

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la
integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de Manejo
de Residuos Sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023.**

Tesis presentada por las Bachilleres:
Gonzales Palomino, Gianella Marilia
ORCID: 0009-0000-7799-5446
Guillén Berrocal, Lucía Alejandra
ORCID: 0009-0002-1107-0066

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor:
Mg. Cárdenas Pillco, Berly Edinssón
ORCID: 0000-0003-0555-8540

Arequipa - Perú
2024

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Mayo del 2024

Dictamen: 007353-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 007353, presentado por:

2015100912 - GONZALES PALOMINO GIANELLA MARILIA

2014402022 - GUILLEN BERROCAL LUCIA ALEJANDRA

Titulado:

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DENTRO DEL PLAN DISTRITAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE YANAHUARA, AREQUIPA, 2023.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR**



Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	7%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	ecoplas.org.ar	2%
	Fuente de Internet	
4	grupogea.org.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	core.ac.uk	1%
	Fuente de Internet	

tesis.ucsm.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios, quien con su bondad e infinito amor me ha permitido culminar esta etapa en mi vida.

A mi madre, María Elena, mi ángel, mi ejemplo de fortaleza y perseverancia, que desde el cielo me cuida y me acompaña siempre. A mi padre, Zenón, por su apoyo constante en mi crecimiento profesional y personal.

A mis hermanas Nadia y María Elena y mis queridas sobrinas Pía y Alessia por su amor incondicional.

A todos los que me apoyaron para llevar a cabo esta tesis.

Gianella

A Dios por darme la oportunidad de vivir, de estar en cada paso que doy para lograr mis sueños, no dejar que me rinda y por fortalecer mi corazón.

A mí adorada Mamá Yola, cuyo amor y sabiduría ha sido una guía constante en mi vida. Gracias por ser mi modelo de fortaleza y bondad. Gracias por creer en mí y ser mi ángel guardián, siempre estarás en mi corazón, eres mi inspiración y guía espiritual.

A mi madre Jenny Berrocal de Guillen, mi querida madre, quien es mi apoyo constante, mi compañera perfecta, fuente de inspiración y amor, a ti con el amor y admiración que mereces por creer en mí, me enseñaste a perseguir mis sueños y nunca rendirme. Tu apoyo ha sido fundamental en mi camino, gracias por guiarme siempre. Esta tesis es reflejo de tu dedicación y esfuerzo.

A mi padre Wilbert Guillén, mi modelo de fortaleza y sabiduría, me enseñaste a ser valiente y perseverante. Iluminaste mi camino con tu amor y apoyo, me demostraste que el amor paternal es infinito, compartiste mis sueños y logros. Eres mi héroe y ejemplo de vida.

A mis queridas hermanas Cecilia, Carolina y María Nelly, mis compañeras de vida, por ser mi apoyo y motivación, son mi refugio en momentos difíciles, me han demostrado que la familia es todo. Son mis mejores amigas y cómplices, mi ejemplo de fortaleza y resiliencia, me han inspirado a ser mejor persona y han iluminado mi camino.

Lucía.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento profundo a nuestro asesor, Msc. Berly Edinsson Cárdenas Pillco, por su apoyo constante y sus enseñanzas durante el desarrollo de la presente tesis.

A nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María.

A nuestros jurados Dr. Armando Jacinto Arenazas Rodríguez y Dra. María Elizabeth Bejarano Meza, por su paciencia y orientación.

A nuestros validadores, quiénes permitieron que este estudio sea llevado a cabo, siempre con disponibilidad y generosidad al compartir su experiencia con nosotras.

Al gerente de Servicios al ciudadano, gestión ambiental y seguridad ciudadana de la Municipalidad de Yanahuara, Dr. Diego Rodrigo López Ramos, por permitirnos ejecutar nuestro estudio en la municipalidad y por sus sabios consejos, además queremos expresar nuestro más sentido agradecimiento al Jefe de Residuos sólidos y reciclaje, Carlos Alberto Manrique Sarmiento y jefe de ornato y áreas verdes, José Edwin Espinoza Guzmán por su constante apoyo y disponibilidad hacia nosotras y a su vez agradecer al personal de la Municipalidad de Yanahuara por su participación activa en el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

La generación de residuos plásticos se está incrementando significativamente en los últimos años. Inicialmente se desarrolló un diagnóstico, determinándose una generación per cápita de residuos sólidos de 0.796 Kg/hab-día en el distrito de Yanahuara, Arequipa; en la reutilización tiene una planta de Valorización de Residuos Sólidos la cual procesa 40 toneladas de residuos plásticos convirtiéndolos en bolsas; a pesar del incremento de residuos plásticos la planta no muestra crecimiento alguno; ni tampoco se aplican alternativas tecnológicas de reutilización de estos residuos; por lo que no es suficiente para la reutilización de todos los residuos que se generan en el distrito; así, la evaluación sistemática de las tecnologías va a permitir un manejo adecuado y su integración a la economía circular; mitigando de esta manera su impacto ambiental. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los diferentes tipos de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023; es una investigación de campo, de enfoque cuantitativa, de nivel explicativa y de diseño no experimental. Se elaboró una encuesta validada por expertos (prueba AIKEN) y la validez estadística arrojó con la prueba de Alfa Cronbach=0.826. Se aplicó a 17 trabajadores de la Municipalidad (personal ejecutivo, técnico administrativo y obrero); los resultados demostraron el bajo conocimiento de tecnologías de valoración, el reconocimiento de su importancia en la gestión ambiental municipal y la necesidad de aplicar nuevas tecnologías. Por lo cual, se valoraron 8 tecnologías mediante la metodología Scoring y bajo los criterios ambientales, productivos y económicos; determinándose que la mejor tecnología es la termovalorización con 140 puntos para incluirla en el plan de gestión ambiental para la integración a la economía circular. Y según la evaluación de costo/beneficio de esta tecnología muestra un TIR de 68%, mayor a la tasa de descuento de 36% y el Valor Actual Neto (VAN) fue de S/ 286,251.58, y con una relación Costo/Beneficio de $1.26 > 1$; comprobándose que la inversión en la tecnología de Valoración de residuos plásticos de termovalorización es viable y rentable.

Palabras clave: Tecnologías de valorización, residuos plásticos, economía circular, manejo ambiental.

ABSTRACT

The generation of plastic waste is increasing significantly in recent years. Initially, a diagnosis was developed, determining a per capita generation of solid waste of 0.796 Kg/inhab-day in the district of Yanahuara, Arequipa; in reuse, it has a Solid Waste Recovery Plant which processes 40 tons of plastic waste, converting it into bags; despite the increase in plastic waste, the plant does not show any growth; nor are technological alternatives applied for the reuse of this waste; therefore, it is not sufficient for the reuse of all the waste generated in the district; thus, the systematic evaluation of the technologies will allow adequate management and its integration into the circular economy; thus mitigating its environmental impact. This study aimed to evaluate the different types of plastic waste recovery technologies for the integration of the circular economy within the District Plan for solid waste management of Yanahuara, Arequipa, 2023; It is a field research, with a quantitative approach, explanatory level and non-experimental design. A survey validated by experts (AIKEN test) was developed and the statistical validity was obtained with the Cronbach Alpha test = 0.826. It was applied to 17 workers of the Municipality (executive, technical administrative and labor staff); the results demonstrated the low knowledge of valuation technologies, the recognition of their importance in municipal environmental management and the need to apply new technologies. Therefore, 8 technologies were evaluated using the Scoring methodology and under environmental, productive and economic criteria; determining that the best technology is the Thermal Recovery with 140 points to include it in the environmental management plan for integration into the circular economy. And according to the cost/benefit evaluation of this technology, it shows an IRR of 68%, higher than the discount rate of 36% and the Net Present Value (NPV) was S/ 286,251.58, and with a Cost/Benefit ratio of $1.26 > 1$; proving that the investment in the technology of Plastic Waste Recovery Thermal Recovery is viable and profitable.

Keywords: Recovery technologies, plastic waste, circular economy, environmental management.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Problemática de la Investigación.....	2
1.2. Justificación	4
1.2.1. Justificación ambiental.....	4
1.2.2. Justificación social	4
1.2.3. Justificación económica	5
1.2.4. Justificación tecnológica	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.2. Marco teórico	15
2.2.1. Residuos sólidos.....	15
2.2.2. Residuos sólidos municipales	18
2.2.3. Tecnología de valoración de los residuos plásticos.....	22
2.2.4. Economía circular	33
2.3. Marco legal	34
3.1. Tipo y nivel de investigación	39
3.2. Diseño de investigación	39
3.3. Ubicación espacial	39
3.4. Métodos de investigación.....	40
3.4.1. Realización de diagnóstico	40
3.4.2. Diseño de la evaluación de tecnologías de valorización de los residuos plásticos	41

3.4.3. Scoring para seleccionar la tecnología de valorización	44
3.4.4. Método de costo beneficio económico	46
3.4.5. Procedimientos administrativos.....	48
4.1. Diagnóstico de residuos plásticos en Yanahuara	50
4.1.1. Ubicación de la planta de residuos sólidos	51
4.1.2. Planta de valorización de residuos sólidos.....	52
4.1.3. Recolección y almacenamiento de los residuos.....	56
4.1.4. Proceso de reciclaje en la planta	56
4.1.5. Diagrama de proceso.....	60
4.1.6. Resultados de la encuesta	61
4.2. Evaluación de tecnologías de Valorización propuestas a través del Score	76
4.2.1. Gases contaminantes que se generan en la Termovalorización.....	85
4.2.2. Controles de emisiones en el proceso de Termovalorización y riesgos.....	86
4.2.3. Economía Circular de la Termovalorización.....	88
4.3. Evaluación del Costo/Beneficio de tecnología seleccionada	86
4.3.1. Contexto general	86
4.3.2. Maquinaria y equipos	88
4.3.3. Costos en la implementación de la tecnología de termovalorización.....	88
4.3.4. Capacidad de producción mensual y valorización en soles	90
4.3.5. Resultados del costo/beneficio de la tecnología seleccionada	91
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. Conclusiones	96
5.2. Recomendaciones	97
REFERENCIAS	98
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios para la selección de expertos.....	42
Tabla 2 Criterios e Indicadores para selección de los expertos.....	43
Tabla 3 Valores de importancia	45
Tabla 4 Ponderación de criterios según importancia.....	45
Tabla 5 Generación de residuos sólidos en la provincia de Arequipa	53
Tabla 6 Generación de residuos plásticos en el distrito de Yanahuara.....	54
Tabla 7 Generación de residuos no aprovechables en el distrito de Yanahuara.....	55
Tabla 8 Puestos que desempeñan el personal	61
Tabla 9 Tiempo que laboran en la Municipalidad de Yanahuara.....	63
Tabla 10 Programas y/o actividades para la gestión de residuos plásticos.....	64
Tabla 11 Conocimiento de la tecnología de valorización de residuos plásticos.....	65
Tabla 12 Conocimiento de tecnologías de valorización de residuos plásticos.....	66
Tabla 13 Aplicaciones de la tecnología de valorización de residuos plásticos	68
Tabla 14 Involucramiento en proyectos o convenios de tecnologías de valorización ..	69
Tabla 15 Importancia de la reutilización de residuos plásticos para la Municipalidad..	70
Tabla 16 El papel de las tecnologías en la gestión de residuos plásticos.....	71
Tabla 17 Aprovechamiento de los residuos plásticos reciclados para producir otros materiales sostenibles	73
Tabla 18 Obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías	74
Tabla 19 Aplicación de tecnologías de valorización para economía circular	75
Tabla 20 Valoración de alternativas tecnológicas por criterio.....	77
Tabla 21 Ponderación de alternativas.....	78
Tabla 22 Proceso de termovalorización	87
Tabla 23 Costo del recurso humano	89
Tabla 24 Egresos anuales	90
Tabla 25 Flujo proyectado	91
Tabla 26 Indicadores económicos VAN/TIR.....	92
Tabla 27 Indicador económico B/C	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Categorización de los residuos plásticos	18
Figura 2 Tipología general de la tecnología	23
Figura 3 Tecnología de termovalorización	29
Figura 4 Objetivos de la economía del plástico según la Fundación Ellen MacArthur	31
Figura 5 Medidas de política por objetivo prioritario	34
Figura 6 Municipalidad distrital de Yanahuara.....	39
Figura 7 Evidencias del instrumento	43
Figura 8 Localización de la planta de valorización de residuos plásticos	52
Figura 9 Planta de valorización de Yanahuara.....	52
Figura 10 Generación de residuos plásticos no domiciliarios	55
Figura 11 Generación de residuos no aprovechables no domiciliarios.....	56
Figura 12 Separación de residuos plásticos.....	57
Figura 13 Aglomeradora de residuos plásticos seleccionados.....	58
Figura 14 Pelletización y Corte	58
Figura 15 Máquina extrusora de bolsas	59
Figura 16 Embobinado.....	59
Figura 17 Corte, Sellado y Verificación de medida final	60
Figura 18 Diagrama de proceso de fabricación de bolsas de baja densidad.....	61
Figura 19 Puestos que desempeñan el personal	62
Figura 20 Tiempo que laboran en la Municipalidad de Yanahuara.....	63
Figura 21 Programas y/o actividades para la gestión de residuos plásticos.....	64
Figura 22 Conocimiento de la tecnología de valorización de residuos plásticos.....	65
Figura 23 Conocimiento de tecnologías de valorización de residuos plásticos	67
Figura 24 Aplicaciones de la tecnología de valorización de residuos plásticos	68
Figura 25 Involucramiento en proyectos o convenios de tecnologías de valorización .	69
Figura 26 Importancia de la reutilización de residuos plásticos para la Municipalidad.	70
Figura 27 El papel de las tecnologías en la gestión de residuos plásticos	72
Figura 28 Aprovechamiento de los residuos plásticos reciclados para producir otros materiales sostenibles	73
Figura 29 Obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías	74
Figura 30 Aplicación de tecnologías de valorización para economía circular	75
Figura 31 Diagrama de proceso de la Planta de Termovalorización	90
Figura 32 Productos y materiales de reacción	93
Figura 33 Ingresos anuales.....	95

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1 Coeficiente de Competencia	42
Fórmula 2 Ecuación Cálculo del Score de la alternativa	45
Fórmula 3 Costo y beneficio	46
Fórmula 4 Tasa Interna de Retorno	48
Fórmula 5 Costo/Beneficio.....	91



INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos plásticos se ha convertido en un desafío ambiental y de salud pública en los últimos años debido al crecimiento acelerado de su generación. El impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana, principalmente a través de la contaminación por microplásticos, ha aumentado la atención sobre este problema. La acumulación de plásticos abarca desde el uso y almacenamiento prolongado de productos plásticos como menaje y maletas hasta la gestión de residuos plásticos mediante prácticas como el reciclaje, la disposición final o incluso el vertido directo en el ambiente.

El reciclaje de residuos sólidos, especialmente de plásticos, se considera una actividad beneficiosa para el medio ambiente, ya que además de reducir la contaminación, genera empleo. Sin embargo, es crucial abordar los desafíos asociados, como el reciclaje informal que se lleva a cabo en condiciones laborales inaceptables y con métodos que pueden resultar en una mayor contaminación ambiental (CER, 2020).

En este contexto, la Economía Circular emerge como una alternativa para abordar diversas problemáticas ambientales y sociales, incluyendo la gestión de residuos plásticos. La transición hacia un modelo circular implica reincorporar el material plástico al sistema después de su uso o almacenamiento prolongado, manteniendo su valor el mayor tiempo posible.

En el ámbito nacional, Perú ha tomado medidas para avanzar hacia una economía circular en el manejo de plásticos, comenzando por regular productos de plástico de un solo uso como bolsas, sorbetes, botellas y envases para alimentos y bebidas. En 2019, el MINAM firmó el Nuevo Compromiso Global de la Economía Circular del Plástico, liderado por la Fundación Ellen MacArthur en colaboración con ONU Medio Ambiente, con el objetivo de eliminar la contaminación plástica en su origen.

En este contexto, la evaluación de la tecnología para la gestión de residuos plásticos se vuelve crucial para garantizar una buena gestión y minimizar los impactos negativos asociados. Por tanto, el objetivo principal de esta tesis es llevar a cabo una evaluación integral de las tecnologías disponibles para mejorar la gestión de residuos plásticos. Esta evaluación busca contribuir a una transición exitosa hacia un modelo más sostenible y circular, donde se promueva la valorización de los residuos plásticos como parte del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023.



1.1. Problemática de la Investigación

Los tipos de residuos plásticos, son los siguientes: “el Plástico PET (botellas de bebidas, gaseosas y aceites), el plástico duro (frascos, bateas y otros recipientes) y bolsas de plástico en general” (Municipalidad de Yanahuara, 2019). Su generación en el mundo se deriva fundamentalmente del uso de plásticos en calidad de descartable; así se “utilizan 5 billones de bolsas al año, casi 10 millones de bolsas por cada minuto; así anualmente se generan 300 millones de toneladas de residuos plásticos por bolsas de plástico” (Ellen MacArthur Foundation, 2016, como lo citó el Minam, 2018); “el 50 % del total de residuos plásticos, son plásticos de un sólo uso”. (Geyer, Jambeck, y Law, 2017).

A nivel mundial, se producen “alrededor de 450 millones de toneladas de plásticos y se estima que el 9 % se recicla, mientras que el 22 % se gestiona mal” (Kumar, 2023)

Los plásticos se convierten en residuos cuando el usuario final considera que el material no tiene valor para ellos; sin embargo, “la recuperación de plásticos para su reutilización o reciclaje está impulsada por la demanda de dichos materiales” (Lange, 2021).

“Esto presenta una oportunidad de recuperación y darles valor, ya sea mediante un reciclaje más efectivo o mediante el reciclaje químico y la conversión de plásticos en productos de valor agregado” (Kumar, 2023).

En el Perú se usan al año aproximadamente 30 kilos de plástico promedio por ciudadano; al año se suman cerca de 3 mil millones de bolsas plásticas, casi 6 mil bolsas por cada minuto. Sólo en Lima Metropolitana y el Callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46% de dichos residuos a nivel nacional. (Ministerio del Ambiente, 2018).

En tanto que, en Arequipa según las cifras de la Autoridad Regional de Medio Ambiente (ARMA), se desecha 2 millones de bolsas cada semana. En los diferentes distritos de la Región Arequipa esta problemática es aguda; pues a pesar de los múltiples esfuerzos realizados por autoridades, responsables y agentes involucrados, el problema sigue en incremento no logrando reducir la contaminación ambiental por residuos plásticos.

“La generación de residuos sólidos municipales en la Región Arequipa es de 26.63 t/día, con un promedio de 0.53 kg/hab./día; cuya composición porcentual es materia orgánica (62.62%), seguido de residuos plásticos (12.39%), residuos sanitarios (11.63%), madera y follaje (4.38%), del total de residuos generados en la región”

(Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017).

De manera concreta en el distrito de Yanahuara, el cual abarca una población de 26600 habitantes con una generación per cápita de residuos domiciliarios es de 0.686 kg/hab/día; así el 18.53% corresponde a la producción semanal de plástico (Municipalidad de Yanahuara, 2020).

Todo esto con respecto a la generación de residuos plásticos; en tanto que, con relación a su implicancia y efectos, se considera como principal problema el daño que generan al ecosistema, también se puede ver perjudicada su seguridad alimentaria, más aún en este tiempo de crisis; además, atenta contra el desarrollo económico de las naciones.

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que en el mundo alrededor de 13 millones de toneladas de plásticos llegan al mar cada año, causando la muerte de 100 mil organismos marinos; así, los efectos negativos en la fauna marina, se refleja en que generalmente las bolsas plásticas son confundidas con medusas u otros alimentos por la fauna marina, perjudicando a aproximadamente 600 especies marinas. Así también, los residuos plásticos como sorbetes o aros de plásticos de botellas de latas pueden lastimar físicamente a los animales, introduciéndose en su cuerpo (Minam, 2019)

Según Awasthi (2022) cada año se consumen más de 200 millones de toneladas de plástico en todo el mundo, lo que convierte al plástico en el tercer producto petrolífero más deseable. De esta manera, las partículas de los microplásticos son ingeridos por las especies marinas, confundiéndolos con alimentos, acumulándose en el animal, los que más tarde son parte de la dieta humana y de otros seres vivos. La vida silvestre también se encuentra amenazada cuando se afectan otros ecosistemas del planeta. (El Peruano, 2022)

Por los efectos señalados resulta esencial encontrar una solución frente al manejo adecuado de los residuos plásticos; de allí que a nivel mundial se van desarrollando diferentes tecnologías para el tratamiento y reutilización de los residuos sólidos plásticos, entre las cuales se encuentran: La despolimerización (térmica, química), disolución del PVC mediante solvente; la coagulación avanzada para hacer potable el agua contaminada con microplásticos; la generación de bionanofibras para su industrialización, la tecnología electrospinning/electrospray; la extrusión por soplado, el spin-off Ioniqa, la termovalorización : y UE- H2020 de InNoPlastic. Sin embargo, en el Perú se evidencia una escasa aplicación de estas, lo que agudiza el problema de contaminación por residuos de plásticos.

