.

Artículo 5.- Principios. - La presente Ley se rige por los siguientes principios:

a) Responsabilidad integral: La responsabilidad de quien promueve una actividad que genere o pueda generar impacto sobre el ambiente, abarca de manera integral, responsabilidad compartida y diferenciada. Esto incluye todas las fases de dicha actividad, el ciclo de vida del producto y la gestión del desecho o residuo, desde la generación hasta el momento en que se lo dispone en condiciones de inocuidad para la salud humana y el ambiente.

b) Mejores prácticas ambientales: El Estado deberá promover en los sectores público y privado, la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural.

c) Desarrollo Sostenible: Es el proceso mediante el cual, de manera dinámica, se articulan los ámbitos económicos, social, cultural y ambiental para satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente. Se establecerá una distribución justa y equitativa de los beneficios económicos y sociales con la participación de personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.

d) El que contamina paga: Quien realice o promueva una actividad que contamine o que lo haga en el futuro, sea productor, comercializador, importador, distribuidor o usuario final, deberá incorporar a sus costos de producción, importación, comercialización y distribución, todas las medidas necesarias para prevenirla, evitarla o reducirla. Asimismo, quien contamine estará obligado a la

reparación integral y la indemnización a los perjudicados, adoptando medidas de compensación a las poblaciones afectadas y al pago de las sanciones que correspondan.

e) Prevención: Cuando exista certidumbre o certeza científica sobre el impacto o daño ambiental que puede generar una actividad o producto, el Estado a través de sus autoridades competentes exigirá a quién la promueva el cumplimiento de disposiciones, normas, procedimientos y medidas destinadas prioritariamente a eliminar, evitar, reducir, mitigar y cesar la afectación.

f) In dubio pro natura: En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales contenidas en esta Ley, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

2.3.3 Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, Cuarto Suplemento Registro Oficial N° 488, de 2-jul.-2021

Artículo 1.- Objeto.- La presente Ley tiene por objeto definir las atribuciones y responsabilidades de las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público en el marco de la economía circular; establecer criterios y mecanismos específicos orientados a implementar los principios de ecodiseño, producción y consumo sostenibles, disminuir la generación de residuos, fomentar la gestión integral e inclusiva de residuos y política pública y financiamiento de la economía circular inclusiva como mecanismo de bienestar económico, la creación de empleo, el desarrollo sostenible y disminución de consumo de recursos no renovables.

Artículo 2.- Ámbito. - La presente Ley se aplicará a todo el territorio ecuatoriano. Las normas contenidas en esta Ley, así como las reglamentarias y demás disposiciones técnicas vinculadas a esta materia, son de cumplimiento obligatorio y progresivo para todas las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público, personas naturales y jurídicas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, que se encuentren permanente o temporalmente en el territorio nacional.

Artículo 4.- Objetivos de la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva. - Son objetivos de esta Ley los siguientes:

1. Establecer los mecanismos de transición de una economía lineal a una economía circular inclusiva, definiendo sus etapas, institucionalidad, responsabilidades de los actores de la producción, de los consumidores, los sistemas de gestión inclusiva y las políticas públicas y de financiamiento.
2. Determinar, en el marco de sus competencias, las obligaciones y facultades de los diferentes niveles de gobierno y demás organismos del sector público, y establecer los mecanismos de articulación y coordinación entre los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria con la economía circular inclusiva.
3. Definir los principios que orienten a las políticas, financiamiento, programas y proyectos en materia de gestión integral de residuos y desechos sólidos de productos prioritarios sujetos de aprovechamiento, valorización, clasificación y reciclaje.
4. Fomentar la investigación, el desarrollo económico, la generación de empleo y la innovación en los ámbitos de la economía circular inclusiva, propiciando la participación comprometida y corresponsable del sector público, privado, del sector de la economía popular y solidaria y la ciudadanía.

Artículo 38.- Planes de desarrollo de economía circular inclusiva en los diferentes niveles de los gobiernos parroquiales y provinciales. – Los niveles de gobierno parroquial y provincial podrán, en función de sus realidades y recursos, elaborar el Plan de Economía Circular Inclusiva, junto al plan de gestión integral de residuos sólidos y el plan de reciclaje inclusivo. El Sistema Nacional de Economía Circular Inclusiva proveerá de parámetros técnicos nacionales y del apoyo técnico que requieran los diferentes niveles de gobierno. Para el efecto se podrán conformar mancomunidades y consorcios, recibiendo el acompañamiento y apoyo técnico del Consejo Nacional de Competencias.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter no experimental, de manera que se combinó la innovación tecnológica con la economía circular. Inicialmente se realizó una sólida investigación bibliográfica para definir los conceptos y la metodología pertinentes para llevar a cabo la investigación. En base a la información obtenida se definió el modelo de la máquina procesadora de PET que se construyó para producir filamento de impresión 3D, de manera que con este producto final se diseñó un plan de economía circular para alargar el ciclo de vida de las botellas plásticas PET que se consumen en la Ecoaldea San Jacinto de Santay. En este sentido, este proyecto se posiciona como una contribución significativa no solo en el avance tecnológico dentro del campo de la impresión 3D, sino también a la promoción de planes de economía circular que fomenten el desarrollo sostenible en la sociedad.

3.1.2 Diseño de investigación

Este proyecto académico de tipo no experimental se basa en la reutilización de botellas plásticas tipo PET provenientes de Ecoaldea San Jacinto de Santay, para la producción de filamento para impresión 3D, con la finalidad de diseñar un plan de economía circular que pueda ser beneficioso en el nivel socioeconómico para los habitantes de la Isla Santay, así como también contribuya al cuidado de los ecosistemas de este sitio RAMSAR reconocido a nivel mundial.

En base a un inventario físico in situ de botellas plásticas PET en la Ecoaldea, se cuantificó la cantidad de PET que se desecha de manera semanal, datos que son descritos en tablas y gráficos, permitiendo conocer el comportamiento de consumo de los habitantes de la isla y la viabilidad del proyecto. Una vez realizado el inventario se procedió con la transformación de este material plástico a filamento de impresión 3D, este proceso se detalló de manera que se describen todos los materiales necesarios y los procedimientos para el proceso. Finalmente, se estructuró un plan de economía circular en la Isla Santay basado en el reciclaje de los plásticos tipo PET, que sirva como producto de comercialización para los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, de manera que beneficie a su crecimiento socioeconómico y el cuidado del ambiente.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Botellas de plástico PET (Kg)
- Temperatura del extrusor (°C)

3.2.1.2. Variable dependiente

- Filamento para impresión 3D (Kg)

3.2.2 Recolección de datos

Inicialmente la recolección de datos se llevó a cabo a través de la obtención de información bibliográfica basada en artículos científicos, libros, tesis de grado, informes de instituciones, periódicos, entre otros.

Una vez recopilada la información se procedió a seleccionar la metodología adecuada para poner en práctica el inventario físico in situ de botellas plásticas tipo PET en la Ecoaldea San Jacinto de Santay, donde se recopilaron datos acerca de la cantidad de botellas PET que son desechadas de manera semanal.

A través de la transformación del plástico tipo PET a filamento de impresión 3D, se obtuvo la información necesaria para determinar las condiciones y características esenciales del proceso, así como también la cantidad promedio de botellas plásticas para obtener 1 kilogramo de filamento para impresión 3D.

Se afirma que en este trabajo de investigación la recolección de datos se realizó de manera bibliográfica y posteriormente de manera práctica, obteniendo la información pertinente.

3.2.2.1. Recursos

La selección pertinente de los recursos es de suma importancia para llevar a cabo el presente proceso investigativo y la validación de la hipótesis propuesta, siendo estos un respaldo para la validez y solidez de los resultados. Contribuyendo significativamente a facilitar el progreso del estudio en cuestión.

A continuación, se describe la totalidad de los recursos necesarios para este proyecto de investigación.

Recursos humanos

Los recursos humanos incluyen a todas las personas que participaron en el desarrollo de esta investigación, desde el autor, tutor, asesores y revisores académicos, habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, y demás personas externas que contribuyeron en el proceso.

Cabe recalcar la importancia de la participación todas las personas, haciendo énfasis en la relevancia del papel de los residentes de la Ecoaldea, quienes cumplen un rol fundamental en el proceso de realización del inventario físico in situ de los residuos plásticos.

En tabla 1 se cuantifica la totalidad de los recursos humanos:

Tabla 1.

Recursos humanos

Recursos humanos	Cantidad de personas
Autor	1
Tutor	1
Revisor estadístico	1
Revisor técnico	1
Habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay	226 (INEC, 2022)
Total	230

Se desglosan los recursos humanos de esta investigación, contando con la participación de 230 personas.

Elaborado por: El Autor, 2024

Recursos financieros

Para los recursos financieros se tomó en cuenta todo el presupuesto asignado para la puesta en práctica de este proyecto de investigación, abarcando costos de adquisición de materiales, equipos, gastos de transporte, y otros gastos relacionados.

En la tabla 2 se detalla el presupuesto detallado y total de este proyecto:

Tabla 2.

Recursos financieros

Cantidad	Descripción	Costo (USD)
1	Máquina procesadora de PET	200.00
-	Transporte	50.00
8	Tachos de basura	80.00
-	Impresión de documentos	50.00
1	Máquina de sellado al vacío	20.00
100	Fundas de sellado al vacío	7.00
1kg	Gel de sílice	30.00
-	Demás gastos	30.00
	Total	467.00

Se desglosan los recursos financieros destinados para este trabajo de investigación, con una suma total de cuatrocientos sesenta y siete dólares americanos.

Elaborado por: El Autor, 2024

Recursos materiales e informáticos

En la cuantificación de los recursos materiales e informáticos se involucran todos aquellos objetos físicos y de software necesarios para llevar a cabo este trabajo de investigación. Los cuales se describen a continuación:

- Computadora
- Botellas de plástico PET
- Máquina procesadora de PET
- Automóvil
- Impresora
- Papel
- Programas de Microsoft
- Software libre (GIS)

- Internet

Recursos bibliográficos

Los recursos bibliográficos constituyen toda la información científica necesaria para las bases teóricas y respaldar el marco conceptual de la presente investigación. Aquellos recursos bibliográficos son:

- Artículos científicos
- Normativa legal
- Páginas web
- Libros
- Tesis

Recursos institucionales

Los recursos institucionales engloban todos aquellos servicios proporcionados por instituciones de carácter público, privado y académico. Para el desarrollo de esta investigación se acudió al apoyo del Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica para que proporcione el permiso necesario para llevar a cabo el inventario físico in situ de botellas plásticas en la Ecoaldea San Jacinto de Santay. También se contó con el apoyo académico del personal docente de la Universidad Agraria del Ecuador, quienes en base a su amplia experiencia profesional revisaron y calificaron este trabajo de investigación.

3.2.2.2. Métodos y técnicas

Inventario físico in situ de botellas plásticas tipo PET, en la Ecoaldea de la Isla Santay

Previo a realizar el inventario físico in situ de botellas plásticas tipo PET se llevó a cabo una visita a la Ecoaldea San Jacinto de Santay, en la que se contabilizó el número de viviendas, obteniendo un resultado total de 56 viviendas.

En cuanto al tiempo de duración del inventario físico se definió un plazo de 15 días, tiempo suficiente para definir la cantidad de botellas plásticas que se desechan de manera semanal en la Ecoaldea.

Para seleccionar los puntos de ubicación de los tachos se utilizó la técnica de muestreo aleatorio sistemático, en la cual se usó la siguiente ecuación:

$$k = \frac{N}{n}$$

Donde:

k: intervalo de muestra sistemática

N : 56 viviendas

n : 8 tachos de basura

$$k = \frac{56}{8}$$

Obteniendo el siguiente resultado:

$$k = 7$$

Por lo que se definió que los 8 recipientes plásticos de basura se ubicarán pasando 7 viviendas.

Transformación de botellas plásticas tipo PET a filamento para impresión 3D

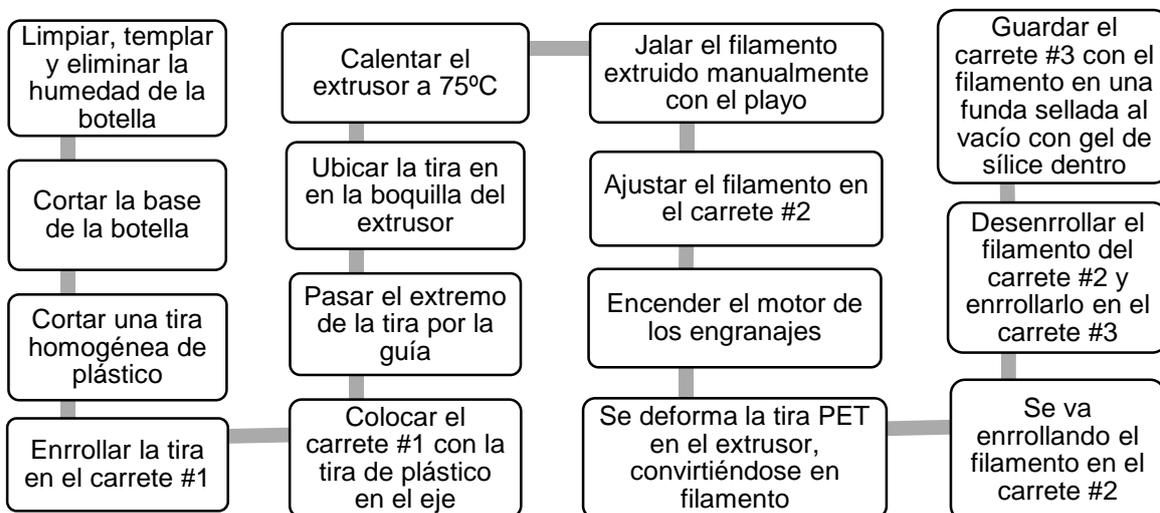
Para el proceso de transformación de botellas plásticas tipo PET a filamento para impresión 3D se tomó como referencia la máquina construida por Vargas (2023), la cual se presenta en la Figura 3.