De esta manera ante la alta producción de residuos plásticos y la baja reutilización de estos para integrarlos a la economía circular la que se pretende abordar, encontrando como alternativa la evaluación de tecnologías para valorizar los residuos plásticos, ya que a través de esta se reducirá la cantidad de residuos plásticos y con ello la contaminación ambiental en el distrito.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación ambiental

El estudio tiene la finalidad de reducir la contaminación que provocan los residuos plásticos domiciliarios que se producen en el distrito de Yanahuara. La evaluación sistemática de las tecnologías va a permitir un manejo adecuado de estos residuos a través de la integración a la economía circular; mitigando de esta manera su impacto ambiental. Además, la valorización de los residuos evita que estos plásticos lleguen a los cuerpos de agua, reduciendo la contaminación y el daño a los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, la adopción de la economía circular a través de la valorización de residuos plásticos fomenta prácticas sostenibles en la comunidad y promueve la conciencia ambiental.

Así como también la gestión sostenible de residuos y la valorización de plásticos contribuyen a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, como el Objetivo 13 (Acción por el Clima) y el Objetivo 14 (Vida Submarina), lo que reafirma el compromiso de la comunidad con metas globales de sostenibilidad ambiental.

1.2.2. Justificación social

A través de la propuesta se busca resolver un problema que afecta a la población del distrito, constituyéndose en un riesgo potencial para el ambiente y la salud de la población. Debido a que los resultados del estudio beneficiarán a la población que reside en el distrito de Yanahuara, tanto a nivel de su salud como en el cuidado del ambiente y estética en el distrito, esto a partir del manejo adecuado de los residuos seleccionando la tecnología adecuada tras un proceso de evaluación.

La economía circular a través de la valorización de plásticos incluye activamente a la comunidad en la gestión de residuos. La participación ciudadana en la recolección selectiva y otras actividades relacionadas con la valorización promueve un sentido de responsabilidad. Además de la colaboración en proyectos de gestión de residuos y economía circular puede reforzar la cohesión social al fomentar la cooperación y el trabajo en equipo en la comunidad.

1.2.3. Justificación económica

Es importante debido a que la propuesta ofrece una alternativa que permitirá reducir significativamente los costos económicos, ya que la contaminación ambiental representa un alto costo tanto en la infraestructura que impacta en el distrito como en la salud de la población principalmente, integrando la tecnología seleccionada al sistema de economía circular.

La implementación de tecnologías de valorización fomenta la creación de empleos locales en actividades como la recolección selectiva, el procesamiento de residuos y la gestión de instalaciones de valorización. Esto tendrá un impacto positivo en la economía local al proporcionar oportunidades de empleo. Asimismo, los proyectos de economía circular suelen ser atractivos para inversores y organismos de financiamiento que buscan respaldar iniciativas que generen impactos positivos en el medio ambiente y la comunidad. La evaluación sólida de tecnologías de valorización facilita la obtención de financiamiento externo.

1.2.4. Justificación tecnológica

La problemática en estudio es relevante para la municipalidad porque forma parte de su política la atención e intervención; además que los resultados de la investigación permitirán dar cumplimiento operativo a esta.

La implementación de una tecnología limpia resulta un logro tecnológico en términos de innovación y eficiencia, ya que, genera beneficios económicos a partir de la aplicación de nuevas tecnologías y la posible industrialización de los residuos sólidos plásticos, disminuyendo los impactos ambientales negativos.

Con la finalidad que, el presente estudio sirva como modelo en otras Municipalidades para fomentar la implementación de nuevas tecnologías de tal forma que se reduzcan los impactos ambientales negativos y el cambio climático.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los diferentes tipos de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación respecto a la producción y manejo municipal de residuos sólidos plásticos en el distrito de Yanahuara.
- Evaluar la tecnología alternativa de valorización de residuos plásticos según criterios ambientales, productivos y económicos para la integración de la

economía circular.

- Evaluar la tecnología de valoración seleccionada con el método de Costo Beneficio económico.

1.4.Hipótesis

La evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos podría permitir la selección de la más adecuada para integrarla en el Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, enfocándose en la minimización de residuos y su viabilidad dentro de la economía circular.





CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

El consumo de productos envasados en tereftalato de polietileno produce grandes cantidades de residuos para el consumo. Esto significa altos niveles de contaminación y una gran huella ecológica, agudizada por no alcanzar una disposición final adecuada.

Los plásticos básicos como el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el tereftalato de polietileno (PET) son algunos de los desechos plásticos más comunes que se encuentran en los desechos municipales. Según Darko et al. (2023) La falta de tecnología, recursos, programas coherentes, políticas municipales y gubernamentales, mala gestión y procesamiento incompleto de estos plásticos hacen que estos plásticos terminen en su mayoría en vertederos, generando altos índices de contaminación ambiental.

Así, Kumar et al. (2023), encontraron que la mayoría de países, para la disposición final de los residuos plásticos han adoptado para su disposición final los rellenos sanitarios, compostaje e incineración no planificadas con la consecuente contaminación terrestre, acuática y atmosférica. Afirmando que los plásticos derivados del petróleo no se descomponen y tienden a persistir en el medio ambiente durante más tiempo; pueden ser ingeridos y acumularse en los tejidos de animales impidiendo su crecimiento y desarrollo. Así, Mayta (2021), en el distrito de Yanahuara encontró que el tipo de residuos domiciliario más producido es el plástico en un 49,17%; alrededor de un 48,33% aseguraron que la disposición de residuos y plásticos es buena, mientras que un 47,92% piensan que es regular; los impactos, evaluados mediante la matriz de Leopold, fue de nivel Positivo de Intensidad Media (P-IM), gracias a las actividades de reciclaje. El principal problema es la baja cantidad de basureros que permitan segregar los residuos sólidos y plásticos.

La preocupación por esta problemática sustenta la necesidad de la reutilización de los residuos plásticos y su integración a la economía circular a partir de la valorización de las tecnologías como una alternativa importante; así, en Europa, según Callewaert et al. (2023) muestra que la legislación europea, impulsa la mejora del sistema de reciclaje de envases de plástico para cumplir con ambiciosos objetivos de reciclaje; y el reciclaje de residuos mixtos pueden ayudar a obtener altas tasas de reciclaje, pero su implementación debe coordinarse de manera centralizada para evitar posibles efectos adversos.

Así en la ciudad de Barrancabermeja, Pinzón et al. (2020), demostró que el reciclaje municipal reduce de manera significativa los residuos plásticos y que algunas

empresas recicladoras, no autorizadas que participaban en la recuperación y comercialización de material PET, presenta un alto grado de informalidad con un bajo involucramiento de las autoridades frente a esta problemática.

El residuo plástico es el que presenta una mayor factibilidad de reciclaje e integración a la economía circular; Kumar et al. (2023) producto de su investigación demostró que los desechos plásticos se pueden recuperar para convertirlos en petroquímicos de valor agregado, incluidos carbón aromático, hidrógeno, gas de síntesis y petróleo biocrudo, utilizando diversas tecnologías, incluidas la termoquímica, la conversión catalítica y la quimiólisis.

Darko et al. (2023) demostraron que reciclar residuos plásticos de PP, PE y PET en productos sostenibles se puede realizar a partir de las oportunidades de cada tecnología; así, el craqueo catalítico seguido de tecnologías de termovalorización son las más adecuados para producir aceites más líquidos, mientras que la gasificación mejora el rendimiento del gas combustible.

Entre las tecnologías de reciclaje para valorizar los residuos plásticos las más usadas son las termoquímicas; es así que investigaciones como la de los autores Punčochář et al. (2012), desarrolló un proceso para la eliminación de residuos plásticos mediante tecnología de termovalorización por plasma y opción de valorización energética, demostrando que la termovalorización por plasma es una tecnología innovadora que permite transformar los residuos plásticos de alto poder calorífico en un valioso gas de síntesis mediante plasma térmico; demostrando que el pirolizador de plasma desarrollado podría ser una forma útil de tratamiento de residuos plásticos para la recuperación de energía.

La tecnología de la valorización energética mediante termovalorización de residuos plásticos demostró en España, Chinnathan et al. (2017) su factibilidad, basándose en la caracterización de los residuos plásticos municipales, demostrando que el poder calorífico del producto petrolífero (49, 47, 43 y 42 MJ/kg, de LDPE, mezcla de HDPE y LDPE, PP y HDPE, respectivamente) fue significativamente mayor que el de los residuos plásticos en bruto. Así, el rendimiento del producto petrolífero procedente de la termovalorización de LDPE fue el más alto (60%). La recuperación de energía del plástico mediante termovalorización fue del 75 %, 59 %, 50 % y 49 % para el LDPE, mezcla de HDPE y LDPE, PP y HDPE, respectivamente.

También, Jeswani et al. (2021) encontraron que una gran parte del plástico que se produce cada año es utilizada para la fabricación de envases de un solo uso y otros productos de consumo de corta duración que se desechan, de igual manera,

rápidamente, generando cantidades importantes de residuos; resaltando la importancia la gestión adecuada según los principios de la economía circular, considerando la tecnología de termovalorización , a fin de convertirlos nuevamente en materia prima química que luego puede fabricarse polímeros de calidad virgen; sin embargo, no está claro si es sostenible en función del ciclo de vida; demostrando que es menor el impacto en el cambio climático en un 50%.

De igual manera Neira et al. (2020) al examinar la viabilidad de una empresa que pretende fabricar y comercializar una máquina de bioreciclaje de plásticos (PET) en Azogues, Ecuador comprobaron que, mediante un estudio de factibilidad, concluyen que es importante la promoción de medios alternativos para reducir el impacto de este material en el planeta, como las máquinas de reciclaje. El uso de tecnologías para efectuar actividades de reciclaje puede permitir involucrar diferentes actores dentro de la sociedad con la finalidad de reducir el uso de estos plásticos, mostrando oportunidades reales de emprendimiento donde se requiere de la creación de voluntad por parte de organizaciones locales para captar estas ideas y crear comunidades libres de PET.

Por otro lado, también se propone un programa de producción más limpia en una planta de reciclaje mecánico de envases de PET- Poli de la Compañía Ecológica GW SAC para aumentar la productividad y proteger el medio ambiente, Huaytalla (2019) frente a la producción de 300 toneladas al mes de escamas de PET reciclado, con el desarrollo de oportunidades de Producción más Limpia (PL), demostró en su proyección positiva un ahorro económico del 9,5% al sustituir los detergentes en polvo por detergentes líquidos biodegradables; ahorro económico del 10,8% al pasar del carbón mineral (antracita) al gas licuado de petróleo en lo que respecta a la sustitución de combustibles y al cambio de tecnología. En cuanto al gas licuado de petróleo, un ahorro económico del 10,8%; en cuanto a la reutilización del agua de limpieza de los tanques de flotación, una reducción del 35,5% en el consumo de agua.

Salazar et al. (2022), demostró la viabilidad de la transformación de residuos RPET en tela para la venta de uniformes a sus colaboradores, integrándola de esta manera a la economía circular, con un Valor Actual Neto (VAN) de 1.5 millones de soles y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 96% en una proyección de los cinco primeros años de funcionamiento y con un periodo de recuperación aproximado de dos años, sustentándose la factibilidad económica del proyecto de inversión. Así también, Bocanegra (2022) demostró la factibilidad para la fabricación de lentes de sol a base de plástico reciclado, ya que es viable socialmente, debido a los siguientes factores:

se da en un ambiente ideal para los trabajadores, se comprueba la seguridad; asimismo, el impacto social que tiene en la localidad aledaña es de una gran envergadura, es muy atractiva para los inversores, con un TIR económico de 36,72% y TIR financiero de 64,15%, muy por encima del valor COK (12,68%) y un VAN económico de recupero de 4 años, 2 meses y 1 día; y un Van financiero de 3 159 909,44 soles.

Comparando los beneficios de la termovalorización de residuos plásticos frente al reciclaje mecánico la incineración de residuos sólidos municipales (RSU) y la sustitución de combustibles Karlsson et al. (2024), demostró a través de la evaluación de la huella climática (CFA) basada en datos primarios de termovalorización de residuos plásticos; se adaptan al recurso danés de residuos plásticos; mostrando mayores beneficios al utilizar termovalorización para la recuperación de monómeros (- 1400 y - 4800 kg CO₂e por tonelada de poliestireno (PS) y polimetacrilato de metilo (PMMA), respectivamente); en tanto que el reciclaje mecánico para poliolefinas de polímero único (- 1000 kg CO₂e). por tonelada PE). Las dos opciones de gestión actúan de manera similar con residuos plásticos mixtos (200 kg CO₂e por tonelada de residuos plásticos). MSWI tiene el mayor impacto (1600-2200 kg CO₂e por tonelada de residuos plásticos) La utilización de termovalorización reduce el impacto del sistema en un 15 % y el mejor rendimiento se logra mediante una combinación de reciclaje mecánico y la termovalorización.

La termovalorización es una técnica de reciclaje químico y actualmente está siendo estudiada para que sea una solución alternativa a la acumulación de desechos plásticos urbanos en el medio ambiente. Así, Sharuddin et al. (2016) realizaron una revisión del proceso de termovalorización de los desechos plásticos donde se indica que además de los factores mencionados por Miandad et al. (2016) son importantes el tipo de reactor, presión, tiempo de residencia, tipo de gas circulante y velocidad de calentamiento. El control de dichos factores va a determinar el rendimiento y distribución de los productos pirolíticos. La presión y el tiempo de residencia son factores que se ponen en consideración para la obtención de la distribución de los productos, pero esto ocurre preferentemente a temperaturas menores de 450 °C. Asimismo, compararon los catalizadores para obtener líquidos pirolíticos de desechos plásticos (HDPE y PP) siendo el FCC que produjo un rendimiento de 90 wt% mientras que el catalizador sílica- alumina obtuvo entre 85-87 wt%. Los catalizadores que están siendo utilizados son ácidos sólidos como las zeolitas, es así que Almeida y Marques (2016) indican que los polímeros al tener una baja conductividad térmica requieren de altas temperaturas para su degradación termal,

por lo que los catalizadores como las zeolitas pueden ser utilizados, así como su tamaño de poro limita el ingreso de las moléculas del polímero a los sitios reactivos catalíticos y a la generación de los residuos pirolíticos, además sus sitios ácidos favorecen al rompimiento de las macromoléculas del polímero.

Respecto a la influencia de la temperatura en el proceso de termovalorización térmica de desechos plásticos molidos en un reactor, Kumar et al. (2018), observaron que el incremento de la temperatura de 550 °C a 625 °C el rendimiento de los líquidos pirolíticos disminuyó de 74.4 wt% a 53.5 wt% y de los gases se incrementaron de 22.7 wt% a 46.5 wt%. Además, observaron que el rendimiento en un reactor vertical es ligeramente mayor que en un reactor tubular. Miandad et al. (2017) realizó estudios de termovalorización de desechos plásticos usando zeolitas naturales y sintéticas. Comprobaron el uso potencial y económico de la zeolita natural para la planta de termovalorización catalítica de polipropileno, polietileno, poliestireno y PET frente a la zeolita sintética ya que obtuvieron un 54 wt% de residuos líquidos y con la zeolita sintética un 50 wt% a partir del PS a pesar de la baja área superficial de la zeolita natural, estructura microporosa y baja acidez. Además, comprobaron que el efecto del tipo de residuo plástico influye en el rendimiento de los aceites pirolíticos donde a partir del PS se consiguió el máximo rendimiento de aceites (80.8 wt%) con una producción de gases de 13 wt% y sólidos de 6.2 wt% en comparación al PE, PET y PP. Con los resultados obtenidos las zeolitas naturales vienen a ser catalizadores prometedores y económicos para la tecnología de termovalorización. Sin embargo, estas zeolitas naturales al poseer una baja área superficial han sido modificadas. También Miandad et al. (2016) evaluaron los factores que afectan al proceso de termovalorización catalítica y lo compararon frente a la termovalorización térmica, siendo los factores principales la temperatura, el tiempo de retención, la composición de la materia prima y el catalizador. Además, mencionan que la termovalorización térmica produce aceite líquido de baja calidad y que requiere una elevada temperatura y alto tiempo de retención, por lo que la termovalorización catalítica de residuos plásticos ha surgido como alternativa. Esta última tiene el potencial de convertir el 70-80% de los desechos plásticos en aceite líquido que tiene características similares al combustible diésel, además el aceite líquido de la termovalorización catalítica es de calidad superior y puede tener varias aplicaciones. A pesar de todas las ventajas potenciales de la termovalorización catalítica, el proceso presenta algunas limitaciones tales como la alta demanda de energía que requiere, el costo del catalizador y la poca reutilización de los catalizadores. Siendo las soluciones

recomendadas para estos desafíos la búsqueda de catalizadores más baratos, la regeneración de catalizadores y la optimización general del proceso.

Rodríguez (2019) demostró que la termovalorización es un proceso de conversión termoquímico, el cual es capaz de transformar los desechos plásticos en productos de alto valor y contenido energético. Los procesos de transformación pirolítica ofrecen el potencial de solucionar el manejo adecuado de residuos y, al mismo tiempo, la producción de combustibles alternativos, favoreciendo el aprovechamiento de desechos contaminantes y que pueden ser transformados en un recurso energético de utilidad. El rango de temperaturas fue de 500 a 700 °C, siendo 500 °C el nivel que mejor rendimiento dio, con rampa de calentamiento de 20°C min, tamaño de partícula de 5 mm, nitrógeno como gas de arrastre a un flujo de 40 mL min, isoterma de 30 minutos y en un reactor tubular de acero inoxidable. Se encontró que a una mayor temperatura se generaba mayor cantidad de gas, mientras que una temperatura moderada resultaba en una mayor producción de ceras, mismas que se deben volver a descomponer por termovalorización a fin de producir el aceite combustible. A medida que aumenta el nivel de temperatura, el rendimiento de ceras disminuye y son menos consistentes, esto se debe a que se transforman en gases no condensables a altas temperaturas, por lo que los compuestos obtenidos son de menor peso molecular.

Por otro lado, Vargas (2020) comprobó que la termovalorización catalítica usando las zeolitas Z1 y Z2 son apropiadas para el tratamiento de residuos plásticos y que tienden a generar en mayor proporción gases pirolíticos y no generan residuos carbonosos; no se observaron diferencias en los líquidos y ceras pirolíticas; ya que realizó la termovalorización térmica y catalítica del polipropileno usando dos catalizadores, las zeolitas Z1 y Z2 sintetizados a partir de la ceniza volcánica; a un ratio catalizador/polímero de 1% y 2% y se comparó con una zeolita sintética (ZSM-5). La zeolita Z2 al 1% fue la que generó un mayor rendimiento de gases pirolíticos ($51.52 \pm 5.32\%$), la zeolita Z1 al 2% generó el mayor rendimiento de ceras pirolíticas ($21.69 \pm 2.21\%$) y la Z1 al 1% generó el mayor rendimiento de líquidos pirolíticos ($36.48 \pm 5.85\%$). Con la zeolita Z2 a un 1% usando los desechos plásticos se obtuvo un $50.29 \pm 3.92\%$ de gases pirolíticos.

En tanto que Cudjoe, D., Brahim, T. y Zhu, B. (2023), afirma que la termovalorización ha surgido recientemente como una técnica ecológica para la recuperación de energía y materiales a partir de residuos plásticos; en su investigación demostró que la termovalorización de residuos plásticos mixtos arrojó 359,29 Mt de petróleo, que tiene un potencial energético de 1.060,86 GWh. El análisis económico indicó que el

proyecto es viable y rentable con un valor presente neto positivo (US\$8,80 millones) y un índice de rentabilidad (1,26) superior a 1. El proyecto tiene un período de recuperación de 10,6 años, costo nivelado de energía de US\$0,0752/kWh, 22,5%. retorno de la inversión y tasa interna de retorno del 13,0%. Los resultados de la evaluación del ciclo de vida muestran que la conversión de residuos plásticos mixtos en aceite de termovalorización para la generación de electricidad durante el período del proyecto tiene un potencial de calentamiento global (GWP) total de 1.311,4 kt CO₂eq.