En cuanto al procesamiento de las botellas plásticas PET es necesario clasificarlas previamente y elegir aquellas que mantenga su forma original. En caso de que se encuentre deformadas se debe utilizar un compresor de aire para templar el plástico y devolverlo a su forma original.

Es sumamente importante que el PET esté libre de humedad, antes se procesarlo debe secarse al sol. Para obtener un filamento para impresión 3D de óptima calidad se tienen que seguir los siguientes pasos detallados en el diagrama:

Figura 1.

Proceso de transformación de botellas plásticas PET a filamento para impresión 3D



Elaborado por: El Autor, 2024.

Plan de Economía Circular

El plan de Economía Circular se estructuró en base al primer Plan de Acción para la Economía Circular, planteado por la Comisión Europea (2015). Tomando como guía los siguientes puntos del informe:

- **Punto 2:** Consumo
- **Punto 3:** Gestión de residuos plásticos
- **Punto 4:** De residuos a recursos
- **Punto 5:** Áreas prioritarias
- **Punto 6:** Innovación, inversión y otras medidas horizontales
- **Punto 7:** Seguimiento de los avances hacia una economía circular

3.2.3 Análisis estadístico

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo el análisis estadístico a través de la estadística descriptiva, de manera que se describa el promedio de botellas plásticas tipo PET que se desechan semanalmente por vivienda en la Ecoaldea San Jacinto de Santay, en base a los resultados obtenidos del inventario físico in situ.

También se empleará la estadística descriptiva para calcular el promedio de botellas plásticas que se necesitan para fabricar 1 kilogramo de filamento para impresión 3D, a partir de la práctica del proceso de extrusión del plástico.

La fórmula que se utilizará para calcular el promedio es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\Sigma x}{N}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética

Σx : Suma de cada valor

N : Número total de participantes

4. RESULTADOS

4.1 Caracterizar los tipos de residuos plásticos provenientes de la Ecoaldea de la Isla Santay, a través de un inventario físico in situ

Para caracterizar los tipos de residuos plásticos provenientes de la Ecoaldea de la Isla Santay se realizó un inventario físico in situ durante dos semanas, para el cual se utilizaron 8 tachos plásticos ubicados en puntos específicos de la Ecoaldea.

Los tachos fueron visitados 1 vez a la semana, en total se realizaron dos visitas para caracterizar los tipos de residuos que habían sido depositados.

El MAATE cuenta con 3 contenedores metálicos en forma de botella ubicados en puntos estratégicos de la Ecoaldea para la disposición de desechos plásticos, los cuales también se utilizaron para consolidar la información del inventario físico. Estos fueron enumerados conjunto con los demás tachos dispuestos, recibiendo la numeración 9,10 y 11.

Se tomaron en cuenta todos los tipos de residuos plásticos que albergaban los tachos, entre los cuales se encontraron de los siguientes:

- Tereftalato de Polietileno (PET)
 - Botellas de bebidas
- Poliestireno (PS)
 - Vasos
 - Tarrinas de alimentos
- Polipropileno (PP)
 - Fundas
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
 - Botellas de detergente y cloro
 - Tarrinas de alimentos
 - Tapas de botellas
- Polietileno de baja densidad (PEBD)
 - Fundas
 - Etiquetas
 - Vasos

En la tabla 3 se muestran los resultados del inventario físico in situ de residuos plásticos en la primera semana de estudio.

Tabla 3.

Resultados del inventario físico in situ de residuos plásticos, semana 1

No. Tacho	Coordenadas X y Y	PET	PS	PP	PEAD	PEBD	TOTAL
#1	(625748.43 E, 9753702.25 S)	17	6	2	1	7	33
#2	(625792.13 E, 9753658.66 S)	16	1	4	1	11	33
#3	(625842.31 E, 9753645.66 S)	2	5	3	4	8	22
#4	(625825.78 E, 9753698.31 S)	27	8	3	7	12	57
#5	(625786.17 E, 9753737.45 S)	118	6	5	2	4	135
#6	(625823.37 E, 9753772.48 S)	96	11	1	3	3	114
#7	(625845.64 E, 9753792.63 S)	82	5	4	8	2	101
#8	(625872.40 E, 9753815.28 S)	33	10	2	4	2	51
#9	(625781.12 E, 9753791.13 S)	386	18	5	4	8	421
#10	(625728.81 E, 9753685.35 S)	216	25	32	9	17	299
#11	(625583.46 E, 9753731.93 S)	421	14	16	21	5	477
PORCENTAJE		81.1%	6.3%	4.4%	3.7%	4.53%	100%
TOTAL		1414	109	77	64	79	1743

Elaborado por: El Autor, 2024

Se puede observar que en la semana 1 se contabilizó un total de 1743 residuos plásticos, de los cuales 1414 fueron botellas de PET, siendo este el que mayor presencia tuvo, seguido por el PS en forma de tarrinas para almacenar alimentos y algunos vasos para bebidas calientes, con un total de 109, sin embargo, las cifras son totalmente distantes.

Tabla 4.

Media de residuos plásticos por familia, semana 1

	PET	PS	PP	PEAD	PEBD	Total
Media	25	2	1	1	1	30
Porcentaje	83.3%	6.8%	3.3%	3.3%	3.3%	100%

La media se calcula dividiendo el total de plásticos obtenidos entre los 11 tachos, para la cantidad de familias (56) que habitan en la Ecoaldea San Jacinto de Santay.

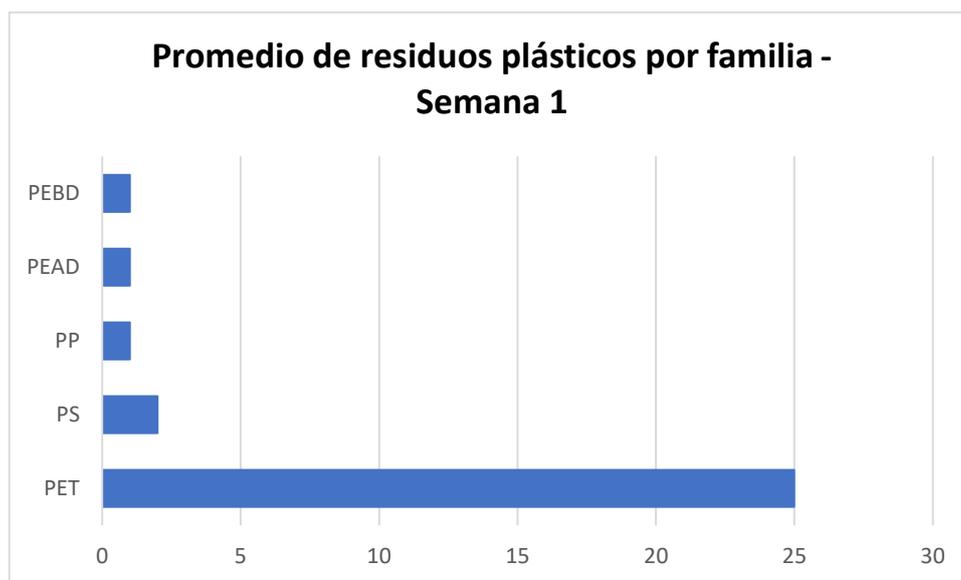
Elaborado por: El Autor, 2024.

A través de la estadística se realizó el cálculo de la media correspondiente a la semana 1, donde se obtuvo un aproximado de 30 artículos plásticos desechados por familia, con 25 botellas de Tereftalato de Polietileno, seguido del

Polietileno con un promedio de 2 desechos de este tipo semanalmente, 1 de Poliprolino, 1 de Polietileno de Alta Densidad y 1 de Polietileno de Baja Densidad. Obteniendo una amplia diferencia entre la cantidad de PET y los demás tipos de plásticos.

Figura 2.

Promedio de residuos plásticos por familia - Semana 1.



Elaborado por: El Autor, 2024

Tabla 5.

Resultados del inventario físico in situ de residuos plásticos, semana 2

No. Tacho	Coordenadas X y Y	PET	PS	PP	PEAD	PEBD	TOTAL
#1	(625748.43 E, 9753702.25 S)	9	1	5	2	1	18
#2	(625792.13 E, 9753658.66 S)	10	8	3	2	2	25
#3	(625842.31 E, 9753645.66 S)	21	3	7	1	4	36
#4	(625825.78 E, 9753698.31 S)	93	5	27	3	1	129
#5	(625786.17 E, 9753737.45 S)	37	7	2	5	7	58
#6	(625823.37 E, 9753772.48 S)	123	5	13	1	21	163
#7	(625845.64 E, 9753792.63 S)	248	10	11	3	5	277
#8	(625872.40 E, 9753815.28 S)	21	7	9	2	8	47
#9	(625781.12 E, 9753791.13 S)	415	22	11	17	31	496
#10	(625728.81 E, 9753685.35 S)	230	33	29	10	22	324
#11	(625583.46 E, 9753731.93 S)	336	18	25	14	38	431
PORCENTAJE		77%	6%	7%	3%	7%	100%
TOTAL		1543	119	142	60	140	2004

Elaborado por: El Autor, 2024

En la segunda semana el total de residuos plásticos fue de 2004, siendo superior a la semana 1. Se encontró en mayor cantidad botellas de tipo PET con un total de 1543 entre los 11 tachos, seguido del Polipropileno en forma de fundas con 142, y tan solo a dos puntos de diferencia el Polietileno de Baja Densidad en tercer lugar, presente en forma de vasos desechables.

Tabla 6.

Media de residuos plásticos por familia, semana 2

	PET	PE	PP	PEAD	PEBD	Total
Media	28	2	3	1	3	37
Porcentaje	75.7%	5.4%	8.1%	2.7%	8.1%	100%

La media se calcula dividiendo el total de plásticos obtenidos entre los 11 tachos, para la cantidad de familias (56) que habitan en la Ecoaldea San Jacinto de Santay.

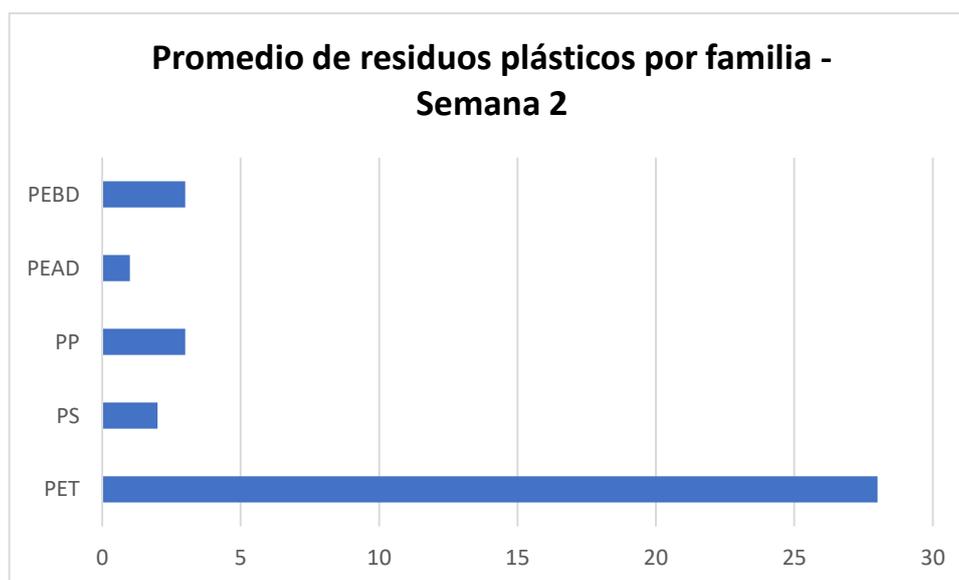
Elaborado por: El Autor, 2024

La estadística de la segunda semana indicó que hubo un promedio de 37 artículos, plásticos desechados por familia, 5 más que la primera semana, con 28 botellas de tipo PET, 2 objetos de PE, 3 de PP, 1 de PEAD y 3 de PEBD.

Al igual que en la primera semana, los residuos de tipo PET fueron los que mayor presencia tuvieron, subiendo 3 puntos en la media por familia.

Figura 3.

Promedio de residuos plásticos por familia - Semana 2



Elaborado por: El Autor, 2024.