Alvarado y Reyes (2022), obtuvieron combustibles líquidos para motores mediante la elaboración de un equipo de la termovalorización capaz de soportar temperaturas superiores a 350 °C, empleando como materia prima principal desechos plásticos domésticos, siendo seleccionados los empaques de polietileno de baja densidad (PEBD) y empaques doypack, los cuales se encuentran constituidos a partir de láminas de polietileno (PE) y polipropileno (PP), para posteriormente mediante varias pruebas determinar el rendimiento de ambos materiales, obteniendo así un 15.79 % y 67.83% respectivamente. A partir de los destilados obtenidos, se realizaron diversos análisis físico-químicos, como son: agua y sedimento, viscosidad a 40 °C, porcentaje de carbón residual y cenizas, corrosión, punto de combustión, punto de humo, punto de congelamiento, destilación ASTM, e índice de cetano, con el fin de poder conocer si los parámetros analizados coinciden con los rangos establecidos por la norma INEN de productos derivados del petróleo, y así determinar con qué tipo de combustible tiene mayor similitud, pudiendo ser diésel, gasolina o Jet A-1, concluyendo que los resultados obtenidos presentaron mayor similitud con el Diésel 2 y Diésel Premium

Combinando estos dos la termovalorización térmica y catalítica, Miskolczi et al. (2016) la denominaron co-planta de termovalorización termo-catalítica de residuos plásticos derivados de petróleo y desechos plásticos municipales. Los desechos plásticos municipales fueron llevados al proceso de co-planta de termovalorización junto con aceite pesado derivado del desecho plástico en un reactor agitado a 500°C usando como catalizadores a la β -zeolita, γ -zeolita y m-Ni-Mo. Se investigó el efecto del cociente del aceite pesado/desecho plástico municipal con las características del producto de termovalorización obtenido. Al usar el catalizador y reusar los aceites pesados obtenidos en el proceso de termovalorización se consiguió altas producciones de aceite de termovalorización y gas. 12 además, se observó que el tipo de catalizador podría estar afectando el proceso especialmente en la concentración de hidrógeno, isobutano y isopentano en los gases obtenidos. Un

bajo coeficiente entre el desecho plástico/aceite pesado y un catalizador seleccionado podría disminuir eficientemente la concentración de contaminantes y aumentar el contenido valioso del hidrocarburo.

Así también, Al-Salem et al. (2017) analizaron la termovalorización térmica y la catalítica de los desechos plásticos, comprobando que esta técnica se lleva a cabo en una atmosfera libre de oxígeno por lo que no produce dioxinas y se reduce las emisiones de monóxido y dióxido de carbono; por lo tanto la termovalorización de residuos sólidos plásticos (PSW) ha ganado importancia debido a que tiene mejores ventajas respecto de la contaminación ambiental y la reducción de la huella de carbono de los productos plásticos al minimizar las emisiones de monóxido de carbono y dióxido de carbono en comparación con la combustión y gasificación.

Por otro lado, la termovalorización catalítica tiene múltiples ventajas sobre la termovalorización térmica ya que mejora la eficiencia del proceso disminuyendo el tiempo de residencia y afecta en la selectividad del producto, además de que el uso de la zeolita genera productos de alta calidad que no requieren etapas de downstream posteriores. También determinaron que el rendimiento de los productos pirolíticos depende del tipo de plástico usado como materia prima. Además, observaron que el rango de temperatura de la termovalorización térmica está entre 350 a 900°C y que principalmente los productos obtenidos son los líquidos pirolíticos que son ricos en cadenas largas de carbón; sin embargo, según los estudios revisados se ha observado que la temperatura es un factor que tiene una mayor influencia en la concentración del producto pirolítico mientras que el tipo de polímero y el tiempo de residencia tiene una menor influencia en la distribución de los productos. El uso de catalizadores de tipo heterogéneos son los más empleados debido a que son más fáciles de separar de los productos pirolíticos (gases, líquidos o sólidos) y que soportan temperaturas de hasta 1300°C. Entre este tipo de catalizadores se ha empleado a las zeolitas como la HZSM-5, la zeolita Y ultraestable H (HUSY) y a la mordenita (HMOR). Asimismo, la selectividad de los distintos tipos de zeolitas es distinto obteniéndose un mayor rendimiento de líquidos con la zeolita HUSY que con la HZSM-5 al pirolizar HDPE y LDPE a 550°C.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Residuos sólidos

2.2.1.1. Definición

Un residuo se define como: Aquella sustancia u objeto generado por una

actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal (Gutiérrez, et al., 2020, p. 18); se entiende por residuos sólidos el material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, el dueño se convierte por ende en generador de residuos. Desde el punto de vista legislativo, en el Decreto Legislativo N° 1501, en el artículo 12° considera que “el material de descarte es considerado residuo sólido en caso haya perdido su utilidad como insumo por el transcurso del tiempo, detrimento de su calidad, razones sanitarias u otros factores y cuyo destino es la disposición final en rellenos sanitarios, de seguridad, u otra infraestructura. Asimismo, debe ser considerado residuo sólido cuando, sin haber perdido su utilidad vaya a ser destinado a una infraestructura de tratamiento o valorización residuos sólidos, cuya titularidad es una Empresa Operadora de Residuos Sólidos.”

Los gobiernos locales desempeñan una función esencial y significativa en la gestión completa de los desechos sólidos municipales. Tienen la responsabilidad de llevar a cabo la recolección, transporte y disposición final segura de estos residuos dentro de su área de influencia. Por lo tanto, deben desarrollar y aprobar herramientas de gestión ambiental, como el Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos, que establezca directrices y regulaciones para la gestión municipal a seguir (Huiman, 2023).

2.2.1.2. Clasificación de residuos sólidos

Se desarrollaron la clasificación basadas en la Ley N°27314, también conocida como la Ley General de Residuos Sólidos, promulgada mediante el D.L. N°147, para clasificar los diferentes tipos de residuos sólidos.

Según el ámbito por su origen de residuos sólidos:

- **Residuo domiciliario:** Se refieren a los desechos tanto orgánicos como inorgánicos producidos en los hogares como resultado de las actividades diarias. La cantidad generada depende de los hábitos de consumo de los residentes.
- **Residuo comercial:** Son los desechos generados por las actividades comerciales de bienes y servicios, como supermercados, tiendas, restaurantes, bancos, entre otros.
- **Residuo de limpieza de espacios públicos:** Se trata de los desechos recogidos de las calles, aceras, plazas, parques, escuelas y cárceles, principalmente provenientes de peatones.
- **Residuo de establecimiento de atención de salud:** Son los desechos

generados en entornos de atención médica, como hospitales, clínicas, laboratorios y consultorios.

- **Residuo industrial:** Se refieren a los desechos producidos en procesos de extracción, transformación y producción en diversas industrias como la manufacturera, metalúrgica, pesquera, etc.
- **Residuo de las actividades de construcción:** Son los desechos resultantes de actividades de construcción y demolición de obras como edificios, puentes, carreteras, represas, entre otros.
- **Residuo agropecuario:** Son los desechos generados por actividades agrícolas, ganaderas y pesqueras.
- **Residuo de instalaciones o actividades especiales:** Estos desechos se producen en infraestructuras complejas con riesgos operativos como plantas de tratamiento de agua, puertos, aeropuertos, instalaciones navieras y militares.

Según el ámbito por gestión de residuos municipales:

- **Residuos Sólidos Municipales:** Son aquellos residuos generados en el ámbito de la gestión municipal están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias; cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública en todo el ámbito de su jurisdicción (Minan, 2019).
- **Residuos de no ámbito municipal:** Cualquier individuo o entidad, como el generador, una empresa de servicios, un operador, u otras personas involucradas en el manejo de residuos sólidos fuera de la gestión municipal, deben asumir la responsabilidad de gestionarlos de manera segura, sanitaria y ambientalmente apropiada, tal como lo dicta la ley, sus reglamentos y las normativas técnicas aplicables.

2.2.1.3. Tipos de plásticos

Los plásticos se clasifican en dos categorías principales: termoplásticos y termoestables.








- Los termoplásticos pueden ser calentados y enfriados repetidamente sin alterar sus propiedades químicas, lo que los hace aptos para el reciclaje. Estos son plásticos que se vuelven flexibles cuando se calientan y luego se endurecen al enfriarse, representando más del 80% de los plásticos disponibles en el mercado.

- Por otro lado, los termoestables no pueden ser remoldeados una vez que han sido moldeados. Estos son plásticos que se endurecen durante el proceso de fraguado y, una vez endurecidos, no pueden ser fundidos ni moldeados de nuevo, siendo aproximadamente el 20% restante del mercado

Además, los plásticos se diferencian según su composición y características, siendo identificados mediante códigos de identificación del tipo de resina (RIC, por sus siglas en inglés). Hay siete tipos de plásticos que se clasifican de esta manera (Plastiperú, 2023).

Figura 1

Categorización de los residuos plásticos

Código	Siglas	Nombre	Usos
	PET	Tereftalato de polietileno	Envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos, etc.
	PEAD (HDPE)	Poliétileno de alta densidad	Envases de leche, detergentes, champús, baldes, bolsas, tanques de agua, cajones para pescado, etc.
	PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, imitación de piel, y material de uso médico como catéteres, bolsas de sangre, etc.
	PEBD (LDPE)	Poliétileno de baja densidad	Bolsas para basura.
	PP	Polipropileno	Envases de alimentos, materiales para la industria automotriz, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, envolturas para protección de alimentos, pañales desechables, etc.
	PS	Poliestireno	Envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, rellenos, etc.
	Otros	Resinas epoxídicas	Adhesivos e industria plástica; industria de la madera y la carpintería; elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes, etc., espuma de colchones, rellenos de tapicería, etc.

Nota. Infografía de tipos de plásticos por Plastiperú (2023).

2.2.2. Residuos sólidos municipales

2.2.2.1. Definición.

Los desechos sólidos municipales se originan a partir del consumo o utilización de bienes o servicios. Esta categoría incluye residuos generados en viviendas, comercios, restaurantes, hoteles, mercados, instituciones públicas y privadas,

escuelas, así como en actividades de barrido y limpieza de áreas públicas (Ministerio del Ambiente, 2023).

Residuos municipales son definidos como aquellos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios; así como todos aquellos que tengan la calificación de peligros y que por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los producidos en los anteriores lugares (Ramos et al., 2005).

2.2.2.2. Gestión municipal.

Los municipios son órganos que asumen funciones para gobernar la localidad que representan, que responden a una estructura orgánica legal en el país. Santa María y Mállap (2015, p.22) lo definen como: “Pequeñas unidades territoriales de carácter administrativo de un estado, que pueden comprender una o varias localidades, basadas en relaciones de vecindad, gobernadas por un ayuntamiento, municipalidad, concejo o alcaldía, con una división de poderes encabezado por un ejecutivo unipersonal”.

Entonces la municipalidad es una sub-división de territorio de creación estatal que tiene como fin la realización de una labor directa y cercana de atención a las necesidades de la población. La gestión implica aquellas operaciones sistemáticas para administrar correctamente los recursos disponibles dentro de una institución, orientadas al logro de objetivos y metas previstas.

Gonzales, A. (2016), la definen como. “un conjunto de etapas unidas en un proceso continuo, que permite trabajar ordenadamente una idea hasta lograr mejoras logrando su continuidad” (p.14). Así, la gestión está referida a hacer uso y manejo sistemático de los recursos que dispone la organización para lograr los objetivos previstos.

La gestión, por tanto, es definida por Quiroz (2020, p. 12) como, el conjunto actividades coordinadas y sistemáticas que permiten un manejo óptimo de los recursos propios de una organización, a partir de la planificación, organización, dirección y control, con el propósito de lograr los objetivos previstos y alcanzar resultados óptimos.

Entonces se refiere necesariamente a las acciones sistemáticas en el manejo de recursos que se realizan básicamente dentro de la municipalidad, abarcando actividades de planificación, ejecución y evaluación su intervención; dentro de lo cual se establecen un conjunto de procedimientos orientados a garantizar la transparencia y sus resultados se evalúan según el desarrollo local alcanzado.

2.2.2.3. Beneficios de gestión ambiental municipal.

A partir de la gestión ambiental se puede lograr las metas previstas, las que están jerárquicamente definidas y estrechamente ligadas a la visión, misión y los objetivos; a través del establecimiento de las metas se logra orientar y dirigir correctamente las actividades planificadas en forma funcional hasta llegar a los parámetros esperados de calidad, otorgando importantes márgenes de rentabilidad y productividad esperados en la organización. La gestión ambiental en la municipalidad se facilita el logro de los objetivos previstos; a través de la planificación y ejecución de actividades estratégicas, disponiendo de los recursos del interno y del entorno; o sea se produce un aprovechamiento máximo y eficiente de los recursos disponibles.

Cortés (2016) afirma que: "permite a la organización demostrar su compromiso hacia todas las partes interesadas en la misma y cubre todos los aspectos del negocio, desde la calidad del producto y el servicio al cliente, hasta el mantenimiento de las operaciones y procedimientos". Pero también el manejo conlleva a acciones positivas que repercuten en el ambiente estas acciones son: Conservación de recursos, reciclaje, recuperación de áreas.

2.2.2.4. Manejo municipal de residuos sólidos.

Para Fernández (2019) debemos tener en cuenta que el sistema de gestión ambiental forma parte de la gestión empresarial, el mismo debe incluir: Planificación, Responsabilidades, Procedimientos, Procesos y Recursos que le permitan desarrollarse, alcanzar, revisar y poner en práctica la Política Ambiental.

Según el Reglamento del D.L. N° 1278 de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, del D.S N° 014-2017- MINAM, el manejo de residuos sólidos es definido como. "El conjunto de operaciones y procesos para el manejo de los residuos a fin de asegurar su control y manejo ambientalmente adecuado".

Respecto al Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en su artículo 10. ° señala es un instrumento de planificación en materia de residuos sólidos de gestión municipal; estos instrumentos tienen por objetivo generar las condiciones necesarias para una adecuada, eficaz y eficiente gestión y manejo de los residuos sólidos, desde la generación hasta la disposición final.

En el D.L. N° 1501 del 2020 que modifica el D.L. 1278, en el Artículo 32.- señala que el manejo de los residuos sólidos comprende las siguientes operaciones: segregación, barrido y limpieza de espacios públicos, recolección selectiva, transporte, almacenamiento, acondicionamiento, valorización, transferencia,

tratamiento y, por último, disposición final.

Entonces el manejo de residuos sólidos comprende fundamentalmente las etapas de recolección de residuos domiciliarios (informal por personas recicladoras, formal por la municipalidad) y el barrido de vías públicas, son transportados a las instalaciones de transferencia de residuos sólidos en la cual se descargan y almacenan temporalmente, el almacenamiento es definida en esta Ley como: la operación de acumulación temporal de residuos en condiciones técnicas como parte del sistema de manejo hasta su valorización o disposición final.

En el último párrafo del artículo 36° del Decreto Legislativo N° 1278. Los residuos sólidos deben ser almacenados, considerando su peso, volumen y características físicas, químicas o biológicas, de tal manera que garanticen la seguridad, higiene y orden, evitando fugas, derrames o dispersión de los residuos sólidos.

En la siguiente etapa de segregación, según el artículo 11° del D.L. N° 1278 el Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos es un instrumento técnico elaborado por las municipalidades, en el que se formulan estrategias para la segregación en fuente y el diseño de la recolección selectiva de los residuos sólidos que incluya la participación de las organizaciones de recicladores formalizados.

Mediante este proceso se agrupan determinados tipos de residuos sólidos con características físicas similares, con el fin de facilitar su aprovechamiento, tratamiento o comercialización mediante la separación sanitaria y segura de sus componentes; actividad previa a su comercialización; de allí pasa a la etapa de tratamiento (aplicación de tecnologías) si existiera y de allí a la disposición final que es la última etapa sea a través de rellenos sanitarios u otros.

Respecto a la valorización, se considera que la valorización constituye la alternativa de gestión y manejo que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos (Artículo 37° del D.L. N° 1501). Dicha operación consiste en la transformación química y/o biológica de los residuos sólidos, para constituirse, de manera total o parcial, como insumos, materiales o recursos en los diversos procesos; así como en la recuperación de componentes o materiales, establecida en la normativa.

La valorización se realiza en infraestructuras adecuadas y autorizadas para tal fin. Las actividades de valorización que se realizan de forma complementaria a las instalaciones industriales, productivas o de servicios, áreas de la concesión o lote de un titular de proyecto cuya actividad principal es la productiva o industrial, no constituyen infraestructuras de valorización.

2.2.3. Tecnología de valorización de los residuos plásticos

2.2.3.1. Definiciones

El método de valorización de los plásticos posconsumo consiste en un reciclado avanzado o recuperar lo que no se pueden reciclar mecánicamente, como, por ejemplo, los films multicapa, laminados, los residuos muy sucios, u otros que han estado en el mar y han sufrido una severa degradación ambiental por radiación ultravioleta. Otra ventaja es que se pueden recuperar los materiales termofijos o termoestables, como el poliuretano, fenólicos (baquelita, melamina), resinas epoxy.

Algunas tecnologías de valorización como el reciclado ofrecen la ventaja de que no requieren de una separación por tipo de plástico. Es decir, que se pueden tomar residuos mixtos, reduciendo así los costos de recolección y clasificación, y, a la vez, se obtienen productos finales de alta calidad.

2.2.3.2. Tecnologías de reciclado de residuos

Para Molina, Vizcaino y Ramírez (2007) “en el reciclaje del plástico se dan como puntos críticos: el conocimiento y/o la metodología como se realizan ciertas actividades, como por ejemplo la selección, el lavado, sistemas de molino, aglutinado y distribución de plantas entre otros”. El plástico reciclado es de gran importancia, ya que algunas empresas lo usan como materia prima, esta basa su importancia en la diferencia de precios que mantiene con el plástico original, en algunas ocasiones se mezclan los dos para obtener mejor calidad y mejor precio.

La reciclabilidad de los plásticos depende del tipo de plástico. Los termoplásticos pueden recuperarse mediante fusión. “Los residuos deben ser, en la medida de lo posible, de una sola clase de plástico, para que los nuevos productos tengan buenas propiedades” (LUND, 2011).

Al respecto la ONU (2021) considera que la contaminación por plásticos es una amenaza creciente en todos los ecosistemas, desde donde se origina la contaminación hasta el mar, y propone acelerar la transición hacia las energías renovables, eliminar subsidios y adoptar enfoques circulares lo cual ayudarán a reducir los residuos plásticos en la escala necesaria.

La economía circular ha sido identificada como modelo de transformación productiva capaz de emplear una nueva lógica para producir y consumir mediante la optimización de los recursos, la innovación tecnológica y el desarrollo de nuevos modelos de negocios (Fundación Ellen MacArthur, 2019; CEPAL, 2020). En el modelo de economía circular, representa un nuevo lenguaje global que integra principios de sostenibilidad a los modelos de producción y consumo. “La economía

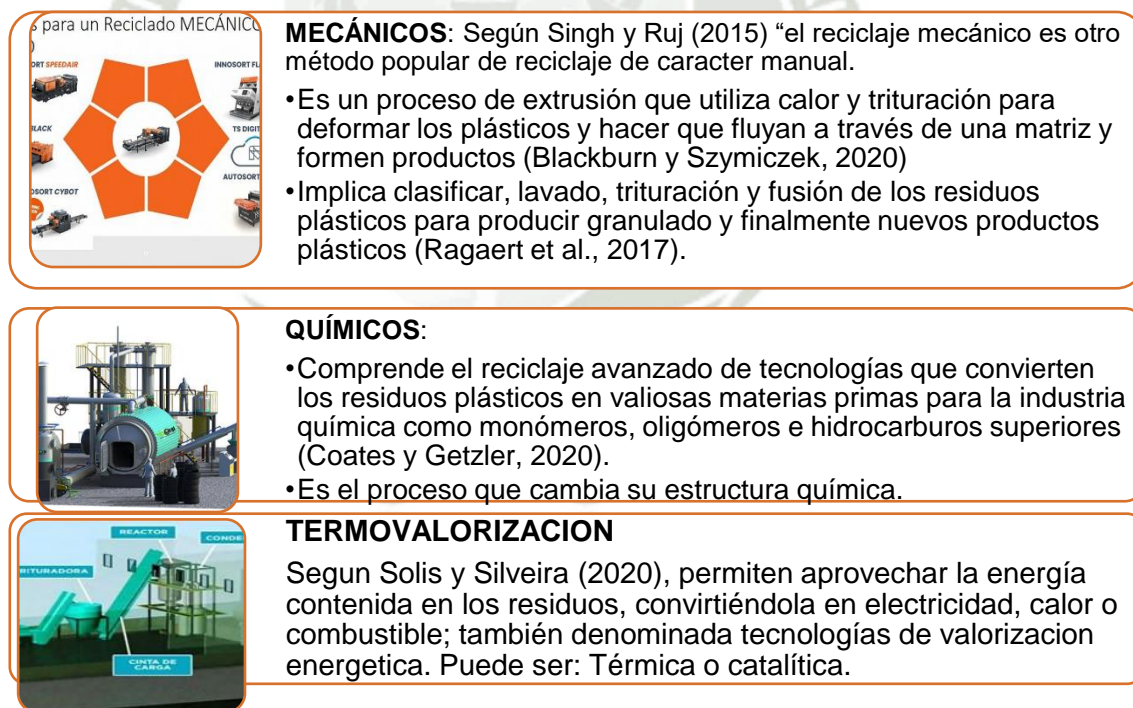
circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento. Esta definición tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor en todo momento (Van, Núñez y De Miguel, 2022).

La propuesta de la OCDE (2019), destaca la representación de la economía circular a partir de la cadena de valor o considerando las diversas etapas desde la extracción de materia prima, procesamiento, transformación, uso y disposición final. Y según Yamaguchi (2018), conecta la circularidad con nuevos flujos económicos a partir de la cadena de valor como son los negocios de nuevos servicios, negocios de productos y materiales de segunda mano, negocios de reparación, negocios en la gestión de residuos y negocios en materiales secundarios.

Los plásticos se pueden reciclar a través de diferentes tecnologías, agrupadas de la siguiente manera:

Figura 2

Tipología general de la tecnología



Fuente. Elaboración propia

A. Tecnologías de tratamiento químico: Procedimientos químicos empleados para modificar las propiedades de los residuos, como la degradación o neutralización de sustancias tóxicas.

Comprende a una familia de reciclaje avanzado de tecnologías que convierten los residuos plásticos en valiosas materias primas para la industria química como monómeros, oligómeros e hidrocarburos superiores (Coates y Getzler, 2020). Es el proceso de convertir desechos de polímeros en monómeros o hidrocarburos para producir materias primas químicas cambiando su estructura química. Esto se logra despolimerizando los residuos de polímeros, a veces en condiciones específicas, para producir monómeros que se repolimerizan para producir materiales poliméricos de calidad virgen (Hong y Chen, 2017). Estas materias primas pueden ser utilizados para producir plástico virgen sin deterioro de la calidad y sin restricciones en el tipo de aplicación (CEFIC, 2020).

Se utiliza en lugar del reciclaje químico, pero se refiere a los procesos de termovalorización, gasificación, hidrocrqueo o despolimerización de residuos plásticos (Davidson et al., 2021). La tecnología de reciclado mecánico tradicional es la primera opción a la hora de recuperar los plásticos. En función de la economía circular de los plásticos, han comenzado a desarrollarse nuevas tecnologías y estrategias de recuperación que complementan al reciclado mecánico, este conjunto de tecnologías se conoce como Reciclado Avanzado o Reciclado Químico de los plásticos.

Una de las tecnologías de reciclaje químico que ha alcanzado la madurez comercial es la termovalorización (Solis y Silveira, 2020). Existen distintas tecnologías que emplean procesos químicos y térmicos con catalizadores que descomponen los plásticos en productos similares al petróleo, aceites, combustibles y gases, que son materias primas que se emplean nuevamente para producir plásticos.

El procedimiento puede variar de una tecnología a otra, pero básicamente comprende las etapas de reducir tamaño y tratarlo con alguna combinación de agua, calor, presión y catalizadores, con lo cual se rompe la estructura del plástico en sus compuestos constituyentes originales. En ciertos casos se generan productos similares a los derivados del petróleo, gasolinas, gasoil, solventes, gases que se alimentan a las refinerías para producir nuevos plásticos.

Entre las tecnologías químicas o termoquímicas se encuentran:

a. Despolimerización: Volver a la materia prima: Esta tecnología consiste en devolver el polímero al estado de monómero cortándolo por sitios específicos. El objetivo es restablecer el plástico a su componente original.

Actualmente las tecnologías en desarrollo son: (a) Despolimerización térmica: que es calentar los plásticos a alta temperatura para obtener una solución

liquida con alto porcentaje del monómero original. Es especialmente adecuada para el poliestireno y el acrílico (PMMA). (b) Despolimerización química: consiste en usar un reactivo para descomponer la matriz polimérica. Esta técnica recibe distintos nombres según el reactivo utilizado: hidrólisis cuando el reactivo es el agua, alcoholólisis cuando se trata de un alcohol y glicólisis cuando se usa glicol. En particular, el PET, el polímero con el que se hacen las botellas de agua y gaseosas, es uno de los que suscitan mayor interés dentro del ámbito del reciclaje químico debido a que podría permitir a los fabricantes del sector cumplir los elevados niveles de incorporación de material reciclado aptos para contacto con alimentos.

El PET reciclado en forma de escamas –también denominado flakes– se emplea como una de las materias primas para la producción de resinas poliéster reforzadas con fibra de vidrio (PRFV). Mediante un proceso químico, el PET se incorpora a la resina poliéster, que tiene usos en la industria naval, chapas traslúcidas para techos y cerramientos, laminados compuestos de alta resistencia, etc. (ECOPLAS, 2020).

b. Quimiólisis: Consiste en provocar una inversión del proceso de polimerización por condensación. Esta técnica tiene como objetivo descomponer los polímeros de condensación en monómeros individuales o compuestos químicos que puedan utilizarse posteriormente. Para lograr este objetivo se emplean diversas reacciones, como glucólisis, hidrólisis, metanólisis y aminólisis, con la ayuda de disolventes específicos como etilenglicol, agua, metanol y etanolamina, respectivamente (Kumar et al., 2023, p. 11).

La quimiólisis, un proceso clave en el reciclado químico, abarca diversas tecnologías como la metanólisis, glucólisis, hidrólisis, alcoholólisis y aminólisis, que descomponen polímeros como el PET y la poliamida en monómeros y oligómeros. Estos productos purificados, obtenidos mediante filtración y aditivos, se convierten en materia prima de calidad virgen para fabricar nuevos materiales y productos industriales, especialmente útiles en aplicaciones como materiales en contacto con alimentos. Sin embargo, la quimiólisis requiere la separación y clasificación de residuos plásticos mixtos según sus propiedades, utilizando técnicas como flotación, filtración por fusión o detección de rayos X. A pesar de sus ventajas de integración en líneas de producción y menor consumo energético comparado con otros procesos químicos, la quimiólisis enfrenta desafíos como la rentabilidad en grandes volúmenes, su enfoque en plásticos homogéneos y la presencia de

contaminantes como metales pesados. Empresas como DuPont/DOW, Goodyear, Shell Polyester, Zimmer y Eastman Kodak tienen plantas comerciales que emplean estas tecnologías para la producción de monómeros purificados (Aponte, 2023).

c. Disolución: Esta tecnología se utiliza para aislar las cadenas moleculares sin romperlas. En este caso no intervienen sustancias químicas que modifiquen el polímero. En otras palabras, esta técnica permite reciclar el polímero sin tener que seguir el camino inverso hasta el monómero. Esta tecnología tiene numerosas ventajas. El polímero se purifica y se eliminan todos los aditivos o contaminantes. En la teoría, es prácticamente el proceso ideal porque requiere muy poca energía y los disolventes utilizados, como la acetona o el estireno, se pueden recuperar con facilidad después de su uso.

d. Gasificación: Es la tecnología que consiste en un proceso térmico que utiliza agentes gasificantes (p. ej., vapor, aire y oxígeno) para convertir los residuos plásticos en una mezcla gaseosa de CO₂, H₂, CO y CH₄ mediante oxidación parcial a altas temperaturas (500-1300 °C). La gasificación es uno de los enfoques emergentes y prometedores en el reciclaje termoquímico, donde la mayoría de los residuos plásticos pueden gasificarse incluso cuando el polímero está contaminado, lo que limita la necesidad de un tratamiento previo. También presenta varios beneficios frente a la incineración o los vertederos (Ciuffi et al., 2020).

La gasificación es un proceso que implica la oxidación parcial de desechos de plásticos mediante un agente oxidante, como vapor, oxígeno puro o aire, produciendo una mezcla de hidrocarburos y gas de síntesis. Esta mezcla puede ser utilizada para generar energía, hidrógeno o productos químicos. Entre las tecnologías relacionadas se encuentran la gasificación con oxígeno puro y vapor, que permite la producción de gas de síntesis para aplicaciones de síntesis y producción de nuevos productos plásticos, así como la posible producción de hidrógeno. Sin embargo, este proceso presenta desafíos como la necesidad de mejoras adicionales en el gas de síntesis, altos volúmenes de materia prima, formación de alquitrán y carbón, altos costos operativos y sensibilidad a contaminantes como los compuestos NO_x. Empresas como Enerkem en Canadá están operando plantas comerciales de gasificación para producir biometanol, etanol y etileno a partir de desechos plásticos (Aponte, 2023).

e. Licuefacción hidrotermal (HTL): Es una tecnología termoquímica para convertir materias primas, como desechos plásticos, en petróleo similar al

crudo dentro de un rango de temperatura y presión de 250 a 450 °C y 4 a 22 MPa, respectivamente, con la presencia de un solvente (Sánchez et al., 2022). Un entorno de reacción con alta presión y temperatura reduce la constante dieléctrica y la densidad del agua, lo que hace que las moléculas de agua sean menos polares y, por lo tanto, puedan disolver los componentes orgánicos en condiciones HTL. En comparación con la termovalorización, los productos producidos a partir de HTL pueden procesarse directamente sin previa clasificación.

f. Craqueo catalítico: Este es el proceso de craqueo de moléculas de hidrocarburos pesados a alta temperatura (es decir, 482 °C) en valiosas moléculas de hidrocarburos más pequeñas utilizando lechos de reactor (es decir, fluidos, móviles y fijos) y un catalizador para ayudar a los procesos de craqueo a promover un mayor rendimiento de gasolina (FQE, Chemicals, 2022). El único inconveniente de esta técnica es la producción de una gama completa de hidrocarburos más pequeños, desde metano hasta residuo, pero el producto se refina mediante fraccionamiento después de la regeneración del catalizador y utilizando parte del residuo como corriente de alimentación (FQE, Chemicals, 2022).

El craqueo catalítico es una tecnología de reciclado químico que implica la descomposición de desechos plásticos en presencia de un catalizador, como zeolita o silico-alúmina. Este proceso produce hidrocarburos líquidos con propiedades similares a los combustibles convencionales, optimizando la distribución y selectividad del producto y posiblemente logrando conversiones del 100% de los residuos plásticos. Aunque es sensible a la contaminación de la materia prima, requiere pretratamiento para eliminar componentes que puedan desactivar el catalizador. Las ventajas incluyen menores temperaturas de operación, mayores rendimientos del producto, menor consumo de energía y producción de carbón reducida, mientras que las desventajas incluyen la necesidad de pretratamiento y la susceptibilidad a la contaminación del catalizador. Las instalaciones industriales de craqueo catalítico están disponibles en varios países como Estados Unidos, Japón, India y Polonia, entre otros (Aponte, 2023).

g. Conversión catalítica: Los métodos para la conversión catalítica de plásticos, como la electrocatálisis y la fotocatalálisis, han ganado cada vez más consideración, a través de los cuales los desechos plásticos se pueden convertir en productos químicos y combustibles de valor agregado, o materiales con beneficios comerciales adicionales (Zhou et al., 2021).

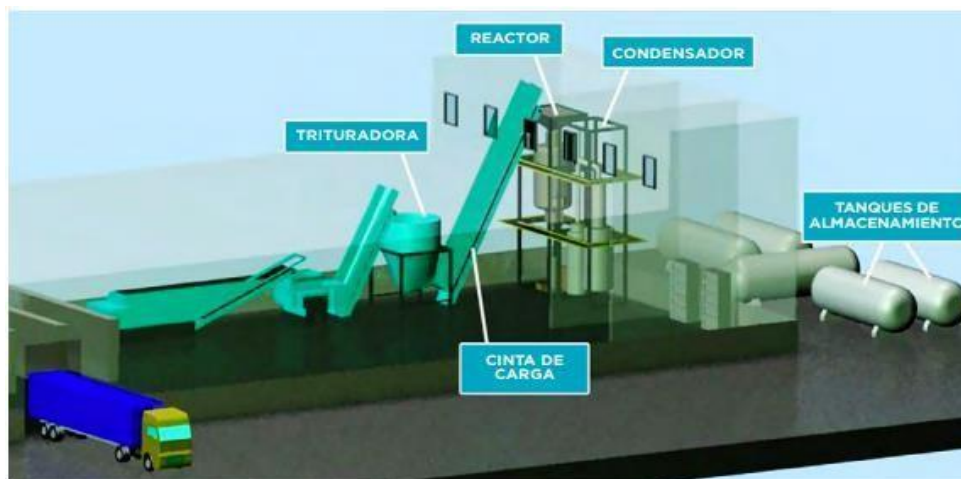
B. Tecnologías de tratamiento térmico: Procedimientos que involucran el uso de calor, como la incineración o pirólisis, para transformar los residuos en energía o materiales útiles.

C. Tecnologías de valorización energética: Permiten aprovechar la energía contenida en los residuos, convirtiéndola en electricidad, calor o combustible; también denominada tecnologías de termovalorización. Es una tecnología de reciclaje químico (Solis y Silveira, 2020); La termovalorización es una tecnología comercialmente disponible y completamente desarrollada, con plantas operativas en varios países como Estados Unidos, España, Japón, China y Alemania (Aponte, 2023).

Los gases producidos se denominan gas de síntesis (syngas) y contienen gases no condensables como H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, CO, CO₂, entre otros. Por último, el líquido resultante se conoce como biocombustible o combustible sintético, compuesto por olefinas, fenoles y compuestos aromáticos como benceno, naftaleno, antraceno, tolueno, indeno, entre otros, que carecen de oxígeno como sustitutos. La composición de cada una de estas corrientes está influenciada por la naturaleza y composición de los plásticos o residuos utilizados como materia prima en el proceso (Amar et al., 2019).

Las etapas del proceso consisten en:

La primera es la recolección y selección de plásticos, luego su molienda para luego ir al horno donde se lo calienta a alta temperatura en ausencia de oxígeno, las moléculas de plástico se rompen y se transforman en aceites, gasoil, solventes, naftas y gases combustibles. Esto permite reciclar los plásticos, proveer de combustible a “La Trochita” y contribuir considerablemente al impacto positivo sobre el ambiente. Su combustión, como la de los así llamados combustibles limpios producirá solo CO₂ y vapor de agua. La capacidad de la planta es de lotes de 1.000 Kg que se procesan en aproximadamente 8 horas. Trabajando en proceso continuo son 5 Tns/día. La inversión es de aproximadamente 150.000 U\$S sin infraestructura. En Río Negro, Argentina Los residuos plásticos son convertidos en combustibles”, la empresa TresB SRL instalará una planta semi industrial en la localidad de Ingeniero Jacobacci, Provincia de Río Negro. Allí, los plásticos provenientes de los RSU serán sometidos a altas temperaturas en un reactor para convertirse en combustibles líquidos que se utilizan para el funcionamiento de La Trochita, un conocido tren turístico de la Patagonia argentina.

Figura 3*Tecnología de termovalorización*

Nota. Infografía del proceso tecnológico de termovalorización por ECOPLAS (2020).

El procedimiento puede variar de una tecnología a otra, pero básicamente comprende las etapas de reducir tamaño y tratarlo con alguna combinación de agua, calor, presión y catalizadores, con lo cual se rompe la estructura del plástico en sus compuestos constituyentes originales. En ciertos casos se generan productos similares a los derivados del petróleo, gasolinas, gasoil, solventes, gases que se alimentan a las refinerías para producir nuevos plásticos.

Existen dos tipos de termovalorización:

a. Termovalorización térmica como su nombre lo indica se lleva a cabo de forma endotérmica, puesto que, es necesario que durante el proceso se apliquen temperaturas superiores a 300°C para que se produzca la descomposición química del material, dando como resultado que el plástico regrese a sus puntos principales por el craqueo de las moléculas que lo conforman, originando la formación de compuestos más simples y por consiguiente la producción de combustibles, los cuales se caracterizan por poseer un alto poder calorífico (Lojano, 2020).

Es un proceso termoquímico que descompone materiales poliméricos de cadena larga en moléculas más pequeñas en un ambiente inerte o con oxígeno limitado” (Kumar et al., 2023, p.5). El objetivo es crear un monómero, la materia

prima de todo polímero, ya sea en uno o varios pasos. Convierte a los residuos plásticos (mezclados) en sus componentes originales, lo que permite que vuelvan a ser materia prima de calidad para volver a producir dicho material. Por lo tanto, es una forma de cerrar el ciclo de la economía circular. Se la conoce también como “plásticos a combustibles” o, en inglés, plastics to fuel. Así es como los plásticos reciclados por este método vuelven a ser utilizados en la fabricación de envases alimentarios, asegurando la seguridad del contenido y el bajo peso de los paquetes, que a su vez reduce el consumo de nafta y la emisión de gases durante el transporte (ECOPLAS, 2020).

b. Termovalorización catalítica: La termovalorización es una tecnología de reciclado químico que implica una reacción de craqueo térmico en ausencia de oxígeno, lo que rompe la macroestructura del polímero y genera monómeros o productos de tipo combustible. Se utiliza un catalizador durante el proceso, el mismo que tiene la facultad de favorecer ciertos parámetros durante la reacción. Cumple con las mismas condiciones con las que se lleva a cabo la termovalorización térmica, sin embargo, al emplear el uso de un catalizador durante la reacción provoca que la velocidad de la misma aumente y por lo tanto la temperatura de reacción sea menor, además que los productos resultantes poseen un mayor rendimiento debido a la selectividad que presentan algunos catalizadores. (Moreno & Sáenz, 2018).

Pero en ambos casos se llevan a cabo en ausencia de oxígeno y requieren la intervención de una fuente de calor para que se produzca la ruptura de la cadena de carbonos que conforman el plástico. (Alvarado y Reyes, 2022). Al aplicar la termovalorización a desechos plásticos, se obtiene un combustible de alto poder calorífico que puede ser utilizado en motores a gas para generar electricidad. Esta tecnología permite ajustar los parámetros del proceso para optimizar el rendimiento del producto, siendo especialmente adecuada para tratar residuos plásticos difíciles de despolimerizar, como envases multicapa y mezclas heterogéneas de plásticos.

En este proceso “los residuos plásticos se descomponen termoquímicamente a elevadas temperaturas, en ausencia de oxígeno” (López et. al., 2017) para cumplir con los mismos estándares de calidad que la materia prima virgen, frecuentemente se hace necesaria la clasificación de los residuos plásticos mixtos (MPW) y purificar la salida de termovalorización sin embargo esta tecnología todavía se está desarrollando en EEUU. Y Reino Unido, existen muy pocas plantas y en la actualidad una de las pocas plantas que funciona a nivel

mundial es la ágil e en Estados Unidos (Jeswani, 2021, p.2).

Estudios realizados respecto a la evaluación del impacto del reciclaje químico tanto en Reino Unido como en Países Bajos y Europa sugieren que el impacto de la termovalorización y otras tecnologías de reciclaje de productos químicos en el cambio climático es significativamente menor que la incineración (Jeswani et al., 2021, p. 2).

El reciclado avanzado contribuye con la optimización y el ahorro de los recursos naturales al reducir el consumo de petróleo crudo para la industria petroquímica. El tratamiento de los residuos plásticos no puede ser resuelto solamente por uno u otro proceso, se tienen que analizar las diferentes alternativas de valorización.

La ONU Medio Ambiente (2018) señala que se deben adoptar acciones que concuerden con la jerarquía de gestión de residuos y con el enfoque de economía circular. Al respecto, enfatiza que en primer lugar se debe minimizar la generación de residuos de plástico, luego señala que es imperante mejorar los servicios de recolección de residuos sólidos, fortalecer la industria del reciclaje y garantizar la disposición de los residuos en infraestructura adecuada y autorizada.

Por su parte, la Fundación Ellen MacArthur, propone el desarrollo de un nuevo modelo de la economía del plástico sobre la base de la economía circular y cuyos objetivos son mostrados en la figura siguiente:

Figura 4

Objetivos de la economía del plástico según la Fundación Ellen MacArthur



Nota. Infografía de objetivos de nueva economía de residuos por Ellen MacArthur (2016).

Esta propuesta es un rediseño de la economía del plástico para lograr su integración, coordinación y normalización. Por ejemplo, el desarrollo e introducción de nuevos polímeros y productos elaborados con plástico deberían estar coordinados con el desarrollo del correspondiente sistema de reciclaje o reúso de estos nuevos productos; o la identificación e introducción de materiales sustitutos debe estar sustentada en una sólida base científica y un análisis del ciclo de vida de los referidos materiales.

Existen distintas tecnologías que emplean procesos químicos y térmicos con catalizadores que descomponen los plásticos en productos similares al petróleo, aceites, combustibles y gases, que son materias primas que se emplean nuevamente para producir plásticos.

E. Tecnologías de tratamiento físico: Procesos físicos utilizados para transformar los residuos, como la trituración, compactación o desmontaje de objetos. “Los tratamientos físicos se emplean principalmente en la denominada pretratamiento de los residuos no obstante algunas veces estas técnicas se pueden usar como complemento de los métodos químicos y biológicos” (Castells, 2012, p. 64). Algunas de estas tecnologías son:

a. **La fotólisis o foto-degradación** (se basa en la utilización de la fracción del ultravioleta cercana de la radiación solar, con una potente acción oxidante) se ha utilizado con éxito para tratar de DDT(Dicloro-Difenil-Tricloroetano), PCB (policlorobifenilo), etc. Las microondas pueden ser útiles para tratar productos orgánicos conjunto ebullición por debajo de su temperatura de descomposición.

b. **El reciclado del PVC mediante solvente** Esta tecnología fue desarrollada por Solvay, es un proceso físico que no genera reacciones químicas y que permite reciclar PVC y es posible gracias a que éste permite su total solubilidad en determinados solventes. Durante el proceso, el PVC se disuelve y luego se recupera mediante la evaporación o precipitación. Y así se obtiene el PVC granulado, que se puede reutilizar.