Para conocer la cantidad de residuos plásticos que la Ecoaldea San Jacinto de Santay genera de manera semanal se realizó el cálculo del promedio entre las dos semanas de estudio, obteniendo una media 34 artículos plásticos desechados por cada familia en el período de 7 días, con 27 botellas plásticas de tipo PET; 2 objetos de Poliestireno, entre tarrinas para alimentos y vasos para bebidas calientes; 2 de Polipropileno como fundas para alimentos; 1 de Polietileno de Alta Densidad en forma de botellas de detergente y de cloro, y tapas de botellas de PET; y 2 de Polietileno de Baja Densidad como etiquetas de botellas, vasos desechables y fundas.

Tabla 7.

Media semanal de residuos plásticos por familia

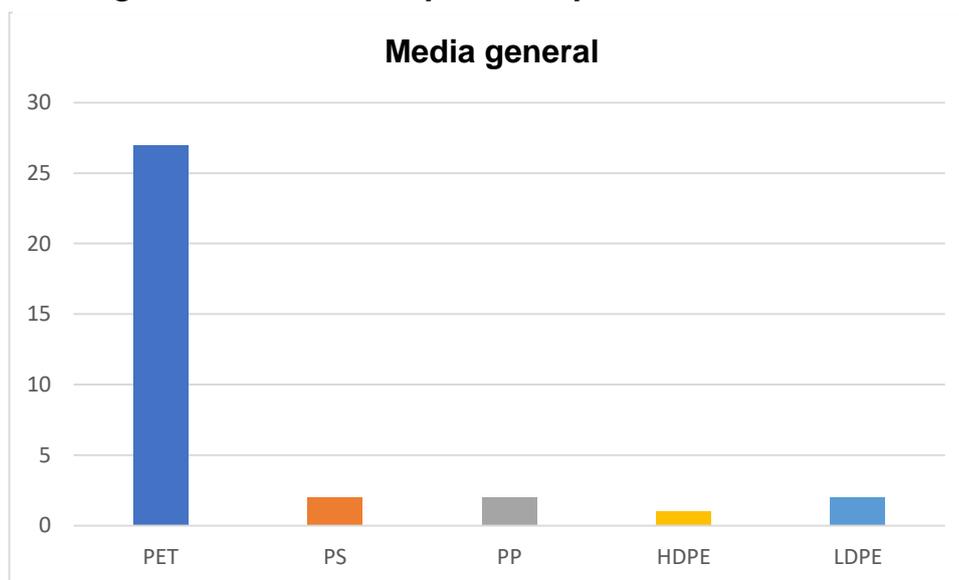
	PET	PS	PP	PEAD	PEBD	Total
Media	27	2	2	1	2	34
Porcentaje	79.4%	5.9%	5.9%	2.9%	5.9%	100%

La media semanal de residuos plásticos se calculó obteniendo la media entre las medias de la semana 1 y 2.

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 4.

Media general de residuos plásticos por familia semanalmente

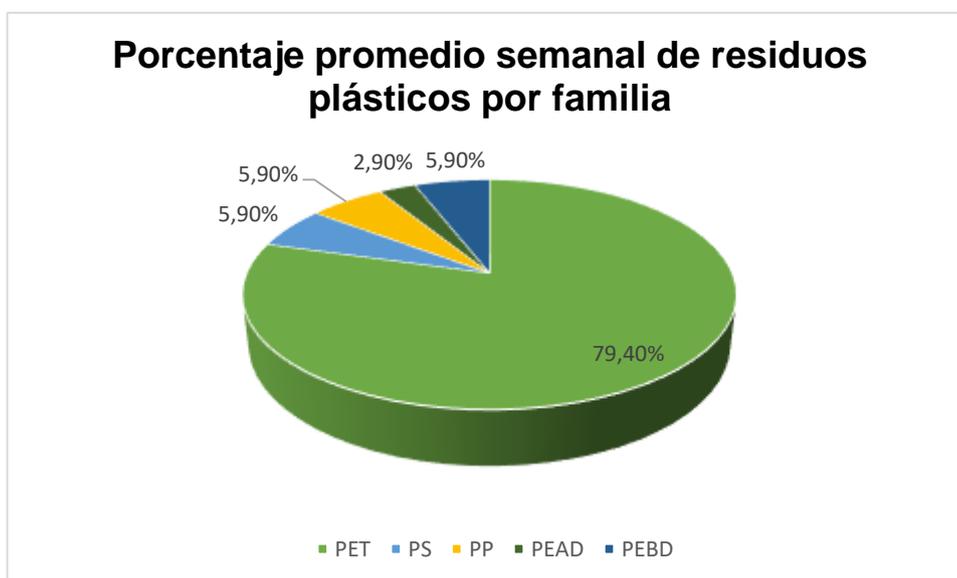


Elaborado por: El Autor, 2024.

La presente figura muestra una comparación de la media general de residuos plásticos por familia de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, donde se puede evidenciar que el PET es el que tiene la mayor presencia en los hogares, alcanzando un promedio de 27 botellas de este material, desechadas por familia en el lapso de una semana. Los demás plásticos tienen una media significativamente baja en comparación al PET, manteniéndose por debajo de 5 residuos de estos tipos por familia en una semana. Este gráfico muestra claramente la importancia del estudio de la presencia de los envases de tipo PET en los residuos domésticos.

Figura 5

Porcentaje promedio semanal de residuos plásticos por familia



Elaborado por: El Autor, 2024

En términos de porcentajes se obtuvo que entre el total de residuos plásticos generados por cada familia de la Ecoaldea San Jacinto de Santay, el 79,40% fue PET en forma de botellas de bebidas; 5,90% de Poliestireno; 5,90% Polipropileno; 2,90% de Polietileno de Alta Densidad; y 5,88% de Polietileno de Baja Densidad. Superando por 9,40 puntos el 70% de presencia de PET estimada en la hipótesis propuesta de este proyecto de investigación.

4.2 Convertir el plástico reciclado de tipo PET, proveniente de la Ecoaldea de la Isla Santay a filamento de impresión 3D, empleando el proceso de extrusión

4.2.1 Preparación del PET

El primer paso en el proceso consiste en asegurar que las botellas de PET se encuentren limpias y secas, que no tengan la etiqueta de la marca, que se encuentren sin nada adherido tanto a su superficie exterior como interior.

Se debe limpiar las botellas correctamente haciendo uso de una esponja y alcohol metílico, asegurándose que se remueva cualquier tipo de suciedad y poniendo bastante cuidado en que no queden restos de la goma con la que se pega la etiqueta al envase. Una vez lavadas se procede a dejar las botellas secando al sol el tiempo necesario hasta que se encuentren totalmente libres de humedad, cualquier rastro de humedad puede afectar negativamente la calidad del filamento del producto.

Una vez secos los envases se procede a utilizar un compresor, el cual se conecta al pico de la botella y se introduce aire a presión para templar el plástico, de manera que se elimine cualquier clase de deformación en el plástico. Para ello también se puede hacer uso de una pistola de calor mientras se utiliza el compresor, con el objetivo de ablandar el material con el calor mientras este se expande por el aire comprimido.

4.2.2 Corte

Una vez limpias, se corta la base de la botella y se procede a ubicar el envase en la herramienta de corte, de forma que se irá cortando en una sola tira continua de 5mm de ancho hasta llegar al pico, el cual se descarta junto con la base y la tapa. El largo dependerá del tamaño de la botella, sin embargo, el ancho debe ser siempre el mismo, para asegurar el diámetro deseado en el producto final. Este corte debe ser preciso, garantizando que las tiras tengan un ancho uniforme, lo cual es crucial en el proceso de extrusión posterior.

4.2.3 Extrusión

4.2.3.1. Componentes

El extrusor es el corazón de la máquina y se compone de varios elementos clave, incluyendo un Termostato programable de modelo W1209, un cartucho calefactor de 12V/40W, bloque calefactor de aluminio, diodo 1N5408. Estos

componentes trabajan juntos para calentar y controlar la temperatura del plástico durante el proceso de extrusión.

4.2.3.2. Pre calentamiento

La máquina requiere un tiempo de pre calentamiento del extrusor de aproximadamente 15 minutos para que se alcance una temperatura superior a 70°C. Una vez que se llegue a esta temperatura se puede comenzar a alimentar el extrusor con la materia prima. Siendo un paso crucial para asegurar que el equipo se encuentre listo para deformar el PET.

4.3.3.3. Funcionamiento

La tira de PET se introduce en el extrusor, donde se calienta a una temperatura de 75°C. Esta temperatura debe ser controlada con precisión para asegurar que el PET se deforme de manera homogénea.

4.3.3.4. Control de temperatura

El Termostato W1209 será el responsable de mantener la temperatura adecuada, de forma que se programa la que se desea alcanzar. Ya que se busca deformar el plástico, por medio de pruebas se determinó que la temperatura necesaria oscila 70 °C y 75 °C.

4.3.3.5. Recolector de filamento

La velocidad del motor que impulsa el bobinado del filamento se controla mediante un potenciómetro de 100k Ohm lineal. Este garantiza que el producto final sea extruido a la velocidad constante, puesto que, si este se encuentra girando muy rápido o muy lento, o hay variaciones en la velocidad, el filamento no se deformará de manera uniforme y tampoco se enfriará adecuadamente con ayuda del ventilador. Se define que la velocidad óptima para el funcionamiento del motor debe de ser de 12 RPM.

Una vez que el PET ha sido extruido, el filamento resultante se recoge en un rollo donde podrá enfriarse lentamente después de ser extruido, evitando que se vuelva quebradizo. Un enfriamiento gradual permite que el material mantenga sus propiedades mecánicas y físicas.

Posterior a las pruebas que se realizaron se pudo determinar que con 40 botellas de bebidas de 500ml se puede llegar a producir 1 kg de filamento de impresión 3D reciclado. Con una longitud de 20 metros de filamento.

4.2.4 Prueba del filamento en impresora 3D

Se realizaron las pruebas del filamento en una impresora 3D modelo Bambú Lab, en la cual se ajustaron las configuraciones de temperatura de impresión a 250°C para que pueda trabajar con el material reciclado.

Como modelo de prueba se imprimió el símbolo de reciclaje de 4cm x 4cm de tamaño (Figura 14) el cual tuvo una buena rigidez y no se volvió quebradizo, sin embargo, si tuvo porosidad; esto puede ser resultado de la presencia de humedad en el filamento, por lo que es clave que se almacene en un lugar libre de humedad y en fundas selladas al vacío con gel de sílice dentro.

4.3 Proponer un plan de economía circular en la Isla Santay basado en el reciclaje de los plásticos tipo PET que sirva como producto de comercialización para la Ecoaldea San Jacinto de Santay

Como se puede observar en el apartado de anexos del presente documento, el plan de economía circular se centra en establecer un modelo sostenible para gestionar los residuos plásticos, específicamente las botellas de tipo PET, y transformarlos en filamento de impresión 3D mediante un proceso de extrusión. El objetivo principal es conservar el valor de los envases, prolongando su ciclo de vida mediante la reutilización, de manera que se promueva una economía circular dentro de la ecoaldea.

El documento cuenta con tres objetivos específicos clave:

- 1) Reducir la generación de residuos PET en la Ecoaldea San Jacinto de Santay.
- 2) Fomentar la transformación del PET en filamento de impresión 3D.
- 3) Crear nuevas actividades económicas basadas en esta tecnología.

En el primer eje “Gestión integral de los residuos de tipo PET” se aborda la educación ambiental, la infraestructura necesaria para la recolección y reciclaje, así como también los incentivos para la gestión sostenible de estos residuos. La formación de los jóvenes en materia ambiental es esencial debido al bajo nivel educativo que poseen los habitantes de la isla, se propone un plan educativo integral para concienciar sobre los impactos ambientales causados por la mala gestión de los residuos. En el eje número 1 también se sugiere la instalación de puntos de acopio estratégicamente ubicados y programas de recolección que incluyan incentivos económicos y premios para fomentar la participación activa de la comunidad.

El segundo eje “Materias primas secundarias” se enfoca en la transformación de las botellas PET en filamento de impresión 3D. Este proceso no solo reduce la necesidad de materias primas vírgenes, de forma que se disminuyen costos productivos y se abren las puertas a nuevas oportunidades tecnológicas y económicas. Se establecen los requisitos legales para que este filamento sea clasificado como un subproducto, mas no como un residuo, en base a la Ley 22/2011, de 28 de julio, acerca de residuos y suelos contaminados de España.

El tercer eje “Investigación, Innovación y Competitividad” se promueve la inversión en proyectos de I+D+i para desarrollar productos y procesos eco eficientes. La colaboración entre el sector público y privado es esencial para generar soluciones innovadoras que impulsen la economía circular. Se propone un plan educativo integral para fomentar la conciencia ambiental, incluyendo educación formal, no formal y participación de la comunidad.

El plan contempla la creación de un emprendimiento sostenible basado en la producción de filamento de impresión 3D, por medio de un proceso de extrusión. Se detallan las áreas claves del negocio, incluyendo investigación y desarrollo, producción y operaciones, logística, marketing y ventas, administración y finanzas, sostenibilidad y recursos humanos. Se enfatiza la importancia de capacitar a los habitantes de la isla para asegurar el éxito del emprendimiento y contribuir al desarrollo económico local.

5. DISCUSIÓN

Por medio del inventario de residuos plásticos desarrollado en la Ecoaldea San Jacinto de Santay se evidenció que el PET es el tipo de plástico con mayor presencia, con un 79,41% del total de residuos poliméricos generados semanalmente, de manera que se confirma lo que mencionan Obregón, Bermúdez, y Palencia (2023) en su estudio, acerca de que los envases desechables de bebidas son uno de los residuos que mayormente se generan en la sociedad actual.

Según los resultados obtenidos en el presente proyecto, se determinó que, para obtener un filamento de buena calidad, y que este no se vuelva frágil ni quebradizo, la temperatura del extrusor debe permanecer entre 70 °C y 75°C durante todo el proceso, desde que ingresa el primer extremo de la tira de plástico hasta que sale el extremo posterior, esto refuta al rango de temperatura que plantea Vargas (2023) en su investigación, donde lo define entre 200 y 280 °C para la fundición del plástico; en este proceso de extrusión se busca deformar el material, mas no fundirlo. También toma en cuenta la velocidad del giro del motor y destaca que esta debe ser controlada por medio de un timer del microcontrolador, en este caso en la máquina con la que se desarrolló este proyecto se utilizó un potenciómetro para regular la velocidad de giro del motor. Así mismo, se pudo evidenciar que en el transcurso del proceso de extrusión del PET, existen 2 tareas primordiales, las cuales son mantener estable la temperatura del extrusor y configurar el motor para que el giro sea continuo y a una velocidad constante.

Gracias a las pruebas que se llevaron a cabo con la máquina se pudo evidenciar que el motor debe girar a 12 RPM con la finalidad de que el plástico pase el tiempo óptimo a través del extrusor y posteriormente sobre el ventilador, si el motor girara más rápido no ocurriría la deformación deseada del material para convertirse en filamento, esto coincide con el trabajo de investigación de Druetta y Fazi (2018), donde se afirma que el proceso de extrusión es más óptimo a revoluciones menores a 15RPM.

6. CONCLUSIONES

Para caracterizar los tipos de residuos plásticos en la Ecoaldea San Jacinto de Santay, se llevó a cabo un inventario físico in situ. En el periodo de dos semanas se muestrearon 11 tachos distribuidos alrededor de la comunidad, recopilando datos sobre diversos tipos de plásticos como PET, PS, PP, PEAD y PEBD. Los resultados mostraron que el PET fue el más abundante, representando un 79,41% del total de residuos poliméricos generados semanalmente. Este alto porcentaje destaca la necesidad de enfoques específicos para su gestión y reciclaje, subrayando la importancia de contar con una infraestructura adecuada para su recolección.

El proceso de convertir plásticos reciclados de tipo PET en filamento para impresión 3D mediante extrusión demostró ser una solución viable y sostenible. Se detallaron los pasos necesarios, desde la limpieza y preparación de las botellas hasta el corte y extrusión. A través de la experimentación se determinó que el tiempo óptimo de precalentamiento de la máquina es de 15 minutos hasta alcanzar los 250 °C, definiendo esta temperatura como la ideal para la deformación del PET. La velocidad del motor debe de ser 12RPM para que se cumpla la transformación homogéneamente, a la vez que el filamento se enfría al pasar el tiempo adecuado sobre el ventilador.

El Plan de Economía Circular sobre Plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) para la Ecoaldea de la Isla Santay propone un enfoque integral para gestionar esta clase de residuos. Al promover la reutilización y el reciclaje del PET, se busca minimizar la generación de desechos y maximizar su valor a lo largo del tiempo. La implementación de este plan requiere la colaboración de diversos actores, incluidos los residentes de la comunidad, instituciones académicas, ONG's, empresas privadas y el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. A través del plan se pretende fomentar la educación ambiental, mejorar la infraestructura de reciclaje y ofrecer incentivos para la gestión sostenible de residuos, esta propuesta aspira a transformar a la Ecoaldea en un modelo de sostenibilidad y economía circular

7. RECOMENDACIONES

Para investigaciones futuras relacionadas con el inventario físico in situ de residuos plásticos, se recomienda implementar un monitoreo continuo de la generación de residuos plásticos en la Ecoaldea. Esto permitiría observar tendencias a largo plazo y evaluar el impacto de las acciones de reciclaje implementadas. También incluir el estudio comparativo entre varias técnicas de recolección y clasificación de los residuos para determinar cuál es la más adecuada para la comunidad.

La calidad del filamento producido dependerá directamente de la temperatura durante el proceso de extrusión. Mantenerla bajo un control riguroso es esencial para asegurar que el producto final sea resistente. La estabilidad de la temperatura garantiza que el material se deforme correctamente, de manera uniforme, evitando defectos y fallos en el filamento. Cualquier impureza proveniente de la materia prima puede afectar la integridad del material, provocando atascos y defectos en la impresión. Se recomienda que la placa del termostato sea de alta precisión y que se monitoree constantemente el proceso.

Es crucial mantener la velocidad del motor constante a 12 RPM, de forma que la tira de plástico vaya moviéndose suavemente a través del extrusor y luego sobre el ventilador. Una velocidad uniforme garantiza que el material se deforme de manera continua y controlada, lo que resulta en un filamento de diámetro homogéneo de 1,75mm. El potenciómetro es una herramienta esencial para fijar el motor a la velocidad óptima, con la ayuda de la perilla se puede subir y bajar sus revoluciones, se recomienda que esta pieza se encuentre en el tablero de la máquina en un espacio despejado para que sea de fácil manipulación y se pueda actuar rápido ante cualquier desajuste imprevisto.

Es fundamental limpiar el sistema de extrusión antes de cada uso para garantizar su óptimo funcionamiento. La presencia de residuos de plástico o impurezas en el cartucho calefactor puede causar retrasos en alcanzar la temperatura ideal, afectando la eficiencia del proceso. Este mantenimiento preventivo no solo optimiza el tiempo de calentamiento, sino que también mejora la calidad del filamento que se produce. La limpieza adecuada del sistema de extrusión incluye la eliminación de cualquier partícula o residuo que pueda interferir con el flujo del material. Para llevarla a cabo se puede utilizar una varilla metálica fina de un diámetro de 1,5mm que pueda entrar y salir sin problema de

la boquilla del extrusor, de preferencia esta debe terminar en punta para que sea más fácil despegar material adherido.

El PET debe permanecer libre de humedad antes, durante y después de todo el proceso de extrusión. Se recomienda que las botellas reciban un pretratamiento riguroso, secándolas al sol el tiempo necesario para eliminar cualquier rastro de humedad. Mantener el PET seco es crucial para asegurar la calidad del filamento y evitar problemas durante la extrusión y posteriormente en la impresión 3D. La humedad puede causar burbujas y que el material se vuelva quebradizo. El almacenamiento del producto final en bolsas selladas al vacío con gel de sílice es indispensable para que este se conserve en buenas condiciones.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arango, M., Santana, W., Jaramillo, N., Rueda, S., & Álvarez, C. (2022). Síntesis y propiedades de hidrogeles a base de sericina y alcohol polivinílico reticulados térmicamente. *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era*, 306-316. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Romero-Perdomo/publication/366158161_Contribucion_de_la_Economia_Circular_a_los_Objetivos_de Desarrollo_Sostenible_de_la_Agenda_2030/links/6393aafae42faa7e75ad
- Arcos, J., & Marín, B. (2021). La actualidad de los tipos de envases plásticos para alimentos. *Journal of Engineering Sciences*, 1-16. doi:<https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id176>
- Arteaga, L. (2015). Fabricación y caracterización de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados. *Tesis de grado*. Universidad de La Laguna, Tenerife.
- Bañegil, R., & Sainz, F. (2022). Investigación de materiales para impresión 3D de tejidos. *Tesis de grado*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/71120/3/TFM_RAQUEL_BANEGIL_COLLADO.pdf
- BOE. (2011). *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>
- Caballero, S., Dueñas, O., & Rolón, B. (2019). El plástico y sus dos caras. *Convicciones*, 49-52. Obtenido de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/convicciones/article/view/522>

- Cárdenas, R., Segovia, E., & Amores, B. (2023). La impresión 3D desde el proceso de formación de estudiantes de Tecnología Superior en Electromecánica. *Maestro y Sociedad*, 20(3), 845-851. Obtenido de <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6133>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía Circular. *Economía Industrial*, 11-20. Obtenido de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>
- Cobos, M., Mata, M., Hernández, D., & Ferrera, R. (2011). Envases de Polietileno Tereftalato molidos y su función como sustituto de fibra en la dieta de borregos. *Agrociencia*, 45(1), 33-41. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n1/v45n1a4.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Comisión Europea. (2015). *Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*. Bruselas. Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF
- Comisión Europea. (2022). *Pacto Verde Europeo: fin del despilfarro de envases, impulso de la reutilización y el reciclado*. Brussels. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_7155?fbclid=IwAR17DTjpv2Z22Wf8tQ73xYvoQ7yjuvXVeT8kZhrYDEri9eMkrz4XJrS-eAA

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Coral, A., & Izquierdo, D. (2021). Extrusora de filamento de impresión 3D con reciclado de botellas PET-G para prácticas de prototipado en laboratorios AUNAR. *Corporación Universitaria Autónoma de Nariño*, 19-24. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12276/1150>
- Coronel, A., & Ramón, G. (2022). Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 8(1), 222-247. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i1.2487>
- Deaquiz, Y., & Moreno, B. (2016). Producción y biosíntesis de fibras vegetales. Una revisión. *Conexión Agropecuaria*, 6(1), 29-42. Obtenido de <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/53/51>
- Díaz, D., & Crespo, L. (2022). Optimización de la mezcla entre LDPE y PLA para la caracterización de empaques plásticos de un solo uso. *Metalnova*, 5(1), 37-41. doi:<https://doi.org/10.22022/metalnova.v5i1.5007>
- Druetta, B., & Fazi, F. (2018). Extrusora de monofilamento para impresión 3D. *Tesis de grado*. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/8912/PI-Druetta%20y%20Fazi.pdf?sequence=1>
- Espino, M., & Koot, Y. (2020). Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 146-160. doi:<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>

- Garabiza, B., Prudente, E., & Quinde, K. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Espacios*, 222-237. doi:10.48082/espacios-a21v42n02p17
- García, L. (2014). Estudio de residuos sólidos no peligrosos y su impacto socio-ambiental en habitantes de la Isla Santay, Cantón Durán, Período 2013. *Tesis de grado*. Obtenido de <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/1410/1/ULEAM-POSG-GA-0034.pdf>
- Gómez, É., González, N., & Simmonds, M. (2019). El plástico como una amenaza al presente y futuro de la vida en la tierra. *Ensayos sobre Estrategia Marítima*, 3(10). doi:<https://doi.org/10.25062/2500-4735.2349>
- Gómez, J., & Gutiérrez, J. (2007). Diseño de una extrusora para plásticos. *Tesis de grado*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/145b2ecf-d956-4b4e-b2f5-5406d77c76fe/content>
- Gonzalez, D., & Medina, L. (2023). Análisis de los modelos de economía circular para el aprovechamiento de residuos plásticos PET en Bogotá. *Tesis de grado*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9180/1/3172421-2023-1-II.pdf>
- INEC. (2022). *Guayaquil Social en Cifras*. Quito. Obtenido de <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- Jiménez, A., Puerta, J., Gómez, J., & Jiménez, Y. (2017). Influencia de las propiedades de la materia prima en el desempeño del proceso de extrusión.

- Revista de Ingeniería Energética*, 40(1), 73-80. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v40n1/1815-5901-rie-40-01-73.pdf>
- Lazo, J. (2021). Mejoramiento de la procesabilidad del PET reciclado: Evaluación de mezclas poliméricas para mitigar degradación y mejorar estabilidad en la extrusión de filamento de impresión 3D con PET posconsumo. *Tesis de grado*. Universidad EAFIT, Medellín. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/30741/JoseRoberto_LazoLobo_2021.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva. (2021). *Registro Oficial 488*. Obtenido de <https://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/4S488.pdf>
- Ley Orgánica para la Racionalización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso. (2020). *Registro Oficial 354*. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/1.-Ley-de-plasticos-R.Oficial.-21.12.2020-Comprimido.pdf>
- Manzanos, G., & García, C. (2018). Aprovechamiento de los residuos plásticos generados en el Municipio de Arauca desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible. *Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo*. Obtenido de https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/3414/ARTICULO.Aprovechamiento%20de%20Residuos%20Plásticos%20Arauca_VF.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Massachusetts Institute of Technology. (2022). *Circular economy: benefits and challenges for companies and individuals*. Obtenido de

<https://professionalprograms.mit.edu/es/blog/sostenibilidad/economia-circular/>

- Melo, C., García, L., & Castillo, G. (2022). De la economía lineal a la economía circular, transformaciones en el manejo de los residuos sólidos. *Ciencia Latina*, 6(4), 52-82. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2516
- Mendoza, R., Buelvas, E., Fabregas, J., Niebles, E., & Barreto, C. (2020). Análisis de la cadena de valor del reciclaje de plástico. Un caso de estudio en el departamento del Atlántico (Colombia). *Espacios*, 41, 14-25. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/343599147_Analysis_of_the_value_chain_of_plastic_recycling_A_case_study_of_the_department_of_Atlantico_Colombia?enrichId=rgreq-da0d03f54bfd6286c5a2162afec9dd29-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0MzU5OTE0NztBUzo5MjM1M
- Miño, R., & Molina, R. (2019). Estudio de mercado para determinar la producción y comercialización de filamentos para impresión 3D a base de Polietileno Tereftalato (PET) en la ciudad de Guayaquil. *Tesis de grado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52960/1/T-111214.pdf>
- Murillo, C., Del Valle, S., Volkmar, D., & Zapata, L. (2023). Fabricación de filamentos de impresión 3D con ácido poliláctico comercial y reciclado rellenos con residuos de café. *Revista ION*, 36(2), 7-13. doi:<https://doi.org/10.18273/revion.v36n2-2023001>
- National Geographic. (2018). *National Geographic y la lucha contra el plástico*. Obtenido de http://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico_12710