El solvente se recupera y se purifica en un circuito cerrado y se vuelve a emplear. Las impurezas, metales y otros plásticos no se disuelven y se separan para su posterior tratamiento (ECOPLAS, 2020).

2.2.4. Economía circular

La economía circular se centra en reducir los residuos mediante la reutilización y el reciclaje de materiales para generar nuevos productos. Este enfoque económico promueve un uso más efectivo de la energía renovable mientras elimina contaminantes y químicos perjudiciales (Moscoso et al., 2019).

La economía circular está siendo cada vez más reconocida globalmente como una alternativa para disminuir la dependencia de recursos primarios y energía, al mismo tiempo que se presenta como una opción económicamente viable en contraposición a la economía lineal.

En este modelo, los productos se diseñan con la intención de ser duraderos, reutilizables y reciclables, utilizando materiales provenientes de productos antiguos para la fabricación de nuevos productos. Se busca maximizar la reutilización, la remanufactura y el reciclaje, transformando los desechos en materias primas o fuentes de energía, y solo se descartan como último recurso. Este enfoque puede impulsar la adopción de prácticas de producción más sostenibles y favorecer el crecimiento económico y el desarrollo industrial inclusivo y sostenible, alineado con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (MINAN, 2019).

La economía circular se presenta como una oportunidad para crear industrias verdes, transformar las existentes y reducir el impacto ambiental de los procesos productivos y sus desechos (Ministerio de producción, 2018).

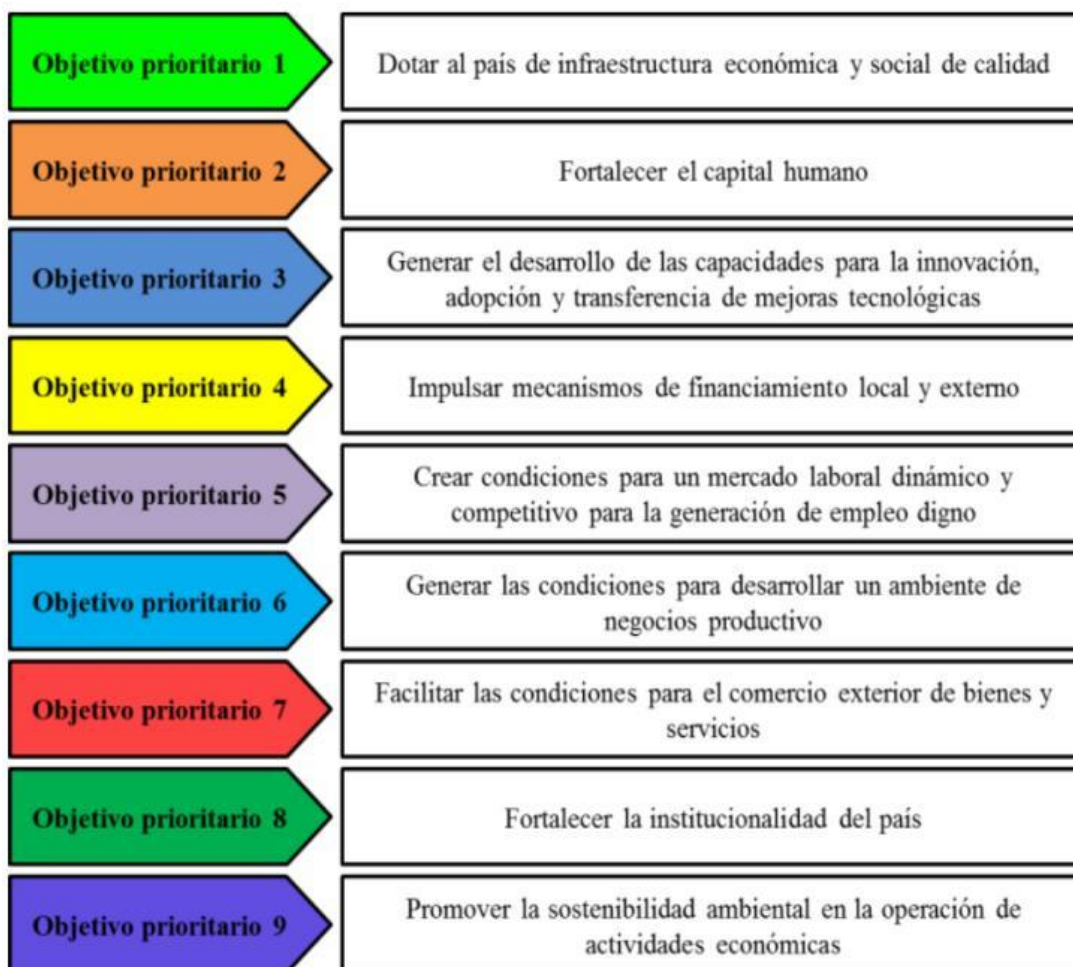
El gobierno peruano ha implementado políticas empresariales que se detallan en el documento resumen del Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030, enfocándose en la preparación hacia un país más ecoeficiente.

Dentro de estos objetivos prioritarios se destaca la política 9, que busca fomentar la sostenibilidad ambiental en las actividades económicas operativas.

El cumplimiento de estas políticas busca optimizar el uso de nuestros recursos naturales y adoptar métodos de producción y modelos de consumo que impulsen la transición hacia una economía circular. Esto conlleva a una serie de impactos positivos en la competitividad de Perú (Consejo Nacional de Competitividad y Formalización, 2019).

Figura 5

Medidas de política por objetivo prioritario



Nota. Infografía de medidas de política por objetivo prioritario adoptado, por Consejo Nacional de Competitividad y Formalización (2019).

2.3. Marco legal

El Decreto Legislativo N° 1278, del Reglamento 014-2017, sobre la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, orientada a asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública.

Los Planes alineados al PLANRES deben renovarse cada cinco (05) años y deben contener como mínimo lo siguiente: Diagnóstico, objetivos estratégicos, metas y un plan de acción, donde se precisen las actividades, responsables, indicadores, cronograma de implementación para mejorar la gestión y manejo de residuos sólidos en toda la jurisdicción. También debe considerar los mecanismos y

actividades de seguimiento y evaluación de avances y resultados.

Artículo 19.- se refiere a la segregación en la fuente, esto según las características físicas, químicas y biológicas, con el objeto de facilitar su valorización y/o disposición final.

Artículo 20.- se regula sobre el almacenamiento de residuos sólidos municipales, como responsabilidad de cada municipalidad

Artículo 35°. - se regula sobre el manejo de residuos sólidos municipales en centros de acopio

Artículo 36.- señala las municipalidades pueden realizar las operaciones de valorización de residuos sólidos municipales y dar prioridad.

Artículo 37.- regula sobre las Plantas de valorización material o energética de residuos sólidos

Artículo 38.- Verificación de las metas nacionales de valorización Constitución Política del Perú de 1993.

Leyes:

- Ley N° 28611: Ley General del Ambiente: Indica los principios y normas para representar el derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, además del cumplimiento de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente y sus componentes, con la finalidad de mejorar la calidad de vida y lograr el desarrollo sostenible del país.
- Ley N° 28245: Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental: La presente Ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales, fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental y a las entidades sectoriales, regionales y locales en el ejercicio de sus atribuciones ambientales, con el objetivo de garantizar que cumplan sus funciones.
- Decreto Supremo 014-2017- MINAM: Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos: Se modifica principalmente en el Título V, Capítulo 1, Art. 37°: Valorización de Residuos Sólidos no municipales, donde la valorización es la opción de gestión y manejo que debe ser priorizada antes que la disposición final de residuos sólidos, teniendo en cuenta las siguientes opciones de valorización: el reciclaje, compostaje, reutilización, recuperación de aceites, bio- conversión, biochar, entre otras opciones según la disponibilidad

tecnológica del país.

- Ley N° 27972: Ley Orgánica de Municipalidades: En su normativa, en el art. 80°, indica que las funciones de las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud deben regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. Además de regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y otros elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.
- Ley N°30754: Ley Marco sobre Cambio Climático: Esta ley estipula en el art.16, Medidas de mitigación al cambio climático, que el Estado en sus tres niveles de gobierno, debe diseñar e implementar programas, proyectos y actividades orientadas a reducir el impacto y mitigar los efectos del Cambio Climático, considerando dentro de las actividades el cambio progresivo de los modelos de consumo de la matriz energética a energías renovables y limpias.
- Ley N° 30884: Ley que regula el plástico de un sólo uso y los recipientes o envases descartables: La ley tiene como objetivo establecer las normativas que regulen el uso de plásticos de un sólo uso, así como otros tipos de plásticos no reutilizables y envases desechables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas en todo el país. Su propósito principal es contribuir a garantizar el derecho de todas las personas a disfrutar de un entorno equilibrado y propicio para su desarrollo, reduciendo el impacto negativo de los plásticos de un sólo uso y otros contaminantes similares en la salud humana y el medio ambiente, especialmente en lo que respecta a la contaminación marina, fluvial y lacustre.
- Ley N° 29419 Ley que regula la actividad de los recicladores: El propósito de esta ley es establecer un conjunto de normativas que regulen las actividades de los trabajadores del reciclaje, con el objetivo de proteger, capacitar y promover su desarrollo social y laboral. Se busca fomentar su formalización y asociación, así como contribuir a mejorar la gestión ecológicamente eficiente de los residuos sólidos en el país. Estas regulaciones están en línea con los principios y objetivos establecidos en la Ley General de Residuos Sólidos y la Ley General del Ambiente.
- Decreto de Urgencia N° 026-2023 aprueba medidas extraordinarias en materia económica y financiera para otorgar una subvención económica a los recicladores formales a nivel nacional. Estas medidas buscan

proporcionarles el equipamiento e insumos necesarios para que puedan llevar a cabo sus labores de manera adecuada, especialmente en un contexto económico difícil donde se han visto afectados por el aumento de precios de insumos y la disminución de ingresos debido a la pérdida de valor en los materiales reciclados.





CAPÍTULO III
METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Según el enfoque, el tipo de investigación es cuantitativo y cualitativa. Se utiliza un enfoque cuantitativo para centrarse en aspectos observables susceptibles de cuantificación, aplicando metodologías empíricas analíticas y pruebas estadísticas para analizar los datos. Por otro lado, es cualitativo para comprender, explicar e interpretar las razones que explican el fenómeno estudiado. De acuerdo con Hernández et al. (2016), “el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base a la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

Respecto al nivel de investigación: Es explicativa, ya que busca explicar los motivos detrás de los fenómenos estudiados.

3.2. Diseño de investigación

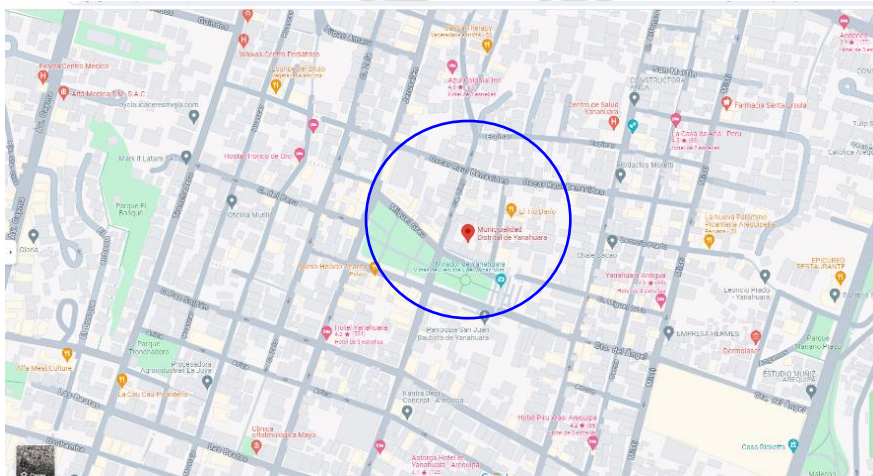
Presenta un diseño no experimental, ya que no se manipulará ninguna de las variables de la investigación, se basa únicamente en la observación del fenómeno tal y conforme se da en contexto natural, para después analizarla.

3.3. Ubicación espacial

La presente investigación tuvo como locación la Municipalidad de Yanahuara, ubicada en la Av. Miguel Grau N° 402, del distrito del mismo nombre, provincia y departamento de Arequipa. Yanahuara se caracteriza por ser un lugar estratégico para abordar temáticas relacionadas con la planta de valorización relacionado en la gestión de residuos de plástico.

Figura 6

Municipalidad distrital de Yanahuara



Nota. Infografía de Google maps.

3.4. Métodos de investigación

Se aplicaron las técnicas de encuesta, observación de campo y documental, a través de los instrumentos respectivos: Cuestionario, ficha de observación.

3.4.1. Realización de diagnóstico

Para la realización de diagnóstico de la producción y manejo de residuos plásticos en el distrito de Yanahuara, se aplicó la técnica de observación documental, extrayendo información del Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (EC-RS) del 2019 del área urbana del distrito de Yanahuara, para lo cual se ha realizado una descripción del servicio de manejo de residuos plásticos en el distrito de Yanahuara, permitiendo determinar las condiciones y características de su manejo en la Municipalidad; para tal efecto se solicitó la documentación respectiva y se consideraron tres aspectos fundamentales:

- La producción domiciliaria de los residuos plásticos en el distrito de Yanahuara
- Características del proceso de recolección
- Disposición de los residuos plásticos

3.4.1.1. Producción de residuos de plástico

Se determinó la producción de residuos plásticos a través de la descripción en primer lugar de la cantidad de viviendas que existen en el distrito de Yanahuara, y a partir de esta información se logró identificar la producción de residuos plásticos tanto a nivel de viviendas o domiciliaria (Kg/día) como a nivel percapite (Kg/día); información que sirvió de insumo para precisar sistemáticamente la cantidad de residuos sólidos plásticos que se producen en el distrito.

3.4.1.2. Manejo de los residuos plásticos

Se realizó una descripción del proceso de recolección de residuos plásticos, identificando la cobertura de recojo, caracterizando el número de puntos de recolección de estos en el distrito y definidos por la Municipalidad de Yanahuara; así mismo, se describió el número de contenedores y su ubicación en el distrito y el recojo de veces por semana.

3.4.1.3. Disposición de los residuos plásticos

Se efectuó una descripción de la forma en que se disponen los residuos plásticos describiendo sistemáticamente la cantidad en toneladas y porcentual de residuos plásticos que son reciclados, vendidos, reutilizados bajo la responsabilidad de la Municipalidad de Yanahuara.

3.4.2. *Diseño de la evaluación de tecnologías de valorización de los residuos plásticos*

3.4.2.1. Diseño de instrumento de recolección de datos

Se diseñó una encuesta de recopilación de datos definitivos en la evaluación de tecnologías de valorización de los residuos plásticos.

3.4.2.2. Validación del instrumento para la recolección de datos

La validación del instrumento se realizó según los principios del método Aiken.

Primera fase: Selección de expertos

En esta primera fase se consideró 3 pasos, primero la elaboración de una lista de expertos, segundo el cálculo de un coeficiente de competencias y por último determinar la cantidad de expertos que iniciarían la validación.

La validación de la encuesta fue presentada a un grupo de expertos con experiencia en diferentes áreas, dentro de las cuales se consideraron: Gestión de Residuos Sólidos, Planificación y Gestión Ambiental, Sistemas de Gestión Ambiental, Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

En el proceso de validación de la encuesta, en primer lugar se realizó un listado de expertos que cumplieran con ciertos criterios (Anexo 01), a quienes se les invitó a participar formalmente, para lo cual se les hizo llegar una carta de presentación respaldada por la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María (Anexo N°2), quienes respondieron al formato de Autoevaluación, elaborado en Google Forms (Anexo 03), en los que se consideraron los criterios principales para constatar la experticia, los que han sido sistematizados en la tabla siguiente.

Los criterios seleccionados para determinar la experticia, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Criterios para la selección de expertos

Requisito	Tipo de experticia	Puntaje	Interpretación
Coeficiente de conocimiento	Experticia de conocimiento	1 al 10	Nivel de Conocimiento del experto en materia de Gestión de Residuos Sólidos, Planificación y Gestión Ambiental, Sistemas de Gestión Ambiental, Ciencias y Tecnologías Medioambientales.
Años de experiencia	Experticia en el área	Menos de 2 años 2 a 4 años 5 años a más	Años de experiencia en el campo del área de Gestión de Residuos Sólidos, Planificación y Gestión Ambiental, Sistemas de Gestión Ambiental, Ciencias y Tecnologías Medioambientales.
Grado académico del candidato	Experticia de Conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Doctorado y más estudios • Magister • Título profesional • No cuenta con estudios superiores. 	Máximo grado académico obtenido por el experto

Nota. Información de criterios de evaluación de un instrumento basada por Cruz, M. y Martínez, M. (2012) y López, E. (2018).

Segunda fase: según los resultados de autoevaluación, se realizaron los cálculos respectivos sobre el coeficiente de competencias (K_{comp}), que se obtuvo a partir de la siguiente ecuación matemática propuesta en López, E. (2018).

Fórmula 1

Coeficiente de Competencia

$$K_{comp} = 0.5 (K_c + K_a)$$

Fuente. López (2018).

Donde:

K_{comp} : Coeficiente de competencias

K_c : Coeficiente de Conocimiento

Ka: Coeficiente de Argumentación

Donde (Kc) es el conocimiento que cada experto tiene sobre el tema, mientras que el (Ka) son los criterios que tiene cada uno de ellos. El Kc se calculó a través de una autoevaluación del experto en una escala 0 - 10, multiplicado por 0,1. Y el Ka se determinó por la autoasignación del experto a varios criterios que argumenten su condición de experto (López y Gómez, 2018).

Se exponen los indicadores para el cálculo del Coeficiente de Competencias:

Tabla 2

Criterios e Indicadores para selección de los expertos

Condición	Criterio de Evaluación	Puntaje/ Escala	Indicador
Coeficiente de Conocimiento (Kc)	Escala de conocimiento	Puntaje del 1-10	Nivel de Conocimiento del experto en área de Gestión de Residuos Sólidos, Planificación y Gestión Ambiental, Sistemas de Gestión Ambiental, Ciencias y Tecnologías Medioambientales.
Años de experiencia (Ka1)	Alto	-0.5	- De 5 a más años
	Medio	-0.3	- entre 2 y 4 años
	Bajo	-0.1	- menos de 2 años
Grado Académico del candidato (Ka2)	Muy Alto	-0.5	- Doctorado y más estudios
	Alto	-0.4	- Magister
	Medio	-0.3	- Título Profesional o Bachiller
	Bajo	-0.1	- No cuenta con estudios Superiores

Nota. Información de criterios e indicadores de evaluación basado en el método de Delphi por López, E. (2018).

El instrumento validado fue aplicado al personal que labora en la Municipalidad, presentándose como evidencias:

Figura 7

Evidencias del instrumento



Nota. Infografía de para la recogida de información orientado al personal de la municipalidad.

3.4.3. Scoring para seleccionar la tecnología de valorización

Se determinó la mejor tecnología disponibles en el mercado para la integración de la economía circular, lo que permitió optar por aquella viablemente factible que logró satisfacer los requerimientos de la municipalidad; el procedimiento seguido fue el siguiente:

- a. Se realizó una búsqueda, localización y comparación de las diferentes alternativas encontradas en el mercado.
- b. Valorización: Para la valorización de las alternativas y posterior selección, se utilizó el método “Scoring”, el cual, se aplicó para identificar la alternativa adecuada en un problema de decisión multicriterio (Vejo y Roche, 2005). Consta de las siguientes etapas:

- Identificar la meta general del problema. Se determinó como meta general del problema la “elección de una tecnología de valorización de residuos plásticos factible y viable.
- Identificación de las alternativas. Se tomaron las tecnologías de valorización (tratamiento y reutilización) de los residuos sólidos plásticos revisadas en el marco teórico para su comparación:
 - Termovalorización
 - La despolimerización (térmica, química)
 - Quimiólisis
 - Disolución
 - Gasificación
 - Licuefacción hidrotermal
 - Craqueleo catalítico
 - Conversión catalítica
- Listado de criterios a emplear en la toma de decisión. Se tomaron en cuenta criterios relevantes como:
 - Emisiones a la atmósfera
 - Calidad de resultados
 - Consumo de energía eléctrica
 - Capacidad de producción
 - Inversión
- Asignación de una ponderación. Según la importancia se asignó un puntaje ponderado para cada uno de los criterios listados, de mayor a menor, tal como se evidencia en la tabla siguiente:

Tabla 3

Valores de importancia

Valores	Significado
5	Muy importante
4	Importante
3	Importancia media
2	Poco importante
1	Muy poco importante

Nota. Información de rangos de valoración en escala Likert por Gonzales & Pérez (2021).

Tabla 4

Ponderación de criterios según importancia

Valores	Significado
Emisiones a la atmósfera	5
Calidad de resultados	5
Consumo de energía Eléctrica	2
Capacidad de producción	3
Inversión	2

Nota. Información de criterios de ponderación por Gonzales & Pérez (2021).