- Navarro, J., & Torres, Y. (2022). Desarrollo de un prototipo de máquina recicladora de polímeros para la elaboración de filamento para impresión 3D. *Tesis de grado*. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17645/2022_Tesis_Juan_David_Navarro%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Obregón, V., Bermúdez, S., & Palencia, C. (2023). Elaboración de filamento a base de botellas recicladas PET para el insumo de impresoras 3D. *LASIRC*, 6(1), 10-13. Obtenido de <https://fundacionlasirc.org/images/Revista/REVISTALASIRCVolumen6No1.pdf>
- Oliva, S. V. (2018). La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro. *Unizar*, 123 - 135. Obtenido de https://zaguan.unizar.es/record/70820/files/texto_completo.pdf
- ONU. (2015). *ONU*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ordoñez, K., Coral, D., Rodríguez, J., Dios, J., & Mosquera, E. (2023). Pirólisis del tereftalato de polietileno y poliestireno para la síntesis de nanoestructuras de carbono: una revisión bibliométrica. *Revista UIS ingenierías*, 22(2), 29-42. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v22n2-2023003>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Revista Internacional de Morfología*, 35(1), 227-232. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Palacios, M. (2017). *Diseño y puesta en marcha de nuevos filamentos cargados para su uso en impresión 3D*. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/95313/PALACIOS%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20nuevos%20filamentos%20cargados%20para%20su%20uso%20en%20impresion%203D.pdf>

Pérez, Á., Ferrás, E., Pérez, M., & Fernández, J. (2014). Síntesis, caracterización y propiedades de nylons 5,m. *Revista Cubana de Química*, 26(3), 166-180.

Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543739002.pdf>

Ramsar. (2000). *Servicio de Información sobre Sitios Ramsar*. Obtenido de <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1041?language=es>

Reynoso, S. (2018). *Los polímeros plásticos*. Ciudad de México, DF. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fmZhEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA16&dq=polimeros+plasticos&ots=Q-ouv-nBw9&sig=PnTAjrjsGSJUPS5BS0PFNzH53IM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Rocha, D., Pérez, C., & Villanueva, J. (2020). Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 49-65. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.4643>

Rodríguez, D., Mosquera, X., & Vega, A. (2022). Análisis de la aplicación del modelo de economía circular en las empresas del Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 127-137. Obtenido de <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/478/493>

Rubina, M., Padilla, J., & Gutiérrez, C. (2021). Conciencia ambiental desde la educación: Estado del Arte. *Revista Iberoamericana de educación*, 1(3), 5-34. doi:<https://doi.org/10.31876/ie.vi.117>

- Santurde, L., & Castro, R. (2021). La aportación de la Economía Circular a los ODS frente a las limitaciones del sistema lineal. *Revista Iberoamericana de Economía Solidaria e Innovación Socioecológica*, 149-170. Obtenido de <http://www.uhu.es/publicaciones/ojs/index.php/RIESISE/article/view/5185>
- Serrano, E., Bazurto, N., Dávila, L., Aizaga, G., & Vera, M. (2021). *Reutilización de PET para la producción de filamento de impresión 3D en la Ecoaldea de la Isla Santay*.
- Torres, Á. (2020). Riqueza y abundancia de mamíferos en el Área Nacional de Recreación Isla Santay, Guayas, Ecuador. *Mammalia Aequatorialis*, 2(90). doi:<https://doi.org/10.59763/mam.aeq.v2i.23>
- United Nations Environment Programme. (2021). *From pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution*. Nairobi. Obtenido de <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>
- Valarezo, M., & Ruiz, L. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, 203-209. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/1265/1074>
- Valarezo, M., & Ruiz, L. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, 12(2), 203-209. doi:<https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265>
- Valdivia, C. (2020). Impresoras 3D: el futuro del modelado. *ACTA*, 1-20. Obtenido de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/074001.pdf
- Vargas, N. (2023). Diseño de sistema embebido para máquina de reciclaje de PET. *Elektron*, 34-39. doi:<https://doi.org/10.37537/rev.elektron.7.1.179.2023>

9. ANEXOS

Figura 6

Máquina procesadora de botellas plásticas PET a filamento para impresión 3D



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 7

Área Nacional de Recreación Isla Santay

Elaborado por: El autor, 2023

Figura 8

Ecoaldea San Jacinto de Santay, puntos de ubicación de tachos



Elaborado por: El autor, 2023

Figura 9

Instalación de tachos plásticos en la Ecoaldeia para la realización del inventario físico in situ de residuos plásticos



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 10

Visita de campo a la Ecoaldeia, junto con tutora del presente proyecto de titulación, Oce. Leila Zambrano.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 11

Monitoreo de residuos plásticos en la Ecoaldeia



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 12**Proceso de extrusión del PET****Elaborado por: El autor, 2024****Figura 13****Filamento resultado de la extrusión del PET reciclado****Elaborado por: El autor, 2024**

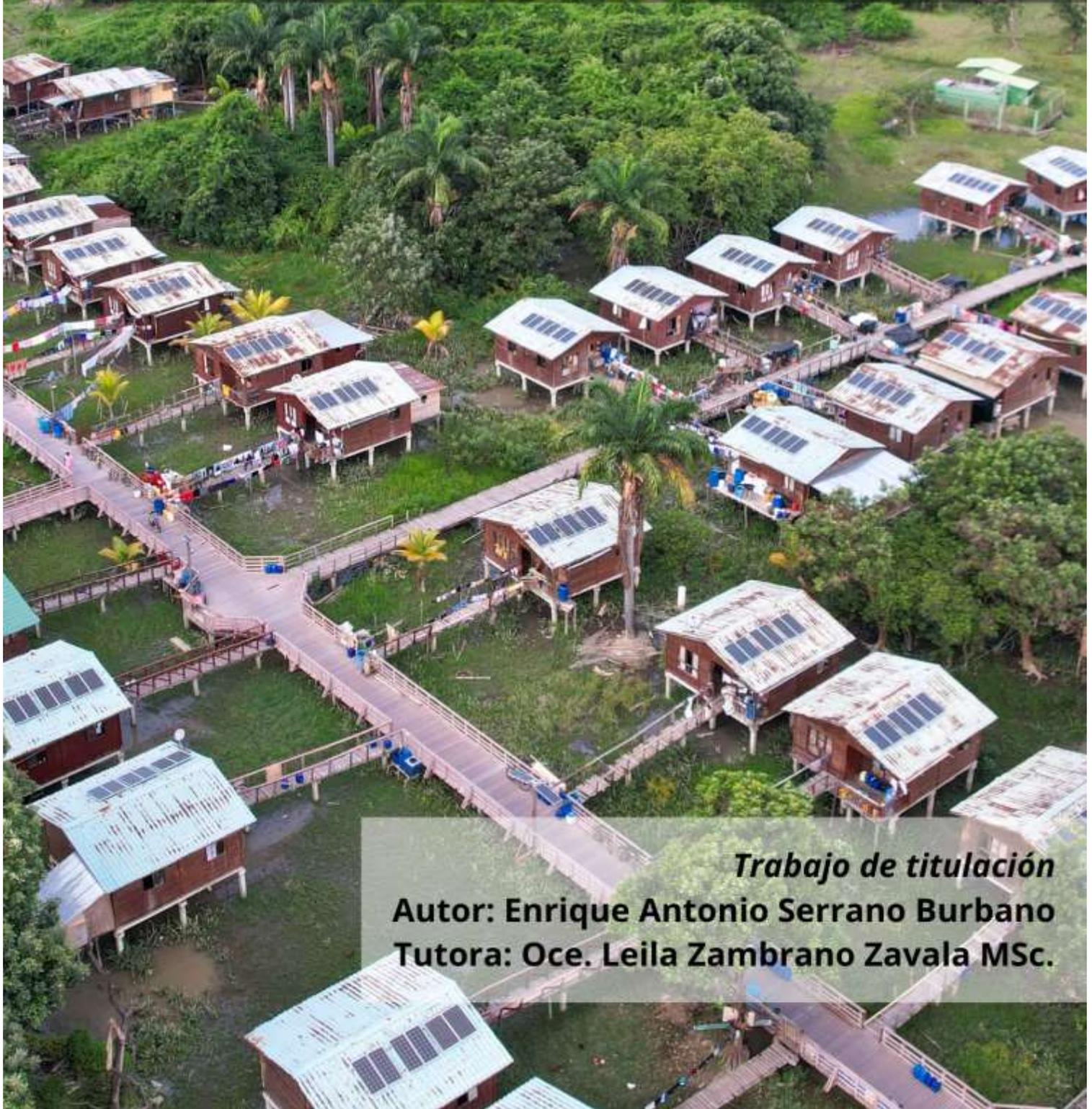
Figura 14

Resultado de la impresión 3D con el filamento de PET reciclado



Elaborado por: El autor, 2024

PLAN DE ECONOMÍA CIRCULAR SOBRE PLÁSTICOS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) PARA LA ECOALDEA DE LA ISLA SANTAY



Trabajo de titulación

Autor: Enrique Antonio Serrano Burbano

Tutora: Oce. Leila Zambrano Zavala MSc.

Anexo N° 1: Plan de economía circular sobre plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) para la Ecoaldea de la Isla Santay

Elaborado por: El Autor, 2024

1. DESCRIPCIÓN.....	84
2. OBJETIVOS.....	85
3. EJES Y LÍNEAS DE ACTUACIÓN	85
3.1 Eje de actuación “Gestión Integral de los Residuos de tipo PET”	85
3.1.1 <i>Educación ambiental</i>	85
3.1.2 <i>Infraestructura y recursos materiales</i>	86
3.1.3 <i>Porcentaje de los residuos plásticos en la Ecoaldea San Jacinto de Santay</i>	86
3.1.4 <i>Incentivos para la Gestión Sostenible de Residuos Plásticos PET en la Ecoaldea de la Isla Santay</i>	87
3.1.5 <i>Control y Vigilancia de los residuos plásticos de tipo PET</i>	88
3.2 Eje de actuación “Materias primas secundarias”	89
3.2.1 <i>Transformación de las botellas de tipo PET a filamento de impresión 3D...</i>	89
3.2.2 <i>Requisitos para poder ser clasificado como subproducto</i>	91
3.2.3 <i>Condiciones para que un residuo deje de ser considerado como tal</i>	91
3.2.4 <i>Otros subproductos del PET dentro de la Economía Circular</i>	92
3.3 Eje de actuación “Investigación, Innovación y Competitividad”	92
3.3.1 <i>Fomentando la Conciencia Ambiental en la Isla Santay: Un Plan Educativo Integral</i>	93
3.4 Eje de actuación “Participación y Sensibilización”	94
3.4.1 <i>Campaña digital “Santay Circular”</i>	95
3.5 Eje de actuación “Empleo y Formación”	95
3.5.1 <i>Plan de trabajo para implementar un emprendimiento sostenible en la Isla Santay: Fabricación de Filamento de Impresión 3D a partir de Botellas Plásticas PET</i>	96
4. PROPUESTA ECONÓMICA.....	102
5. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN	103
6. BIBLIOGRAFÍA.....	105

PLAN DE ECONOMÍA CIRCULAR SOBRE PLÁSTICOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) PARA LA ECOALDEA DE LA ISLA SANTAY

1. DESCRIPCIÓN

El presente Plan de Economía Circular sobre Plásticos de Tereftalato de Polietileno (PET) para la Ecoaldea de la Isla Santay se centra en conservar el valor de los productos de este tipo que se encuentran en circulación, durante períodos prolongados, por medio de una gestión adecuada y la implementación de herramientas que brinden un nuevo uso para los residuos, como lo es la transformación a filamento de impresión 3D. Este enfoque busca minimizar la generación de PET, maximizar su utilización y transformarlo a un nuevo material.

La idea fundamental es establecer las bases para un cambio significativo en la forma en que los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay interactúan con los recursos disponibles en el entorno. En lugar de adoptar el modelo de economía lineal tradicional de “usar y desechar”, se promueve una mentalidad de aprovechamiento responsable de los plásticos de tipo PET, y una visión de que se puede sacar provecho de los residuos. Esto implica un cambio de paradigma en las actitudes y hábitos de los consumidores.

Al prolongar la vida útil de estos productos se fomenta el reciclaje, la reutilización y la transformación en lugar de la simple eliminación. Además, se promueve la adopción de prácticas sostenibles que consideren el ciclo de vida completo de estos productos, desde su fabricación hasta su disposición final.

El filamento de impresión 3D fabricado a partir de botellas plásticas de tipo PET representa un gran avance que combina la tecnología con la sostenibilidad, ofreciendo beneficios económicos y ambientales importantes.

Se aspira a reducir la presión sobre los recursos naturales finitos y minimizar el impacto ambiental asociado con la extracción, producción y eliminación de productos.

La implementación de este nuevo modelo de producción y consumo requerirá la colaboración de múltiples actores, incluidos los habitantes de la Ecoaldea; la Academia; personal del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica; y voluntarios.

De la mano de este plan de economía circular se busca encaminar a la comunidad de la Ecoaldea hacia la prosperidad, alcanzando la armonía con la salud del planeta.

2. OBJETIVOS

Se establecen los siguientes objetivos del plan:

- Reducir la generación de residuos de tipo PET en la Ecoaldea San Jacinto de Santay, fomentando la reutilización de los plásticos PET.
- Transformar el PET a filamento para impresión 3D.
- Crear una nueva actividad económica para la Ecoaldea San Jacinto de Santay

3. EJES Y LÍNEAS DE ACTUACIÓN

3.1 Eje de actuación “Gestión Integral de los Residuos de tipo PET”

La Isla Santay, un remanso natural situado en el medio del Río Guayas, enfrenta un desafío creciente: la gestión de los residuos. Ante esta problemática, se erige un eje de actuación crucial en el plan de economía circular: la gestión integral de residuos de tipo PET.

Este eje de actuación implica una transformación profunda en la manera en que los habitantes de la Ecoaldea San Jacinto de Santay consumen y desechan los productos. En el caso específico de los plásticos PET, ampliamente utilizados en envases de bebidas, su disposición final inadecuada representa una amenaza para el ecosistema de la isla, la cuenca del Río Guayas y la salud de las familias.

Semanalmente los moradores adquieren grandes cantidades de botellas plásticas de tipo PET, esto se debe a que es un envase de fácil transporte desde Guayaquil o Durán hacia la isla, y también de práctico almacenamiento.

Para una correcta gestión de los residuos en la Isla se requiere de la colaboración de distintos actores, y los principales son los aldeanos.

3.1.1 *Educación ambiental*

La mayoría de los habitantes de la isla tiene tan solo una formación académica primaria, por lo que fomentar la educación ambiental es indispensable. Sería en vano implementar un plan de gestión de residuos y economía circular sin antes tener la base de la cultura ambiental. Solo conociendo el verdadero daño hacia el ecosistema, provocado por una mala disposición de los desechos, se puede desarrollar planes que sean implementados a conciencia.

En el eje #4 se describe la manera en la que se podría avanzar en materia de educación a través de un plan educativo integral.

3.1.2 Infraestructura y recursos materiales

Una infraestructura apropiada de recolección selectiva y reciclaje de los plásticos PET es esencial para la correcta gestión de estos residuos. Puntos de acopio estratégicamente ubicados en la isla facilitarían la separación en origen. Actualmente ya existen 3 recipientes de recolección de botellas plásticas dentro de la Ecoaldea, los cuales han sido instalados por el MAATE, el primero se encuentra en la entrada junto a los locales de comida y los baños, el segundo está afuera del restaurante principal y el tercero se encuentra antes de llegar al muelle. Sin embargo, estos no se abastecen para recolectar la gran cantidad de botellas PET que se desechan semanalmente, por lo que se debería aumentar el número de puntos y distribuirlos equitativamente alrededor de la Ecoaldea, de manera que sea más accesible para cada familia.

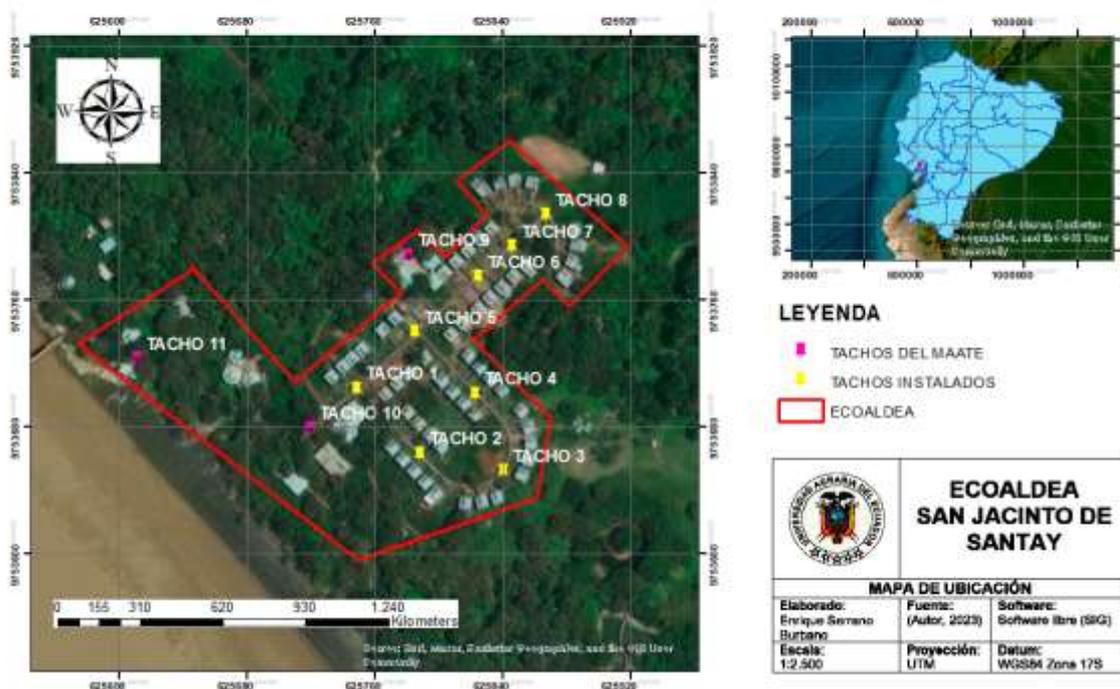
De la mano se debe implementar un esquema de recolección y disposición final de estos residuos que sea llevado a cabo de manera formal, con un cronograma estructurado, incluyendo días y horarios de recogida; así como también especificar el lugar o empresa recicladora donde irán a parar estos una vez que salgan de la isla. Es importante mencionar que antes de implementarlo se debe socializarlo con los habitantes, y tener espacios de diálogo periódicamente con la finalidad de responder inquietudes y recibir sugerencias.

3.1.3 Porcentaje de los residuos plásticos en la Ecoaldea San Jacinto de Santay

Según los resultados obtenidos en el inventario físico in situ de residuos plásticos realizado por el investigador; el 79,41% de los que se desecha semanalmente en la Ecoaldea es PET en forma de botellas de bebidas. Para lograr los resultados esperados en el proceso de inventario se tuvo que aumentar el número de puntos de acopio, sumándose 8 puntos ubicados estratégicamente alrededor de la comunidad.

En el mapa a continuación se puede observar la distribución de los puntos con los que se trabajó en el inventario, aquellos que corresponden del 1 al 8 fueron los que se sumaron a los 3 que ya existían, estos comprenden del 9 al 11.

ECOALDEA SAN JACINTO DE SANTAY



Elaborado por: El autor, 2024

Esta información se puede tomar como referencia para aumentar la cantidad de puntos de recolección y ubicarlos de manera estratégica. Los 8 recipientes que fueron implementados se distribuyeron tomando en cuenta la cantidad de viviendas y por medio de un muestreo aleatorio sistemático se definió los sitios más favorables.

Los tachos se situaron afuera de las viviendas, en el pasillo que conecta a toda la Ecoaldea, lo que favoreció a la recolección puesto que se encontraban más cerca de las casas. Creando también un sentido de responsabilidad de cada familia hacia los recipientes, puesto que de ellos dependía si estos se encontraban en buenas condiciones y si los residuos no quedaban regados fuera de los mismos.

3.1.4 Incentivos para la Gestión Sostenible de Residuos Plásticos PET en la Ecoaldea de la Isla Santay

Los incentivos son clave para motivar a las personas de la isla a que participen de manera activa en los procesos de recolección, reciclaje y reducción del PET. Por lo que se propone llevar a cabo los siguientes elementos:

3.1.4.1. Programa de Recolección y Reciclaje.

Establecer un programa de recolección de residuos plásticos PET en sitios estratégicos de la Ecoaldea, como la escuela “Jaime Roldós Aguilera”, la casa comunal, la entrada a la Ecoaldea, el punto de información ambiental, el muelle, la oficina de administración, entre otras áreas públicas. Se propone que los habitantes reciban incentivos por entregar botellas tipo PET limpias y listas para ser recicladas. Por cada cantidad de envases recolectados, los participantes podrían acumular puntos canjeables por productos o servicios de la comunidad.

3.1.4.2. Banco de Reciclaje.

De la misma forma en que se estructura el programa antes descrito podría funcionar el Banco de Reciclaje, con la única diferencia que en vez de que los participantes acumulen puntos canjeables por productos o servicios, estos pueden recibir una compensación económica directa.

3.1.4.3. Premios y Reconocimientos.

Organizar eventos anuales que sean con el objetivo de premiar a los líderes destacados en la gestión de residuos plásticos PET. Otorgando premios en efectivo, certificados de reconocimiento y oportunidades de capacitación en temas relacionados con el ambiente y el desarrollo sostenible.

3.1.4.4. Fomentar el Emprendimiento Sostenible.

Con la ayuda del MAATE se podría brindar apoyo y asesoramiento a los emprendedores locales que tengan planes de desarrollar negocios relacionados con el reciclaje y la reutilización de los residuos, como lo es la comercialización de filamento de impresión 3D fabricado a partir de botellas de tipo PET.

Ofreciendo incentivos como acceso a recursos y capacitación empresarial para impulsar la creación de empleo y el desarrollo económico de la Ecoaldea.

3.1.5 Control y Vigilancia de los residuos plásticos de tipo PET

Una administración efectiva de los residuos, que siga los principios de la Economía Circular, implica varios aspectos que deben ser abordados con diligencia y precisión. Como primer punto se debe contar con datos confiables de la cantidad de productos introducidos a la isla, permitiendo calcular de manera precisa el volumen de los residuos que se generan, así como también realizando inventarios constantes como el que fue llevado a cabo por el investigador.

La trazabilidad en la gestión de los residuos es indispensable para asegurar una correcta manipulación y minimizar el impacto en la salud de la población y del medio

ambiente. Para ello se debe establecer sistemas que brinden seguimiento y control, de manera que se identifique el origen y destino de los residuos. Al reforzar la trazabilidad también se agiliza la reincorporación de materiales reciclables a los ciclos de producción y consumo, de manera que se cierre el círculo y disminuya la dependencia de los recursos naturales no renovables.

Es necesario implementar un sistema integral de inspecciones y vigilancia, garantizando el cumplimiento efectivo de las regulaciones y normativas relacionadas con el transporte y tratamiento final de los residuos.

3.2 Eje de actuación “Materias primas secundarias”

La Economía Circular se sustenta en la reintegración de materias primas secundarias en el ciclo de producción, siendo un proceso vital que debe realizarse de manera segura y responsable. Es crucial que esta reintroducción se lleve a cabo en ubicaciones geográficas cercanas, de manera que se minimice el impacto ambiental asociado al transporte.

Esta práctica no solo busca reducir la dependencia de las materias primas tradicionales, sino que también impulsa el suministro de alternativas ambiental y económicamente viables, promoviendo la creación de una economía más resiliente y sostenible.

3.2.1 Transformación de las botellas de tipo PET a filamento de impresión 3D

Las tecnologías de impresión 3D cada vez son más variadas y según las estadísticas van en ascenso, de manera que cada vez nacen más actores económicos y el impacto que se tiene en cuanto a los materiales usados en el proceso, dentro de los modelos de negocio y en la sociedad puede llegar a ser de gran magnitud. La tecnología 3D cada vez ofrece mayores oportunidades gracias a su libertad y diseño, adaptándose a las distintas industrias (Oliva, 2018).

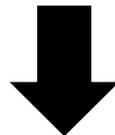
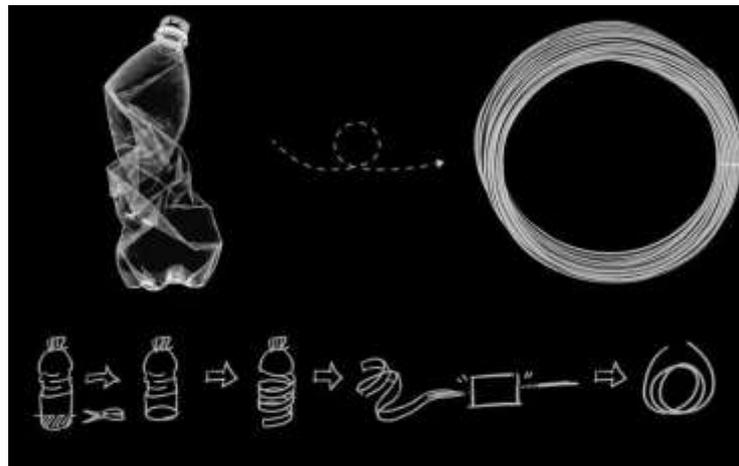
El filamento de impresión 3D fabricado a base de botellas de tipo PET recicladas se posiciona como una materia prima secundaria, representando una práctica innovadora en el campo de la impresión tridimensional. Este enfoque no solo llega a contribuir al medio ambiente reduciendo la cantidad de residuos de este tipo, sino que también generan beneficios de carácter económicos, sociales y tecnológicos.