- Calcular el Score para cada una de las alternativas Se determinó el Score de cada alternativa mediante la siguiente ecuación:

Fórmula 2

Ecuación Cálculo del Score de la alternativa

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Fuente. Gonzales & Pérez (2021)

Donde:

S_j: Score para la alternativa j

w_i: Ponderación para cada Criterio i

r_{ij}: Rating de la alternativa j en función del Criterio i

- Ordenar las alternativas en función del Score. La alternativa con el Score

más alto representó la alternativa a escoger.

3.4.4. Método de costo beneficio económico

Se realiza el análisis costo beneficio con el fin de medir la relación entre los costes con los beneficios que otorga la alternativa tecnológica seleccionada para determinar la rentabilidad de su aplicación.

El valor del costo-beneficio se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos Totales Netos (VAN) o beneficios netos entre el Valor Actual de los Costos de inversión (VAC) o costos totales, la fórmula es la siguiente:

Fórmula 3

Costo y beneficio

$$C/B = \frac{\text{ingresos totales netos}}{\text{costos totales}}$$

Fuente. Alvarado (2018)

El procedimiento realizado fue el siguiente:

1° Establecimientos de costos

Se asigna un valor monetario de los costos que generaría la implementación de la tecnología seleccionada:

Se definen las instalaciones y mobiliario requeridos; así como las maquinarias que se utilizarán según la tecnología seleccionada, entre ellas: las trituradoras, secadores, sistemas de bombeo, tanques de almacenamiento, colectores, cintas transportadoras y sistemas de control, etc. Asignándoles los costos respectivos según los referentes promedio del mercado.

También se seleccionan los materiales que se utilizaran como: reactores o materiales de reacción (catalizadores), materiales de limpieza, etc.; de igual manera se les asigna el costo respectivo.

Por otro lado, se considera los costos de los recursos humanos que comprende los salarios que se pagaran a los trabajadores, cuya base promedio es el que la municipalidad paga a los trabajadores según la categoría laboral.

También se consideran los gastos por mantenimiento, los costos de transportes y los servicios de agua y electricidad demandados.

2° Determinación de beneficios. Al implementar la tecnología seleccionada a partir de la reutilización de los residuos plásticos recogidos en el distrito se obtendrá combustible, considerado el beneficio; se considerarán los ingresos anuales que se obtendría con la valorización de combustible producido, teniendo en cuenta la cantidad de Kilogramo de residuos plásticos y su equivalencia en galones de combustibles y según la capacidad de producción.

3° Relación costo-beneficio. Se convierten los costos y los beneficios a un valor actual. Se halló la relación costo-beneficio (C/B), que es igual a los ingresos totales netos divididos por los costos totales: Si el análisis de la relación C/B es mayor a 1 significa que es rentable, mientras que si es igual o menor a 1 indica que no es rentable.

Determinación del VAN (Valor Actual Neto) y la Tasa Interna de Retorno (TIR):

- Se estableció el flujo de efectivo, el cual se realiza a través de la proyección de ingresos, en este caso se consideran 5 años; así también se proyectan los gastos en este mismo periodo de tiempo.
- Se determinó la tasa de descuento o rendimiento mínimo deseado como producto de la inversión (costo de oportunidad o el riesgo asociado).
- Se calcularon los flujos de efectivo descontados (tasa de descuento a cada uno de los flujos de efectivo proyectados), dividiendo cada flujo de efectivo entre $(1 + \text{tasa de descuento})^n$, donde "n" representa el número de periodos en el futuro.
- Se sumaron los flujos de efectivo descontados (suma todos los flujos de efectivo ya descontados para obtener el valor total).
- Finalmente se restó la inversión inicial con lo que se obtuvo el valor actual neto (VAN). Si el resultado es positivo, significa que genera un flujo de efectivo mayor a tu tasa de descuento y, por lo tanto, es una inversión favorable.

También se aplicó la Tasa Interna de Retorno (TIR)

- Se elaboró la matriz con los datos requeridos
- Se usa los datos del flujo de caja

Se aplicó la fórmula respectiva:

Fórmula 4

Tasa Interna de Retorno

$$TIR = \frac{\text{Valor final} - \text{Valor inicial}}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

Fuente. Alvarado (2018)

3.4.5. Procedimientos administrativos


En cuanto a la recolección de datos de fuentes secundarias, se llevó a cabo varias actividades esenciales.

- Primero, se realizó una búsqueda y selección exhaustiva de información documental relevante para el estudio. Esta etapa implica identificar y recopilar fuentes de datos que aporten valor y contexto al estudio.
- Posteriormente, la información recopilada fue organizada y clasificada de manera sistemática. Este paso es crucial para facilitar el análisis posterior y asegurar que los datos estén disponibles de manera ordenada y accesible. Una vez organizada, la información fue objeto de un análisis detallado.
- Finalmente, se procedió a la sistematización de la información. Esta etapa implica integrar y sintetizar los datos de manera coherente y estructurada, lo cual es esencial para garantizar que la información.

Por otro lado, para llevar a cabo el estudio, se deben seguir los siguientes procedimientos administrativos:

- En primer lugar, para el estudio se gestionó y se tuvo todas las autorizaciones necesarias de las autoridades competentes.
- Una vez obtenidas las autorizaciones pertinentes, se procedió a aplicar los instrumentos y métodos planificados en el entorno real.

Este proceso de implementación se adaptó a las condiciones específicas del contexto en que se llevó a cabo, garantizando así la relevancia y efectividad de las acciones emprendidas.



CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico de residuos plásticos en Yanahuara

En el marco del diagnóstico de la situación actual del distrito de Yanahuara, se han identificado aspectos relevantes relacionados con su ubicación, zonificación, generación per cápita de residuos plásticos, marco legal y objetivos del Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) 2023.

a. En cuanto a la producción de residuos plásticos en el distrito:

En la jurisdicción del distrito de Yanahuara, según el INEI (2017), existen un total de 9,033 viviendas; con 25417 habitantes (según el censo del 2017); este distrito es el segundo mayor generador de residuos sólidos, después del distrito de Arequipa, generando una cantidad percapite 1.175 kg/hab/día. La densidad promedio de los residuos sólidos en Yanahuara es de 137.30 kg/m³ por día, (Municipalidad distrital de Yanahuara, 2019).

En cuanto a la generación de residuos plásticos, en el distrito es de 27.79 Kg promedio por semana.

b. Respecto al manejo de los residuos:

Se instalaron contenedores para la recepción de residuos sólidos domiciliarios pero los vecinos le dan un uso inadecuado desbordando la capacidad del contenedor o/u colocando a su costado, en las veredas. Actualmente en el distrito se viene desarrollando el Programa de Segregación en la Fuente, contándose con el apoyo de viviendas del distrito, siendo así que los vecinos que están inscritos en el programa separan sus residuos sólidos reciclables en bolsas azules, las cuales son entregadas por las asociaciones formalizadas de recicladores que trabajan en el distrito como parte del programa.

c. Horarios y rutas priorizadas para la recolección selectiva:

A partir de los diversos predios inscritos el recojo de los residuos sólidos se hace de manera planificada a través de un ruteo por zonas (18 rutas), según días y turnos lunes, miércoles y viernes o de martes, jueves y sábado; se inicia a las 12:58 hasta un promedio de 8.30 am.; también se incluyen ruta de repaso. (Ver anexos)

En el distrito de Yanahuara el barrido se realiza en forma manual en las avenidas y urbanizaciones tomando en cuenta como una medida promedio de 40 cuadras por persona equivalente 2 km de barrido (recorrido promedio de 2000 metros lineales por día). Este recorrido puede disminuir en caso de que las zonas de barrido no sean pavimentadas o requieren una atención especial.

d. Contenedores: Estos se ubican a lo largo del distrito existen un total de 321 contenedores.

- Operativos: En esta categoría está conformado por un grupo de personas con la función de recoger montículos y/o acumulación de tierra, productos del barrido de los espacios públicos, vías transitorias y aceras con la herramienta de trabajo adecuados sin perjudicar con la integridad y la salud de la persona obrera y publica
 - Barrido: El servicio de barrido de calles se realiza diariamente, cubre una superficie estimada de 36,85 Km y se recolectan 400 Kg/día.
 - Recojo de residuos sólidos: Para una mejor distribución de las rutas en el recojo de los residuos sólidos se establecieron 7 sectores.
 - Recolección y Transporte: A partir de los diversos predios inscritos se determinaron un total de 17 rutas, las cuales se dan a lo largo de la semana. Cabe resaltar que dichas rutas se dan siempre durante el transcurso de la mañana
 - Valorización: Actualmente solo se cuenta con un centro de acopio destinado para los residuos del distrito de Yanahuara, este se encuentra en el distrito de Yura en el kilómetro 18.
- d. Disposición Final:** Los residuos generados en el Distrito de Yanahuara que no son valorizados y tienen como disposición final la Planta de Valorización de Residuos Sólidos del Distrito, tienen como disposición final el Botadero Controlado de Quebrada Honda, la administración del servicio es dada por la Municipalidad Provincial de Arequipa.
- e. Seguimiento y monitoreo:** La etapa de seguimiento y monitoreo comprende un conjunto de actividades de gestión que permiten verificar si el Plan de Manejo de Residuos Sólidos va marchando según lo planificado. La Gerencia de Servicios a la Comunidad y Protección al Ambiente a través de la División de Residuos Sólidos, será la Unidad Orgánica responsable del seguimiento periódico de la implementación del PMR, la cual será la encargada de coordinar y articular los esfuerzos y acciones con todas las instituciones locales involucradas directa e indirectamente en la gestión de los residuos sólidos.

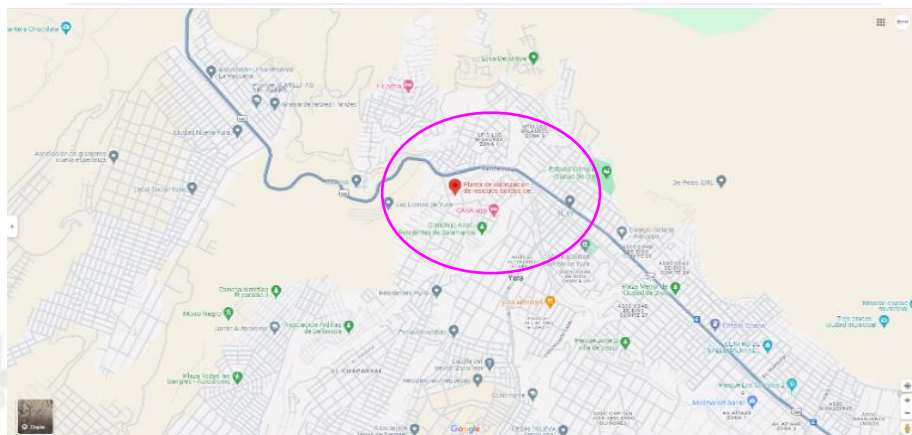
4.1.1. Ubicación de la planta de residuos sólidos

La municipalidad distrital de Yanahuara en el 2008 puso en funcionamiento una planta de residuos sólidos ubicada en el cono norte km. 17, en la carretera al distrito de Yura, en la Asociación de Granjeros y Pequeños Industriales Bellavista, Zona A, Manzana A, lote 7, con un área disponible de 3000 m². El personal que trabaja en esta planta son

17 personas. Los residuos que ingresan a esta planta son: Periódicos, papel, cartón, latas, vidrio, metal ferroso, en un promedio de 1.2 a 1.5 t/día.

Figura 8

Localización de la planta de valorización de residuos plásticos



Nota. Infografía de la Planta de reciclaje de la Municipalidad de Yanahuara por Google maps.

4.1.2. **Planta de valorización de residuos sólidos**

En cuanto a la generación per cápita de residuos plásticos, en Arequipa existe una generación aproximada de 950 toneladas diarias de residuos, por lo que se estima que el distrito produce 368.79 Kg/día de residuos sólidos municipales, con una densidad promedio de 137.30 kg/m³ por día, destacando la predominancia de materia orgánica en la composición de los residuos.

Figura 9

Planta de valorización de Yanahuara



Nota. Infografía de la Planta de reciclaje de la Municipalidad de Yanahuara por Google.

La planta de Valorización de Residuos Sólidos de la Municipalidad Distrital de Yanahuara es la primera en tratar plástico en Arequipa y la única planta recicladora en la zona. Está en funcionamiento desde 2008 y se ubica en el km 18 de la carretera hacia Yura. Mensualmente procesa alrededor de 40 toneladas de residuos, convirtiéndolos en nuevos plásticos, bolsas recicladas, reductores de velocidad, ojos de gato y papel comprimido.

Tabla 5

Generación de residuos sólidos en la provincia de Arequipa

Distrito	Población (2016)	GPC Domiciliaria (kg/hab./ día)	Generación Domiciliaria (t/día)	Generación No Domiciliaria (t/ día)	Generación Municipal (t/día)	GPC Municipal (kg/hab./ día)
Alto Selva Alegre	88 635	0.45	39.89	6.57	46.46	0.52
Arequipa	53 160	0.46	24.7	60.1	84.8	1.59
Cayma	100 434	0.59	59.96	12.6	72.56	0.72
Cerro Colorado	166 859	0.51	86.49	10.23	96.71	0.58
Characato	10 372	0.37	3.84	0.22	4.06	0.39
Jacobo Hunter	51 167	0.42	21.71	9.35	31.05	0.60
José Luis B. y Rivero	85 336	0.48	40.96	46.52	87.48	1.02
Mariano Melgar	55 421	0.41	22.72	2.32	25.04	0.45
Miraflores	50 777	0.43	22.26	8.84	31.1	0.61
Paucarpata	134 515	0.5	67.26	33.6	100.85	0.74
Sabandía	4432	0.293	1.3	0.1	1.4	0.31
Sachaca	20 989	0.53	11.15	5.8	16.94	0.80
Socabaya	79 367	0.53	42.06	8.41	50.47	0.63
Tiabaya	15 515	0.47	7.34	2.31	9.64	0.62
Uchumayo	13 437	0.48	6.54	0.68	7.22	0.53
Yanahuara	27 324	0.55	15.22	16.89	32.11	1.17
Yura	29 181	0.32	9.4	2.15	11.55	0.39
Total	986 921	0.492	482.78	226.68	709.46	0.71

Nota. Infografía de residuos sólidos, por Municipalidad Provincial de Arequipa (2017).

La generación de residuos sólidos urbanos en Arequipa es de 482.78 toneladas por día, mientras que la generación de residuos sólidos municipales alcanza

las 709.46 toneladas diarias, como se muestra en la tabla adjunta.

El distrito con mayor generación es Paucarpata, con 100.85 toneladas por día, mientras que Sabandía presenta la menor generación, con 1.4 toneladas diarias. Respecto a la Generación Per Cápita (GPC), el distrito de Cayma lidera con 0.597 kg/hab./día, seguido por Sabandía con 0.293 kg/hab./día, y el promedio general es de 0.492 kg/hab./día.

Se destaca que el distrito de Arequipa tiene la mayor GPC municipal con 1.595 kg/hab./día debido a la población flotante, seguido por Yanahuara con 1.175 kg/hab./día y José L. Bustamante y Rivero con 1.025 kg/hab./día, debido a la presencia de mercados y comercios en la Plataforma Andrés Avelino Cáceres en su jurisdicción.

Generación de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Yanahuara

En cuanto a la generación de residuos plásticos, en Yanahuara existe una generación aproximada de 18.53% diarias de residuos plásticos.

Tabla 6

Generación de residuos plásticos en el distrito de Yanahuara

Composición de residuos sólidos domiciliarios	
Tereftalato de polietileno	8,39 %
Polietileno de alta densidad	3,79 %
Polietileno de baja densidad	3,96 %
Polipropileno	0,69 %
Poliestireno	1,20 %
Policloruro de vinilo	0,50 %

Nota. Infografía obtenida del Reporte General del SIGERSOL (2023).

En cuanto a la generación de residuos no aprovechables, en Yanahuara existe una generación aproximada de 10.08% diarias de residuos no aprovechables

El Tecnopor tiene el menor porcentaje debido a La Ley N° 30884, que regula el plástico de un sólo uso y los recipientes o envases descartables como el tecnopor y las cañitas, la cual prohíbe el consumo de aquellos productos de

plástico que son innecesarios, es decir, aquellas que no se pueden reciclar o que representan un riesgo para la salud pública y/o el ambiente.

Tabla 7

Generación de residuos no aprovechables en el distrito de Yanahuara

Composición de residuos no aprovechables	
Bolsas plásticas	2,19 %
Papel higiénico/ Pañales/ Toallas sanitarias	4,36 %
Tecnopor (poliestireno expandido)	0,69 %
Envolturas de snacks, galletas, caramelos, entre otros	2,84 %

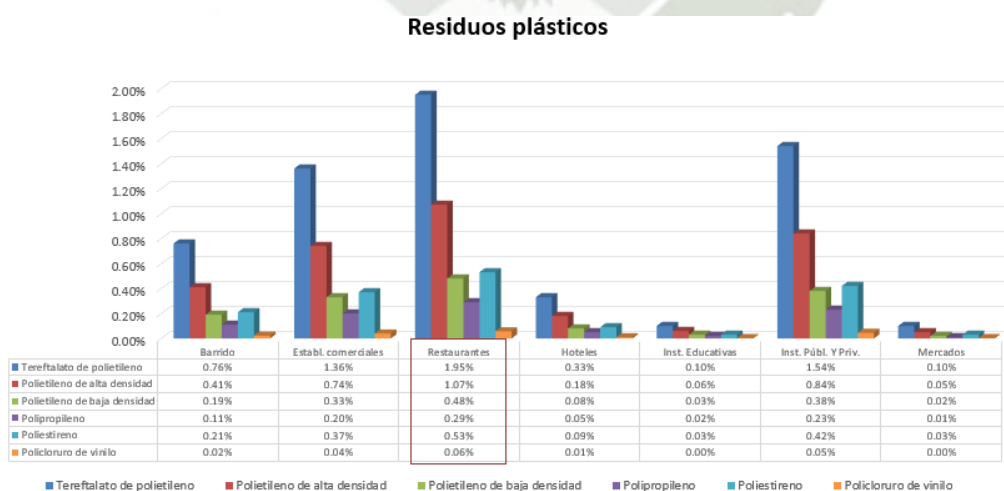
Nota. Infografía obtenida del Reporte General del SIGERSOL (2023).

Generación de residuos sólidos no domiciliarios en el distrito de Yanahuara

En cuanto a la generación de residuos plásticos no domiciliarios en el distrito existe una generación aproximada de 3.38% diarias de residuos plásticos por lo que los mayores generadores son los Restaurantes.

Figura 10

Generación de residuos plásticos no domiciliarios

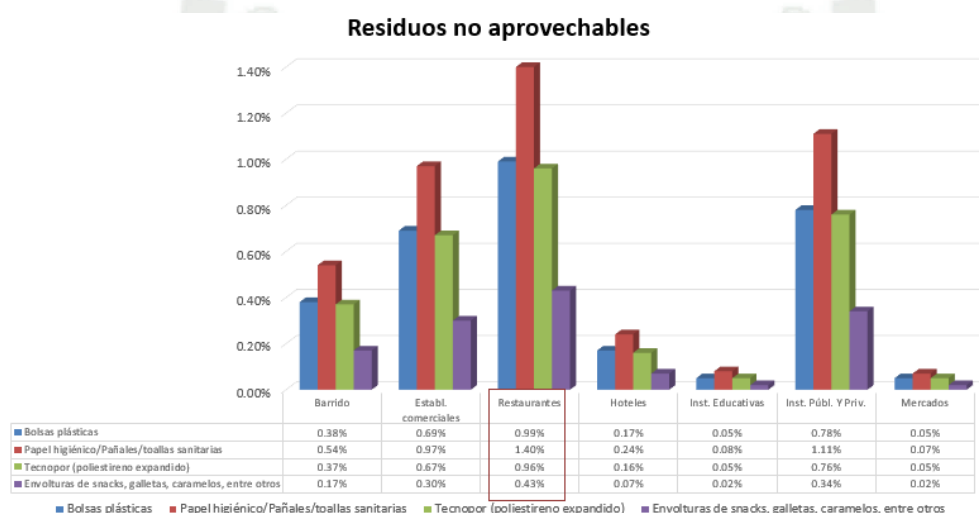


Nota. Infografía obtenida del Reporte General del SIGERSOL (2023).

En cuanto a la generación de residuos plásticos no domiciliarios, en Yanahuara existe una generación aproximada de 3.78% diarias de residuos no aprovechables, en las que los Restaurantes que son los mayores generadores

Figura 11

Generación de residuos no aprovechables no domiciliarios



Nota. Infografía obtenida del Reporte General del SIGERSOL (2023).

4.1.3. Recolección y almacenamiento de los residuos

El almacenamiento de residuos sólidos, tanto en entornos domésticos como públicos, se suele realizar en bolsas o cajas antes de ser entregados a las unidades de recolección. Sin embargo, es común encontrar lugares públicos donde se acumulan estos residuos, generando un aspecto descuidado y representando riesgos para la salud.