El reciclaje de estos plásticos reduce la necesidad de utilizar materias primas vírgenes, lo que disminuye los costos de producción. De manera que se pueden

posicionar precios que sean más competitivos en el mercado, haciéndolo más accesible para una amplia gama de usuarios.

Desde el punto de vista tecnológico, la fabricación de este tipo de material abre nuevas posibilidades en el campo de la impresión 3D. Siendo un producto versátil y duradero, se convierte en una opción atractiva para aquellos que buscan una alternativa sostenible y rentable en este campo tecnológico.

El impacto social que representaría para la Ecoaldea sería significativo, de manera que se contribuiría a la generación de empleo en el sector de la gestión de los residuos y la Economía Circular, aportando al desarrollo económico local.



3.2.2 Requisitos para poder ser clasificado como subproducto

Es importante conocer si el filamento de impresión 3D fabricado a partir de botellas plásticas de tipo PET se puede considerar como un subproducto, por lo que se tomó en base a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, de España (BOE, 2011); para que un residuo de producción pueda ser clasificado como un subproducto debe de cumplir los siguientes requisitos:

Artículo 4. Subproductos.

1. Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo definido en el artículo 3, apartado a), cuando se cumplan las siguientes condiciones:
 - a) Que se tenga la seguridad de que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente,
 - b) Que la sustancia u objeto se pueda utilizar directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial habitual,
 - c) Que la sustancia u objeto se produzca como parte integrante de un proceso de producción, y
 - d) Que el uso ulterior cumpla con todos los requisitos pertinentes relativos a los productos, así como a la protección de la salud humana y del medio ambiente, sin que produzca impactos generales adversos para la salud humana o el medio ambiente.

Por lo revisado anteriormente se puede afirmar que el filamento de impresión 3D fabricado con botellas de tipo PET recicladas, si es un subproducto.

3.2.3 Condiciones para que un residuo deje de ser considerado como tal

En base a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, de España (BOE, 2011); para que un residuo deje de ser considerado como tal debe de cumplir los siguientes requisitos:

Artículo 5. Fin de la condición de residuo.

1. Por orden del Ministro de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino se podrán establecer los criterios específicos que determinados tipos de residuos, que hayan sido sometidos a una operación de valorización, incluido el reciclado, deberán cumplir para que puedan dejar de ser considerados como tales, a

los efectos de lo dispuesto en esta Ley y siempre que se cumplan con las siguientes condiciones:

- a) Que las sustancias u objetos resultantes se usen habitualmente para finalidades específicas;
- b) Que exista un mercado o una demanda para dichas sustancias u objetos;
- c) Que las sustancias u objetos resultantes cumplan los requisitos técnicos para finalidades específicas, la legislación existente y las normas aplicables a los productos; y
- d) Que el uso de la sustancia u objeto resultante no genere impactos adversos para el medio ambiente o la salud.

Según la normativa legal internacional se puede afirmar que el filamento de impresión 3D fabricado en base a botellas plásticas de tipo PET cumple con lo establecido, de manera que no es considerado como un residuo.

3.2.4 Otros subproductos del PET dentro de la Economía Circular

El filamento de impresión tridimensional es un subproducto ideal que combina la tecnología con la sostenibilidad, sin embargo, existe una amplia gama de otros tipos de aplicaciones que se pueden poner en práctica con este material reciclado, empleando distintos tipos de procesos. A continuación, se mencionan algunas de ellas:

- a) Tela reciclada
- b) Materiales de aislamiento
- c) Componentes para mobiliario urbano
- d) Materiales de empaque
- e) Lámparas ecológicas

3.3 Eje de actuación “Investigación, Innovación y Competitividad”

Este eje de actuación juega un papel fundamental en la transición hacia una Economía Circular efectiva y sostenible. Para lograr una transformación equilibrada y funcional hacia este nuevo modelo económico, es necesario implementar políticas, acciones y medias que fomenten la investigación, el desarrollo y la innovación en cada una de las partes. Impulsando la generación y aplicación de nuevos conocimientos y tecnologías, así como promover la innovación en procesos, servicios y modelos de negocio, de manera que se fortalezca la competitividad de la economía en el contexto global.

La investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) en el campo de la Economía Circular es indispensable para abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos que enfrenta la sociedad moderna. Esto implica la creación de un entorno que sea propicio para la colaboración entre las instituciones de investigación, empresas, sector público y la sociedad civil, de manera que se puedan generar soluciones innovadoras y sostenibles que contribuyan a la transición hacia un modelo económico más circular y resiliente.

Es fundamental invertir en proyectos de investigación que aborden los criterios clave de la Economía Circular, como el diseño de productos y servicios ecoeficientes, la gestión sostenible de los recursos naturales, la optimización de los procesos industriales y la implementación de sistemas de reciclaje y reutilización de residuos.

Además, es relevante promover la colaboración entre el sector público y privado dentro del ámbito de la investigación y la innovación en el marco de la Economía Circular. Esto se puede llevar a cabo con la ayuda de programas de financiación y apoyo a la I+D+i, la formación de alianzas estratégicas entre empresas y centros de investigación. Al trabajar de la mano el sector público y privado se pueden aprovechar las sinergias y los recursos complementarios para impulsar la adopción de soluciones sostenibles a gran escala.

3.3.1 Fomentando la Conciencia Ambiental en la Isla Santay: Un Plan Educativo Integral

Dentro del marco de la investigación, innovación y competitividad se propone el siguiente Plan Educativo Integral, que permitiría elevar el nivel educativo y fomentar una profunda conciencia sobre la importancia de conservar y proteger el entorno natural.

El plan se basa en 3 pilares fundamentales: educación formal, educación no formal y participación comunitaria.

3.3.1.1. Educación Formal

El primer paso es garantizar el acceso a la educación básica para todos los habitantes de la Isla Santay. Actualmente la isla cuenta con la escuela de educación básica “Jaime Roldós Aguilera”, sin embargo, algunos niños por la falta de recursos en sus hogares se ven obligados a trabajar y no asisten a clases. Otros solo asisten hasta culminar la escuela, los adolescentes tienen que asistir a colegios en Guayaquil o Durán. Es importante realizar campañas de socialización acerca de la

importancia de la formación educativa y hacer énfasis en las oportunidades a futuro que pueden tener los jóvenes, siendo estos el futuro del país.

3.3.1.2. Educación No Formal

La educación no formal desempeña un papel crucial en la sensibilización y el compromiso con la conservación ambiental. Se recomienda la implementación de talleres, charlas y actividades prácticas que sean puestas en práctica con la colaboración del MAATE, instituciones educativas, ONGs y demás. Estos programas deberían abordar temas como la importancia de la biodiversidad, la gestión de residuos, el uso responsable de los recursos naturales y cambio climático.

3.3.1.3. Participación Comunitaria

La participación activa de la comunidad es esencial para el éxito a largo plazo de cualquier iniciativa de educación ambiental. Con la ayuda de la administración interna de la Ecoaldea se podrían crear espacios donde se pueda contribuir con ideas, sugerencias y proyectos relacionados con la conservación del medio ambiente.

Se recomienda implementar actividades de voluntariado, como jornadas de limpieza de las orillas y las partes internas de la isla, que fomenten el sentido de responsabilidad hacia el entorno natural.

El ecoturismo podría ser otra herramienta de participación con la comunidad en la que se busca minimizar el impacto ambiental y maximizar los beneficios para la Ecoaldea y la conservación de la naturaleza. Esta forma de conocer la isla se centraría en la apreciación y protección de los ecosistemas, promoviendo la educación ambiental, la sostenibilidad y el respeto por la biodiversidad; mientras se conecta con el entorno.

3.4 Eje de actuación “Participación y Sensibilización”

Por medio de las herramientas de sensibilización se busca guiar la oferta y demanda hacia materiales que formen parte del marco de la sostenibilidad, la utilización de los recursos naturales y los criterios de una Economía Circular, esto se podría alcanzar por medio de la utilización de plataformas y canales de difusión.

Es crucial sensibilizar a la población sobre los principios y beneficios de la Economía Circular como una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

3.4.1 Campaña digital “Santay Circular”

Las plataformas digitales actualmente se encuentran al alcance de todo público, por lo que son una herramienta clave para la participación y sensibilización.

Por lo que se propone “Santay Circular” un canal de comunicación dedicado, en forma de sitio web o aplicación móvil, donde la comunidad en general pueda obtener información actualizada sobre los programas ambientales que se llevan a cabo en la isla, como la producción de filamento de impresión 3D a partir de botellas plásticas de tipo PET, y así poder participar en actividades relacionadas. Este canal también podría servir como un espacio para compartir noticias, historias de éxito y consejos de buenas prácticas ambientales.

Implementar este canal de difusión ayudará a que este tipo de proyectos puedan llegar a un público más amplio y diverso, garantizando que todo el esfuerzo en materia ambiental de los residentes de la Ecoaldea sea contado abiertamente.

Este tipo de plataformas también podría ser utilizado como medio para realizar el marketing del filamento de impresión 3D fabricado por los habitantes de la isla.

3.5 Eje de actuación “Empleo y Formación”

El proceso de transición hacia una Economía Circular necesitará de mano de obra capacitada en ejes específicos, que sea capaz de moldearse a los cambios dentro del mercado laboral y que busque la obtención de nuevas oportunidades.

Es imprescindible integrar la Economía Circular en políticas de empleo y formación, asegurando que los trabajadores se encuentren capacitados para este nuevo modelo económico. Esto conlleva mejorar la formación en distintas áreas, desde el diseño de los productos y procesos circulares hasta la gestión de cadenas de suministro y la implementación de modelos de negocio basados en la circularidad. Cada uno de los actores involucrados deben tener en cuenta estos aspectos para impulsar la adopción generalizada de las prácticas circulares.

En esta línea el Ministerio del Trabajo y el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica deberían trabajar de la mano promoviendo la capacitación y actualización de habilidades de los colaboradores en el contexto de la Economía Circular. Esto se podría realizar por medio de programas de formación específicos, cursos de especialización y acciones de sensibilización destinadas a difundir los principios y beneficios de la Economía Circular entre la fuerza laboral.

La formación en diseño de productos y procesos circulares es fundamental para fomentar la innovación y la adopción de prácticas sostenibles. Esto implica capacitar a los habitantes de la isla en el uso de los materiales y tecnologías que se vayan a utilizar en el proceso, así como también en la optimización de recursos y reducción de los residuos en todas las etapas del ciclo de vida del producto.

3.5.1 Plan de trabajo para implementar un emprendimiento sostenible en la Isla Santay: Fabricación de Filamento de Impresión 3D a partir de Botellas Plásticas PET

Con la finalidad de que se pueda poner en práctica el emprendimiento sostenible en la Isla Santay basado en la fabricación de filamento de impresión 3D a partir de botellas plásticas PET, se ha propuesto en presente plan de trabajo, en el que se describen las áreas que conforman el modelo de negocio y los puestos de trabajo que se crearían.

Es importante recalcar que el presente plan de trabajo es una propuesta que se sugiere para la implementación y el desarrollo óptimo del plan de economía circular, mas no una imposición, este puede ser tomado como ejemplo o ser reestructurado.

3.5.1.1. Investigación y Desarrollo

Esta área desempeña un papel fundamental en la mejora continua del proceso y la innovación tecnológica. Encargados de dirigir y ejecutar investigaciones enfocadas en optimizar todos los aspectos relacionados con la producción del filamento, desde la selección de las materias primas hasta la calidad del producto final.

Se propone que 3 colaboradores podrían encargarse de esta área, cumpliendo las siguientes funciones:

- a) Director de Investigación y Desarrollo: Responsable de dirigir al equipo de investigación para optimizar el proceso de fabricación del filamento.
- b) Encargado de Procesos: Diseñar y mejorar los procesos de reciclaje y extrusión para obtener un producto final de alta calidad.
- c) Especialista en materiales: Analizar las propiedades físicas y químicas del filamento y asegurar su compatibilidad con impresoras 3D.

Es clave establecer alianzas estratégicas con universidades, centros de investigación y otras organizaciones para acceder a recursos y conocimientos

especializados, así como también para incentivar la investigación colaborativa y la transferencia de tecnología.

3.5.1.2. Producción y Operaciones

El área de producción y operaciones es crucial para llevar a cabo todas las actividades relacionadas con la transformación de materia prima en producto final. Este punto se encarga de gestionar y supervisar todas las operaciones de fabricación, asegurando la eficiencia, calidad y sostenibilidad del proceso.

Se propone que 3 trabajadores podrían desarrollar las actividades de esta área, cumpliendo los siguientes roles:

- a) Director de producción: Liderar y coordinar todas las actividades de producción. Este se encarga de la planificación de la producción, asignar recursos, supervisar el cumplimiento de los objetivos de producción, así como también, garantizar el funcionamiento óptimo de las operaciones.
- b) Operador de maquinaria y mantenimiento: Operar los equipos utilizados en el proceso de fabricación. El operador y encargado de mantenimiento debe asegurar que las máquinas funcionen correctamente y realizar ajustes según sea necesario para mantener la calidad y eficiencia del proceso, también debe realizar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo en las máquinas, gestión de los repuestos y la coordinación con proveedores.
- c) Control de calidad: Realizar pruebas y controles de calidad para asegurar que el filamento cumpla con los estándares establecidos, incluyendo la uniformidad del diámetro, la resistencia y la ausencia de defectos.

3.5.1.3. Logística

La logística y distribución se encarga de planificar, coordinar y ejecutar todas las actividades relacionadas con el transporte de materias primas, productos terminados y otros recursos necesarios para el funcionamiento eficiente del negocio.

El desarrollo de esta área puede ser llevado a cabo con la participación de 3 colaboradores que cumplan las siguientes funciones:

- a) Director de Logística: Planificar las rutas de transporte, coordinar las operaciones de carga y descarga, gestionar los contratos con proveedores de transporte y garantizar que los envíos se realicen de manera eficiente y puntual.

- b) Encargado de almacén: Gestionar el inventario de materias primas y productos terminados en el almacén. Dentro de estas tareas se encuentran recibir, inspeccionar, almacenar y distribuir los materiales de manera organizada y eficiente, de manera que se asegure que estén disponibles cuando se necesitan para la producción.
- c) Encargado de embalaje: Empaquetar y etiquetar el filamento para su distribución, asegurándose que los productos estén correctamente protegidos y etiquetados antes de ser enviados a los clientes, garantizando una presentación óptima y protegiendo la calidad del producto durante el proceso de transporte.

3.5.1.4. Marketing y Ventas

Esta área se encarga de promover el producto, identificar oportunidades de mercado y cerrar acuerdos de venta con clientes potenciales.

Se propone que 2 personas podrían encargarse de esta área, cumpliendo los siguientes roles:

- a) Director de Marketing: Diseñar estrategias de marketing para promover el producto, identificando los mercados objetivo y desarrollo de mensajes de marca por medio de campañas de marketing. El director debe capacitarse en marketing digital, creando contenido para aumentar la visibilidad de la marca y publicarlo regularmente, asegurando la interacción con la comunidad en línea.
- b) Director de Ventas: Establecer relaciones con clientes potenciales y cerrar acuerdos de venta. Esto implica identificar oportunidades clave de negocio, presentar el producto a clientes potenciales, negociar términos y condiciones y cerrar contratos de venta.

3.5.1.5. Administración y Finanzas

El objetivo de esta área es gestionar los aspectos financieros, contables y administrativos del negocio, garantizando el cumplimiento de las obligaciones legales y financieras, así como la toma de decisiones para impulsar el crecimiento y la rentabilidad del negocio.

Para esta área se propone que podría haber 2 encargados que cumplan las siguientes funciones:

- a) Director administrativo: Liderar y supervisar la gestión financiera, manejo de recursos del negocio, incluyendo el flujo de efectivo, elaboración de

presupuestos, gestión de inversiones y la evaluación de los riesgos financieros.

- b) Contador: Encargado de llevar registros financieros y elaboración de informes contables.

3.5.1.6. Sostenibilidad

Esta área se encarga de garantizar que todas las actividades y operaciones del negocio se lleven a cabo de forma responsable con el medio ambiente y que se contribuya con la sostenibilidad a largo plazo.

Se propone que para esta área haya 1 colaborador que cumpla los siguientes roles:

- a) Director de sostenibilidad: Desarrollar e implementar políticas y prácticas sostenibles, así como monitorear y evaluar el desempeño ambiental del negocio. La gestión de los residuos generados, implementando programas de reciclaje, reduciendo la generación de residuos y garantizando la correcta disposición final de estos. La isla santay tiene grandes problemas de acceso a energía, por lo que la eficiencia energética es otro de los roles, implementando medidas para mejorar la eficiencia energética en todas las operaciones del negocio, incluyendo la optimización de equipos y procesos, implementación de tecnologías más eficientes y reducción del consumo energético en general.

3.5.1.7. Recursos humanos

En esta área se gestiona el capital humano del negocio, asegurando que se cuenta con el talento adecuado y que los empleados se encuentren motivados, comprometidos y capacitados para contribuir con el logro de los objetivos organizacionales.

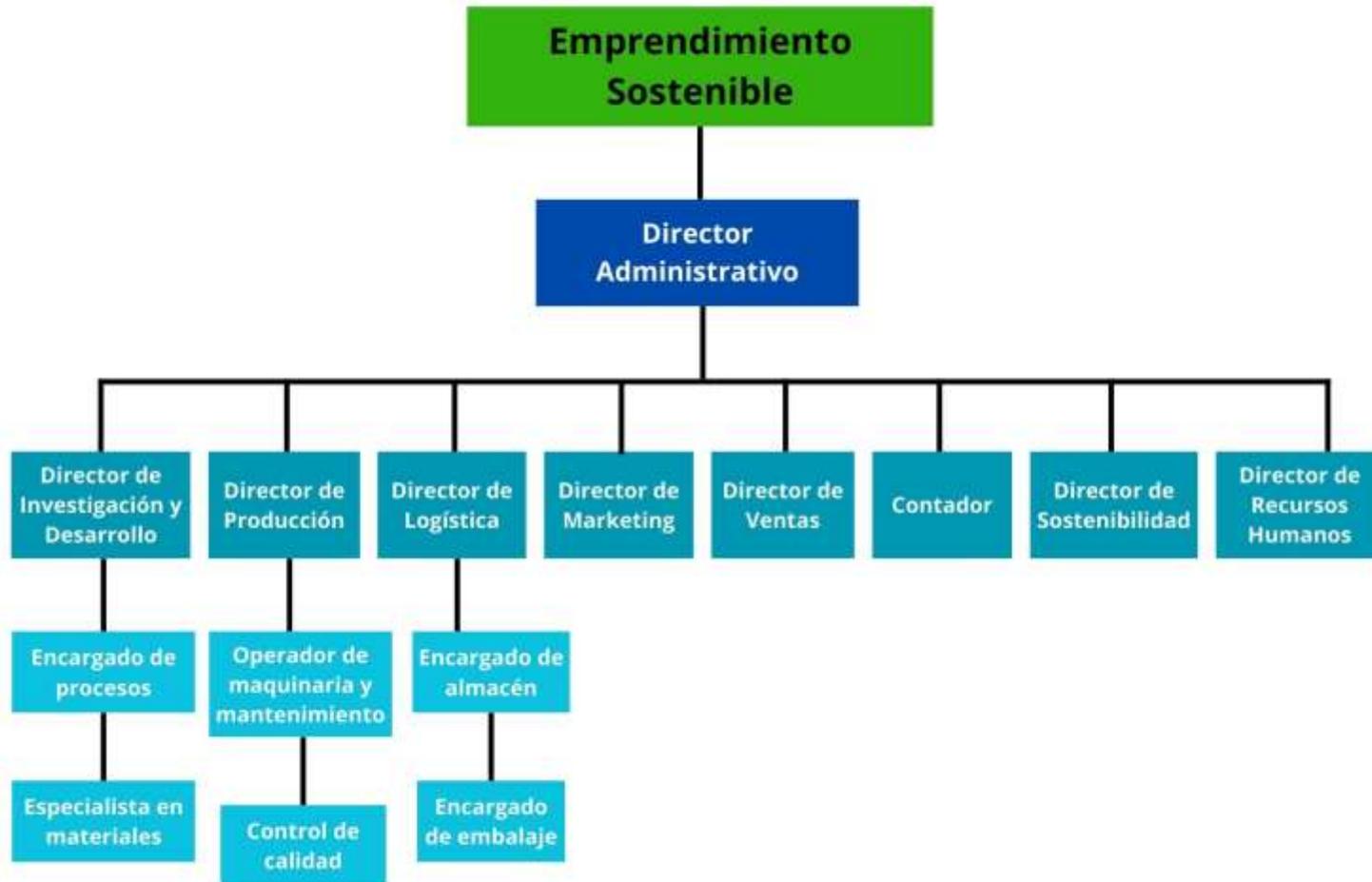
Se propone que para el desarrollo de esta área haya 1 trabajador que se encarga del cumplimiento de las siguientes funciones:

- a) Director de Recursos Humanos: Desarrollar e implementar políticas y procedimientos relacionados con la contratación, capacitación, compensación, evaluación del desempeño, desarrollo del personal y la gestión de conflictos. Reclutar y seleccionar a los candidatos más adecuadas para cubrir las vacantes, esto implica la socialización de ofertas de empleo, revisión de currículos, entrevistas y evaluación de las competencias y habilidades de los aspirantes. Diseñar programas de capacitación y desarrollo

del personal para mejorar las aptitudes de los colaboradores, gestionando su desempeño de manera regular y sistemática por medio de objetivos, metas, evaluaciones de desempeño, seguimiento del progreso y retroalimentación constructiva. Implementar medidas que promuevan el bienestar físico, emocional y social de los trabajadores, incluyendo programas de salud y seguridad ocupacional, actividades de integración y trabajo en equipo.

Para la puesta en práctica del emprendimiento sostenible es necesario la participación de 15 colaboradores que cubran las responsabilidades de las áreas descritas anteriormente. Se recomienda que estas personas sean habitantes de la Ecoaldea y que sean capacitados en materia para cumplir con los roles pertinentes.

La cantidad de trabajadores puede variar en función de la accesibilidad a formación en las distintas funciones, sin embargo, la puesta en práctica de las descritas anteriormente aseguraría el éxito del emprendimiento.



Elaborado por: El Autor, 2024

4. PROPUESTA ECONÓMICA

En la tabla a continuación se detalla la propuesta económica para que se pueda llevar a cabo el plan de economía circular, en esta se definen los componentes junto a su descripción y costos, tanto individuales como totales.

Componente	Descripción	Costo (USD)
Educación y sensibilización Ambiental	Material educativo	\$1000
	Honorarios de facilitadores	\$1500
	Campañas de difusión	\$800
	Total	\$3300
Infraestructura y recursos materiales	Puntos de acopio adicionales (10)	\$500
	Sistema de recolección	\$8000
	Mantenimiento anual	\$2000
	Total	\$10500
Transformación del PET en filamento	Maquina extrusora	\$1000
	Equipos complementarios	\$500
	Formación técnica	\$1500
	Mantenimiento anual	\$1000
	Total	\$4000
Incentivos para la gestión sostenible	Programa de recolección y reciclaje	\$1500
	Banco de reciclaje	\$2000
	Premios y reconocimientos	\$1000
	Total	\$4500
Control y vigilancia de residuos	Sistemas de seguimiento y trazabilidad	\$3000
	Inspecciones	\$1500
	Total	\$4500
TOTAL GENERAL		\$26800

Elaborado por: El autor, 2024.

Se estima que el presupuesto necesario total es de aproximadamente \$26800 para llevar a cabo de manera óptima el presente plan de economía circular durante 1 año.

Se sugiere que la financiación de este proyecto sea asumida por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, ya que es la entidad reguladora del Área Nacional de Recreación Isla Santay. El MAATE podría realizar convenios con ONG's, con la academia y con la empresa privada para que se sumen en aportar para la financiación de este proyecto.

5. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

En la tabla siguiente se describe el cronograma de implementación, el cual incluye las fases y sus actividades, así como también su duración en meses.

Fase	Actividades	Meses
Preparación	Realización de talleres y campañas de sensibilización. Instalación de puntos de acopio adicionales.	Mes 1 al 3
Adquisición e instalación	Compra e instalación de maquinaria y equipos. Formación técnica para operarios.	Mes 4 al 6
Operación piloto	Inicio de la producción de filamento reciclado. Evaluación y ajuste de procesos.	Mes 7 al 12

Elaborado por: El autor, 2024.

El cronograma de implementación para el plan de Economía Circular en la Ecoaldea de la Isla Santay se estructura en tres fases principales que abarcan un período de doce meses. La primera fase, denominada Preparación, se desarrollará durante los primeros tres meses. En esta etapa inicial, se llevarán a cabo talleres y campañas de sensibilización dirigidos a los habitantes de la comunidad. Estas actividades educativas son fundamentales para fomentar la conciencia ambiental y

preparar a la Ecoaldea para la transición hacia prácticas sostenibles. También durante este período se instalarán puntos de acopio adicionales para la recolección de las botellas de tipo PET.

La segunda fase, que abarca los meses cuatro a seis, se centra en la Adquisición e Instalación. En esta etapa, se procederá a la compra e instalación de la maquinaria y equipos necesarios para la transformación de las botellas de PET en filamento para la impresión 3D. Paralelamente, se llevará a cabo la formación técnica de los operarios que manejarán estos equipos. La capacitación adecuada es esencial para asegurar que los trabajadores estén bien preparados y puedan operar la maquinaria de manera efectiva, minimizando errores y optimizando la producción.

La tercer y última fase, denominada Operación Piloto, se desarrollará entre los meses siete y doce. Durante este período, se iniciará la producción de filamento de PET reciclado. Esta etapa permitirá evaluar la efectividad del proceso y realizar los ajustes necesarios para mejorar la eficiencia y calidad del producto final. Además, se implementará un sistema de monitoreo constante para identificar posibles áreas de mejora y asegurar que se cumplan los objetivos del proyecto. La evaluación continua y los ajustes basados en los resultados obtenidos durante esta fase son cruciales para el éxito a largo plazo del emprendimiento sostenible.

6. BIBLIOGRAFÍA

BOE. (2011). *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>

Oliva, S. V. (2018). La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro. *Unizar*, 123 - 135. Obtenido de https://zaguan.unizar.es/record/70820/files/texto_completo.pdf