En la planta de reciclaje de Yanahuara, los residuos parcialmente segregados son llevados para su segregación final a través de una faja transportadora, donde el personal los coloca en sus contenedores correspondientes según su tipo.

4.1.4. Proceso de reciclaje en la planta

El proceso de reciclaje en la planta incluye etapas como la selección, molienda, lavado, secado, aglomeración, pelletización, extrusión de bolsas, embobinado, corte, sellado y verificación de medidas finales. Se produce un total de aproximadamente 5 mil bolsas reutilizables por semana, además de otros

productos como reductores de velocidad y tacos de seguridad.

- **Selección:** La selección de los materiales se llevaba a cabo de acuerdo con ciertas características.

Se separaban los materiales de alta densidad, como las bolsas de color, y los de baja densidad, ideales para el proceso, como las bolsas vírgenes de empaque de productos línea blanca o las bolsas de producción color naranja, que podían reciclarse hasta 3 o 4 veces.

Figura 12

Separación de residuos plásticos



Nota. Infografía de separación de residuos plásticos por la Municipalidad distrital de Yanahuara (2019).

- **Molienda:** El polímero era llevado a una máquina picadora o molino de plástico. En este proceso, las bolsas recuperadas del proceso de recolección ingresaban por la tolva de la máquina, donde se picaban y reducían su tamaño para obtener hojuelas de plástico más pequeñas.
- **Lavado:** Se lava el material seleccionado en un depósito empleando agua e insumos como: detergente y soda caustica.
- **Secado:** El material se seca en un área, ya sea de forma natural al aire libre o mediante una máquina de secado.
- **Aglomeradora:** El material es triturado de forma uniforme y lo coloca en bolsas de rafia para futuros procesos. Funciona de manera similar a una licuadora, con cuchillas que compactan el material al girar, generando fricción y calor. Esto reduce significativamente su tamaño, liberando polvo y tierra en el proceso.

Figura 13

Aglomeradora de residuos plásticos seleccionados



Nota. Infografía de selección de residuos sólidos por la Municipalidad distrital de Yanahuara (2019).

- **Pelletización y Corte:** La máquina de pelletización y corte elimina impurezas como tierra y partículas metálicas con un filtro. El material se calienta a 200°C durante 2 horas para derretirlo y moldearlo en fideos, que se enfrían en agua. Luego, se pasa por una picadora para cortarlo en pellets limpios de impurezas.

Figura 10

Pelletización y Corte



Nota. Infografía de residuos sólidos por la Municipalidad distrital de Yanahuara (2019)

- **Extrucción de Bolsas:** El proceso implica derretir los pellets para formar una bolsa de plástico longitudinal, ajustando su tamaño y añadiendo colorante durante el proceso. Una compresora sopla aire alrededor para crear una manga plástica, que luego se enfría y se moldea en rodillos para formar la bolsa completa. El color de las bolsas se determina al agregar colorante al derretir los pellets en la parte delantera del proceso, lo que cambia el color

de las bolsas.

Figura 15

Maquina extrusora de bolsas



Nota. Infografía de máquinas de residuos sólidos por la Municipalidad distrital de Yanahuara (2019).

- **Embobinado:** La bolsa en banda plástica longitudinal ya transformada pasa por un sistema de rodillos dándole la forma y consistencia deseada, para luego ser finalmente enrolladas en volumen de 30 kg. Aprox.

Figura 11

Embobinado



Nota. Infografía de residuos sólidos Municipalidad distrital de Yanahuara (2019).

- **Corte, Sellado y verificación de medida final:** En el proceso de corte, sellado y verificación de la medida final, los rollos de banda plástica se llevan a una máquina donde se cortan y sellan para obtener bolsas de medidas específicas (85cm x 56 cm). El personal manualmente jala, sella y corta las bolsas, generando lotes de 50 unidades por paquete. Estas bolsas se almacenan y se entregan vacías a los vecinos.

Figura 17

Corte, Sellado y Verificación de medida final



Nota. Infografía del proceso de residuos sólidos por la Municipalidad distrital de Yanahuara (2019).

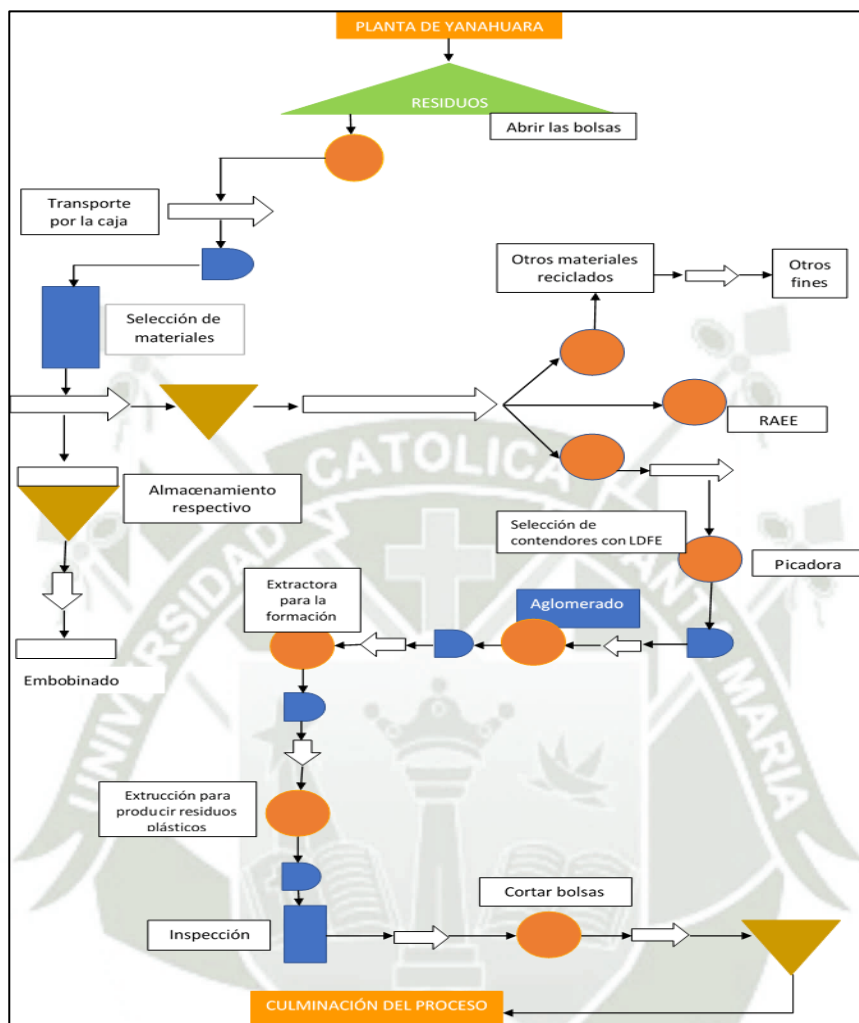
4.1.5. Diagrama de proceso

En este contexto se expone el diagrama general del proceso de fabricación de bolsas en la jurisdicción de Yanahuara donde se aprovechan los residuos para producir nuevas bolsas reutilizables. Mediante la economía circular, se distribuyen bolsas a los residentes para almacenar materiales reciclables, las cuales son recogidas y reintegradas al proceso de producción.

Desde 2018, la planta adoptó un enfoque más sostenible mediante la economía circular, distribuyendo bolsas a los residentes para almacenar residuos aprovechables y luego recojiéndolas para reintegrarlas al proceso. Produce aproximadamente 5 mil bolsas reutilizables por semana. Ocupó el 1er. lugar en la categoría "Perú Limpio" del premio Antonio Brack Egg, siendo la única municipalidad junto al Municipio de Lima en recibir este reconocimiento nacional. No obstante, se observan ciertas deficiencias en el Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos de Yanahuara (2023), como la falta de evaluación de tecnologías para el tratamiento y valorización de residuos, un presupuesto limitado, entre otros aspectos que reducen la eficiencia y efectividad del plan.

Figura 12

Diagrama de proceso de fabricación de bolsas de baja densidad



Nota. Infografía de proceso de fabricación de bolsas por Presbitero (2019).

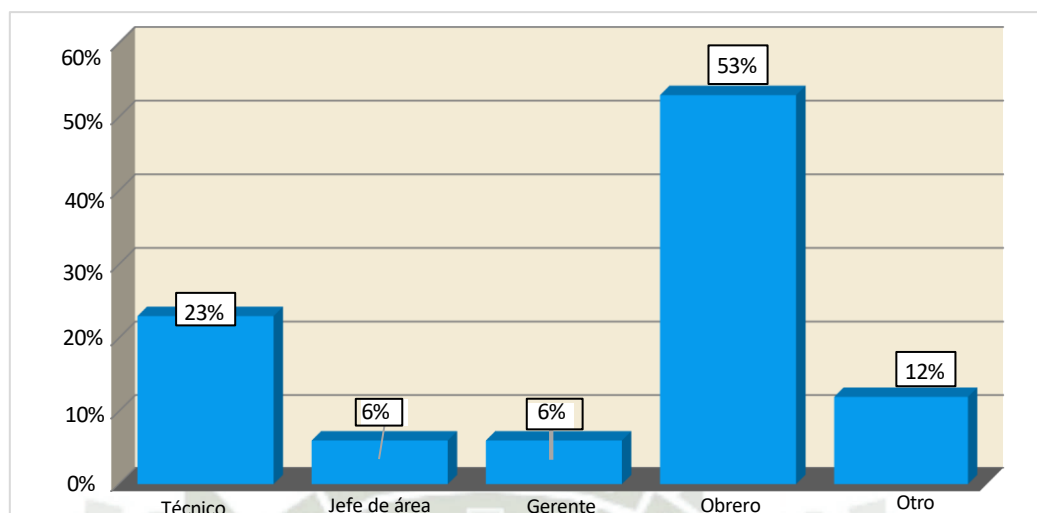
4.1.6. Resultados de la encuesta

Tabla 8

Puestos que desempeñan el personal

	ni	%
Técnico administrativo	3	23%
Jefe de área	1	6%
Gerente	1	6%
Obrero	9	53%
Otro	3	12%
Total	17	100%

Nota. Información extraída

Figura 19*Puestos que desempeñan el personal*

Nota. Información extraída

Se observa en la tabla 8 que, en la Gerencia de Servicios al ciudadano, gestión ambiental y seguridad ciudadana, el 53% del personal encuestado o el porcentaje mayoritario se desempeña como obrero; seguido del 23% o casi la cuarta parte del personal que se desempeña como técnico administrativo y el 6% se desempeña como Jefe de Área y en igual porcentaje como Gerente. Se precisa entonces que la distribución del personal que labora en la Gerencia de Servicios al ciudadano, gestión ambiental y seguridad ciudadana, es mayoritariamente obreros (algo más de la mitad) y en menores casos tienen puestos de mayor jerarquía o funcionarios (Gerente y jefe de Área). Estos resultados presentan coincidencias con Darko et al. (2023) y Kumar et al. (2023): Ambos autores destacan la importancia de implementar tecnologías de reciclaje y valorización de residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental. Coinciden en que la falta de gestión adecuada conduce a altos niveles de contaminación. Callewaert et al. (2023): Este autor menciona la legislación europea que promueve mejoras en el sistema de reciclaje de envases plásticos, lo cual concuerda con la necesidad de implementar medidas a nivel gubernamental para mejorar la gestión de residuos.

Tabla 9

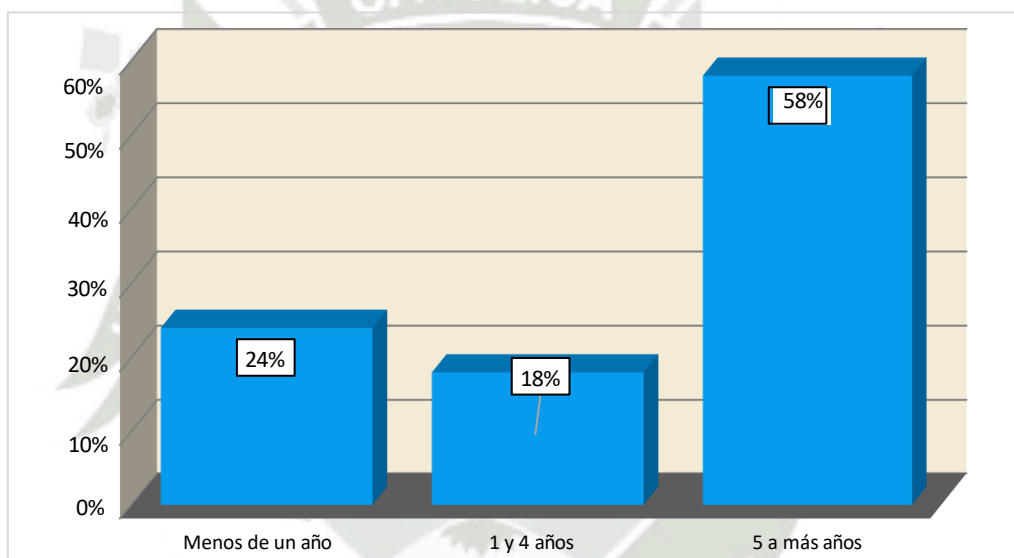
Tiempo que laboran en la Municipalidad de Yanahuara

	Ni	%
Menos de un año	4	24%
1 y 4 años	3	18%
5 a más años	10	58%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 20

Tiempo que laboran en la Municipalidad de Yanahuara



Nota. Elaboración propia

En la tabla 9 respecto al tiempo que laboran en la Municipalidad de Yanahuara se aprecia que la mayoría o el 58% de los trabajadores laboran más de 5 años; en tanto que algo menos de la cuarta parte o el 24% de los trabajadores labora menos de un año y el 18% labora entre 1 a 4 años.

Se precia entonces que la mayoría de los trabajadores de esta Área laboran en la Municipalidad tienen relativa permanencia, ya que laboran más de 5 años lo que favorece el desempeño laboral, a partir de la experiencia que tienen, y por ende conocen la problemática y estrategias que se van desarrollando en la Municipalidad y en el distrito.

Esto es consistente con el hallazgo de Mayta (2021), quien señala que el tipo de

residuos domiciliario más producido en Yanahuara es el plástico, lo que implica una problemática ambiental que requiere atención a largo plazo y experiencia en su gestión. Estos hallazgos contrastan con la investigación de Darko et al. (2023), donde se menciona que la falta de tecnología, recursos y programas coherentes contribuye a una mala gestión de los plásticos, generando altos índices de contaminación ambiental.

Esto sugiere que aún hay desafíos en la gestión adecuada de residuos plásticos en Yanahuara que necesitan ser abordados. Por otro lado, en cuanto a las oportunidades de emprendimiento y valorización de residuos plásticos, se destaca el trabajo de Salazar et al. (2022) y Bocanegra (2022), quienes demostraron la factibilidad económica y social de transformar residuos plásticos en productos útiles como tela para uniformes y lentes de sol.

Estos resultados resaltan la importancia de explorar alternativas de valorización de residuos plásticos en Yanahuara, como parte de una estrategia integral de gestión ambiental y desarrollo sostenible.

Tabla 10

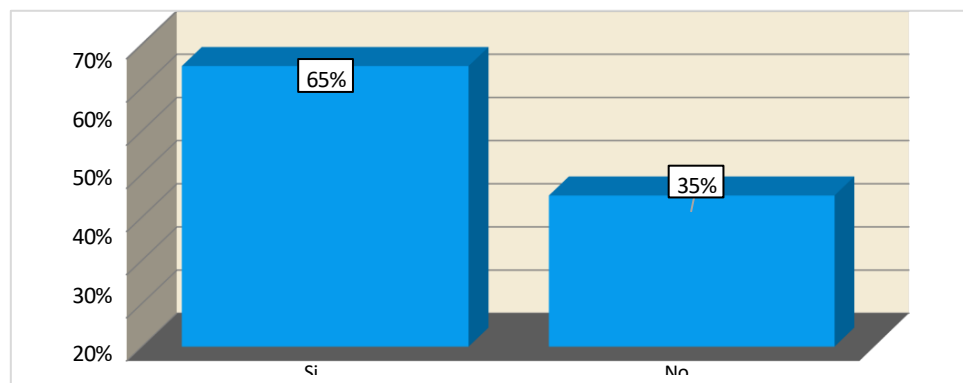
Programas y/o actividades para la gestión de residuos plásticos

	ni	%
Si	11	65%
No	6	35%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 13

Programas y/o actividades para la gestión de residuos plásticos



Nota. Elaboración propia.

En la tabla 10, el 65% de los trabajadores respondieron afirmativamente, al parecer tienen conocimiento del plan de gestión ambiental; en tanto que el 35% de los trabajadores no tienen conocimiento de la realización de programas y/o actividades de gestión de los residuos plásticos. Se precia entonces que la mayoría de los trabajadores encuestados si tiene conocimiento de la existencia de un programa de gestión de residuos plásticos, que estaría favoreciendo en la reducción del impacto ambiental en el distrito de Yanahuara.

En contraste con Pinzón et al. (2020), que demostraron la reducción significativa de residuos plásticos a través del reciclaje municipal en la ciudad de Barrancabermeja, se puede inferir que la concienciación y la implementación efectiva de programas de gestión de residuos plásticos pueden tener un impacto positivo en la reducción de la contaminación ambiental y la promoción de prácticas más sostenibles en la comunidad. Sin embargo, es necesario seguir trabajando en mejorar la cobertura y eficacia de estos programas para abordar de manera más completa el problema de los residuos plásticos y su impacto en el medio ambiente.

Tabla 11

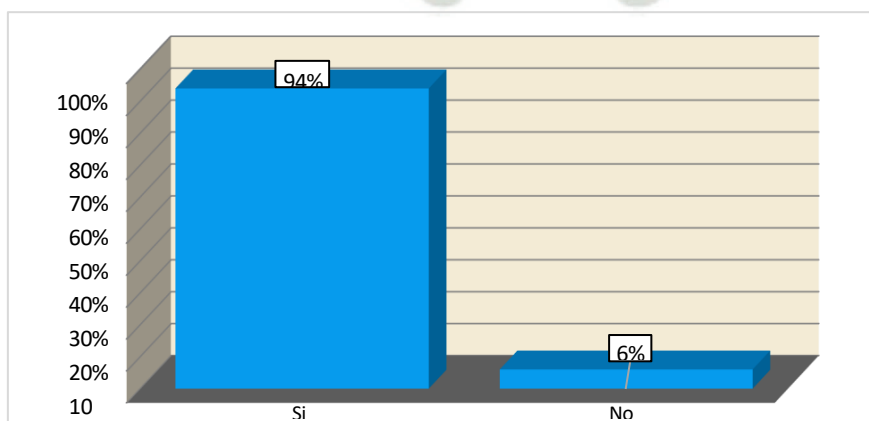
Conocimiento de la tecnología de valorización de residuos plásticos

	ni	%
Si	16	94%
No	1	6%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 22

Conocimiento de la tecnología de valorización de residuos plásticos



Nota. Elaboración propia

En la tabla 11 respecto a la existencia de una tecnología de valorización de residuos plásticos se aprecia que casi la totalidad o el 94% de los trabajadores afirman la existencia de una tecnología para la valoración de residuos, esto por cuanto tienen conocimiento de la planta de Valorización de Residuos Sólidos creado por la Municipalidad en el año 2008, que funciona a partir de un proceso de reciclaje y recuperación de los residuos plásticos para reutilizarlos y convertirlos en bolsas de plástico.

En tanto que solo el 6% de los trabajadores no tienen conocimiento al respecto. Se aprecia entonces que la mayoría de los trabajadores encuestados tienen conocimiento de una tecnología de valorización de residuos plásticos en la municipalidad de Yanahuara en la gestión ambiental. Este hallazgo es consistente con la investigación realizada por Salazar et al. (2022), donde se destaca la implementación de tecnologías para la valorización de residuos plásticos en la economía circular.

Este resultado es relevante en comparación con el estudio de Pinzón et al. (2020), que señaló la presencia de empresas recicladoras informales con bajo involucramiento de las autoridades, lo que podría indicar la necesidad de una mayor difusión y promoción de estas tecnologías entre la población.

Tabla 12

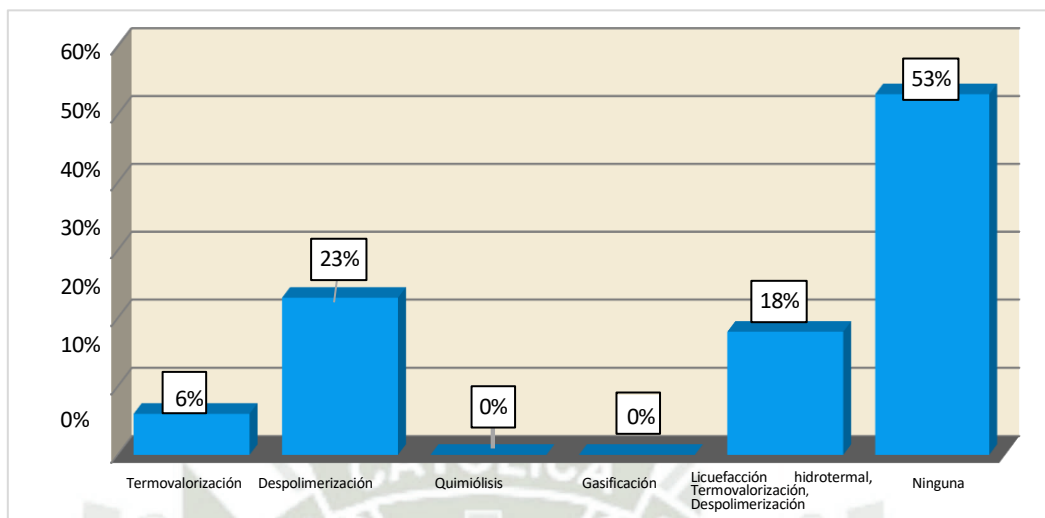
Conocimiento de tecnologías de valorización de residuos plásticos

	Ni	%
Termovalorización	1	6%
Despolimerización	4	23%
Quimiólisis	0	0%
Gasificación	0	0%
Licuefacción hidrotermal, Termovalorización, Despolimerización	3	18%
Ninguna	9	53%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 14

Conocimiento de tecnologías de valorización de residuos plásticos



Nota. Elaboración propia

Se observa en la tabla 12 que en la Gerencia de Servicios al ciudadano, gestión ambiental y seguridad ciudadana, el 53% del personal o el porcentaje mayoritario señaló que no conoce ninguna tecnología para reutilizar los residuos plásticos; en tanto que menos de la cuarta parte o el 23% del personal encuestado opinó que la tecnología que conoce principalmente es la despolimerización, que consiste en que todos los polímeros se despolimerizan a altas temperaturas, un proceso impulsado por un aumento en la entropía, generando cambios químicos que afectan dramáticamente su vida útil y las propiedades de estos.

Por otro lado, el 18% del personal encuestado conoce cuatro tecnologías: la Licuefacción hidrotermal, Termovalorización y Despolimerización; mientras que el 6% conoce únicamente la tecnología de Termovalorización; cabe señalar que en ningún caso conocen la Quimiólisis o la Gasificación. Se precisa que menos de la cuarta parte conoce la tecnología de despolimeración y en un reducido porcentaje conocen las tecnologías Licuefacción hidrotermal, Termovalorización y Despolimerización; sin embargo, según la mayoría de los trabajadores encuestados en la Municipalidad de Yanahuara no conoce ninguna tecnología para reutilizar los residuos plásticos.

Estos resultados contrastan con los hallazgos realizados por Kumar et al. (2023), quienes destacaron la importancia de la reutilización de residuos plásticos y la integración a la economía circular a través de diversas tecnologías, como la termovalorización, la despolimerización, la licuefacción hidrotermal y la quimiólisis.

Tabla 13

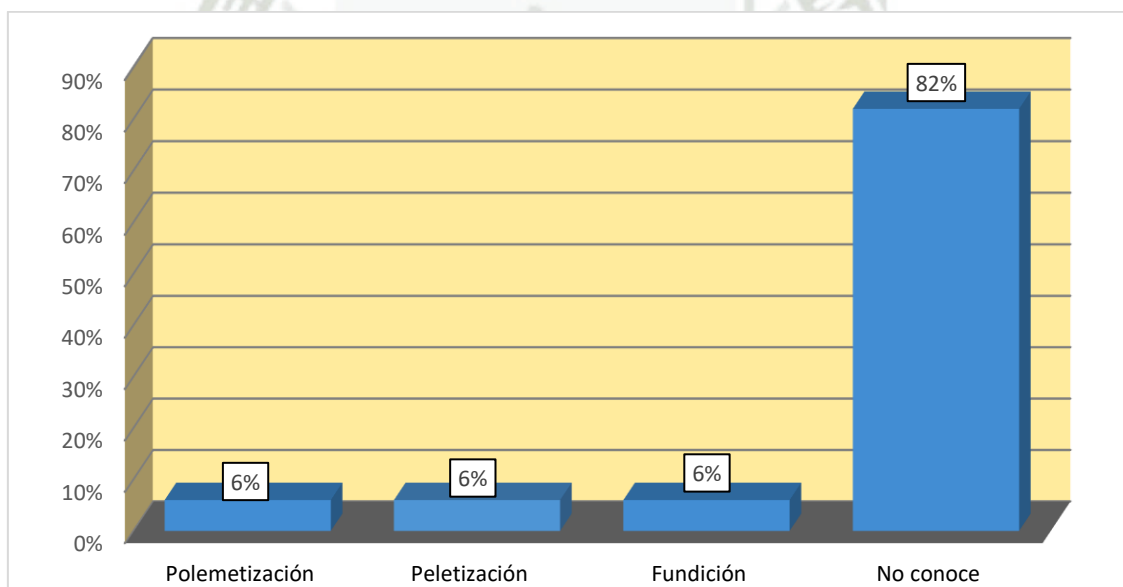
Aplicaciones de la tecnología de valorización de residuos plásticos

	ni	%
Si		
Polimerización	1	6%
Paletización	1	6%
Fundición	1	6%
No conoce	14	82%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 15

Aplicaciones de la tecnología de valorización de residuos plásticos



En la tabla 13 se aprecia que solo el 18% de los trabajadores encuestados si conocen alguna tecnología que se aplica en la valorización de residuos plásticos en Arequipa, en porcentajes iguales de 6% indicaron la polimerización, la peletización y fundición, respectivamente; en tanto que un relevante 82% no conoce alguna aplicación tecnológica en Arequipa. Se precisa entonces que la mayoría desconoce que se aplique la tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa.

En el estudio de Cudjoe et al., se demostró que la termovalorización de residuos

plásticos mixtos arrojó resultados positivos tanto en términos económicos como ambientales, con un potencial de generación de energía significativo y una reducción en la huella de carbono. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que la mayoría de los trabajadores encuestados en Arequipa no están al tanto de estas tecnologías de valorización, lo que sugiere una brecha importante en el conocimiento y la implementación de estas prácticas en la región.

Así mismo Kumar et al. (2023) y Darko et al. (2023) señalaron la importancia de implementar tecnologías de reciclaje y valorización de residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental y promover la economía circular. Estos estudios destacaron los beneficios y la viabilidad de diversas tecnologías como la termovalorización catalítica, el craqueo catalítico, y la gasificación para transformar residuos plásticos en productos de valor agregado y energía.

Tabla 14

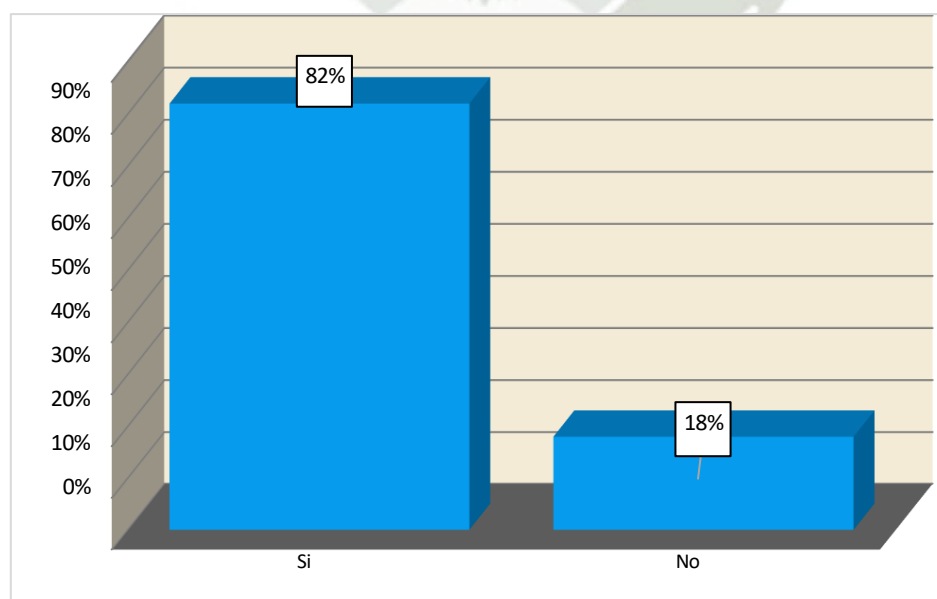
Involucramiento en proyectos o convenios de tecnologías de valorización

	Ni	%
Si	14	82%
No	3	18%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 16

Involucramiento en proyectos o convenios de tecnologías de valorización



Nota. Elaboración propia

En la tabla 14 respecto al involucramiento de la Municipalidad de Yanahuara en

proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías sostenibles se aprecia que la gran mayoría o el 82% de los trabajadores afirman que la municipalidad está involucrada en proyectos relacionados con tecnologías sostenibles; en tanto que un reducido 18% de los trabajadores indican que la municipalidad no se involucra. Se precia entonces que la mayoría de los trabajadores de esta Área que laboran en la Municipalidad afirman que la municipalidad se involucra en proyecto de investigación o existencia de convenios relacionados con tecnologías sostenibles lo que favorece la gestión ambiental de la municipalidad de Yanahuara. Este hallazgo está en línea con la preocupación expresada por autores anteriores como Mayta (2021), quien encontró que la disposición de residuos y plásticos en Yanahuara se percibía mayoritariamente como buena, lo que sugiere una atención y esfuerzos significativos en la gestión ambiental.

Tabla 15

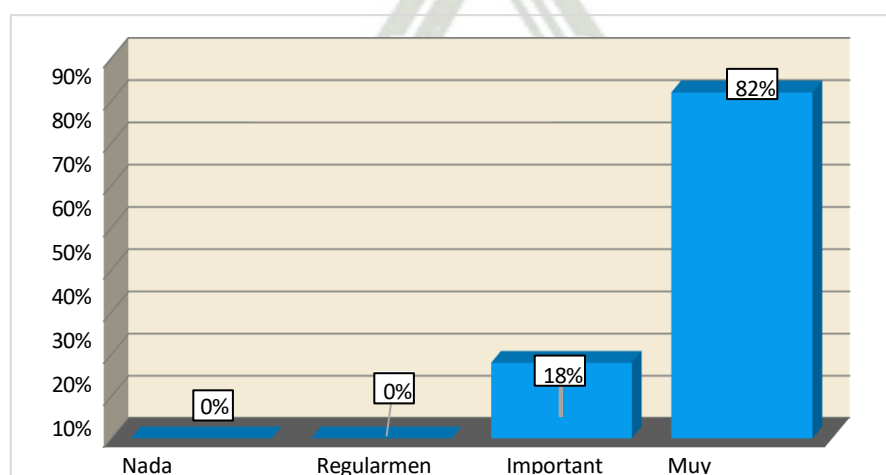
Importancia de la reutilización de residuos plásticos para la Municipalidad

	ni	%
Nada importante	0	0%
Regularmente importante	0	0%
Importante	3	18%
Muy importante	14	82%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 17

Importancia de la reutilización de residuos plásticos para la Municipalidad



Nota. Elaboración propia

Se observa en la tabla 15 que, en la Gerencia de Servicios al ciudadano, gestión ambiental y seguridad ciudadana, el 82% del personal o el porcentaje mayoritario perciben que es muy importante para la Municipalidad de Yanahuara la reutilización de residuos plásticos; en tanto que para el 18% restante considera que es importante para la municipalidad la reutilización de los residuos plásticos.

Por otro lado, en ningún porcentaje los trabajadores consideran que es regularmente o nada importante para la Municipalidad la reutilización de residuos plásticos.

Se precisa que la percepción de la totalidad de los trabajadores sobre el nivel de importancia que le da la Municipalidad de Yanahuara a la reutilización de residuos plásticos, es muy importante o importante.

En contraste se puede destacar que varios estudios, como el de Kumar et al. (2023) y Darko et al. (2023), resaltan la importancia de la reutilización de residuos plásticos y su integración a la economía circular para reducir la contaminación ambiental y mejorar la gestión de residuos.

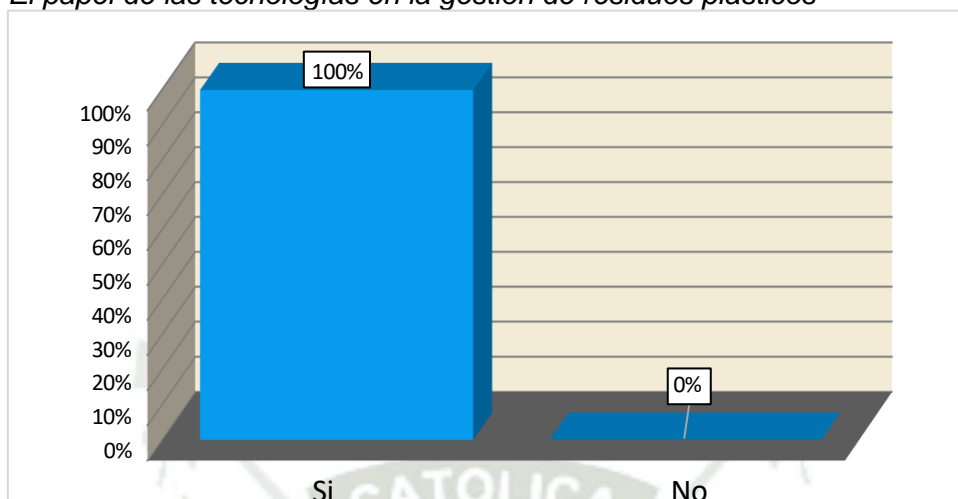
Asimismo, la preocupación por la gestión adecuada de los residuos plásticos se refleja en la propuesta de Neira et al. (2020) sobre la promoción de medios alternativos, como las máquinas de reciclaje, para reducir el impacto de este material en el planeta. Esta propuesta se alinea con la percepción mayoritaria del personal de la Municipalidad de Yanahuara sobre la importancia de la reutilización de residuos plásticos.

Tabla 16

El papel de las tecnologías en la gestión de residuos plásticos

	Ni	%
Si	17	100%
No	0	0%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 27*El papel de las tecnologías en la gestión de residuos plásticos*

Nota. Elaboración propia

En la tabla 16 respecto a si las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad se aprecia que la totalidad o el 100% de los trabajadores reconocen la importancia del papel de las tecnologías en la gestión residuos; en tanto que ninguno de los trabajadores considera que no es importante.

Se precia entonces que la totalidad de los trabajadores de la Municipalidad considera que es importante el papel de las tecnologías en la gestión de los residuos plásticos, ya que estas permiten la integración a la economía circular, favoreciendo la mitigación del impacto ambiental.

Este hallazgo coincide con lo señalado por Darko et al. (2023), quienes enfatizan la relevancia de las tecnologías para abordar la problemática de los residuos plásticos y su integración en la economía circular. Asimismo, la investigación actual respalda la idea planteada por Kumar et al. (2023), quienes destacan la necesidad de adoptar tecnologías adecuadas para la disposición final de los residuos plásticos, evitando así la contaminación ambiental y promoviendo la reutilización de estos materiales. Además, el estudio actual respalda las conclusiones de Callewaert et al. (2023), quienes mencionan que el uso de tecnologías apropiadas, como la termovalorización y otras formas de reciclaje, puede contribuir significativamente a la reducción de la huella ambiental de los residuos plásticos.

Tabla 17

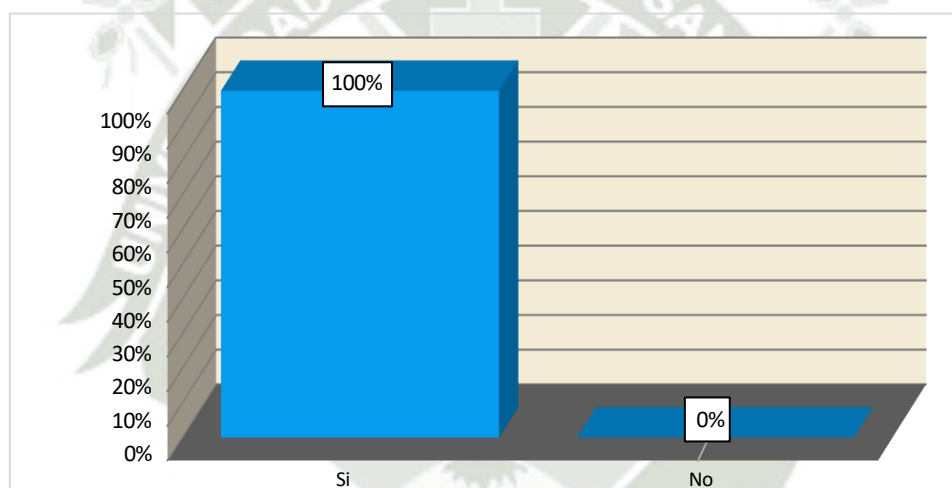
Aprovechamiento de los residuos plásticos reciclados para producir otros materiales sostenibles

	ni	%
Si	17	100%
No	0	0%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 28

Aprovechamiento de los residuos plásticos reciclados para producir otros materiales sostenibles



Nota. Elaboración propia

En la tabla 17 se aprecia que respecto a si la Municipalidad aprovecha los residuos plásticos reciclados para producir otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización se aprecia que la totalidad o el 100% de los trabajadores respondieron afirmativamente; reconociendo que la municipalidad cuenta con la planta de Valorización de Residuos Sólidos creado por la Municipalidad. Este resultado contrasta con Darko et al. (2023) señalan que la falta de tecnología y gestión adecuada conduce a altos niveles de contaminación ambiental debido a la disposición inadecuada de los plásticos. Por otro lado, Kumar et al. (2023) resaltan la importancia de la economía circular y la valorización de tecnologías para la reutilización de residuos plásticos, especialmente a través de la termovalorización y otras técnicas de reciclaje. Además, estudios como el de Salazar et al. (2022) y Bocanegra (2022) demuestran la viabilidad económica y social de la transformación de residuos plásticos en productos útiles, como tela para

uniformes y lentes de sol.

Tabla 18

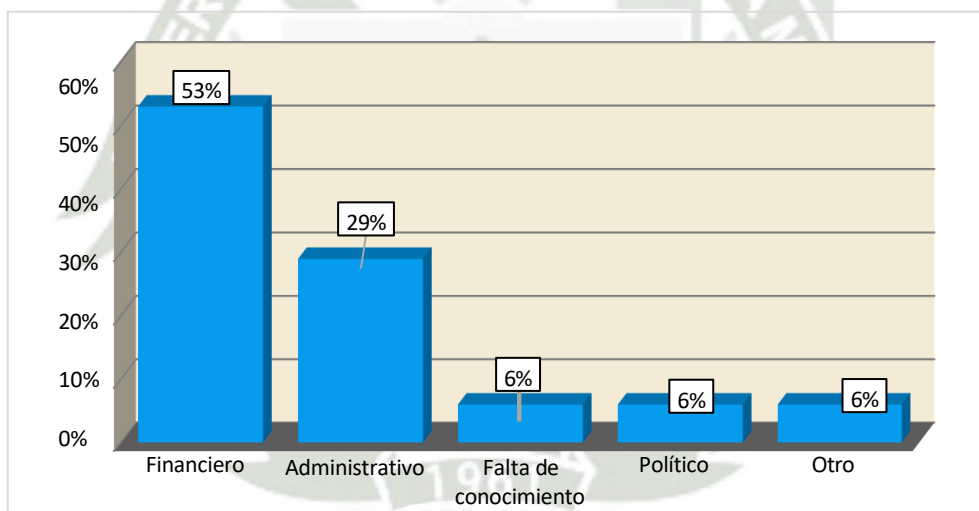
Obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías

	Ni	%
Financiero	9	53%
Administrativo	5	29%
Político	1	6%
Falta de conocimiento	1	6%
Otro	1	6%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 29

Obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías



Nota. Elaboración propia

Se observa en la tabla 18 que según la mayoría o el 53% de los trabajadores de la Municipalidad encuestados es el aspecto financiero; o sea el relacionado a la disposición de financiamiento, el principal obstáculo en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías para la reutilización de los residuos plásticos; seguido del 29% o más de la cuarta parte opinó que el principal obstáculo es lo administrativo, esto derivado de la burocracia existente y que no permite la adquisición de nuevas tecnologías.

Y en reducidos e iguales porcentajes de 6% consideran que es la falta de conocimiento, el aspecto político u otros, respectivamente. Se precisa que según la opinión de la mayoría de trabajadores encuestados el principal obstáculo para la

adquisición de nuevas tecnologías, es el aspecto financiero y administrativo.

En contraste coincide con los hallazgos de Salazar et al. (2022), quienes mencionaron la burocracia existente como un desafío en la implementación de proyectos relacionados con el reciclaje de plásticos. Estas percepciones están en línea con las discusiones de Alvarado y Reyes (2022), quienes enfatizaron la importancia de la capacitación y el apoyo político para el éxito de iniciativas relacionadas con la gestión de residuos plásticos.

Tabla 19

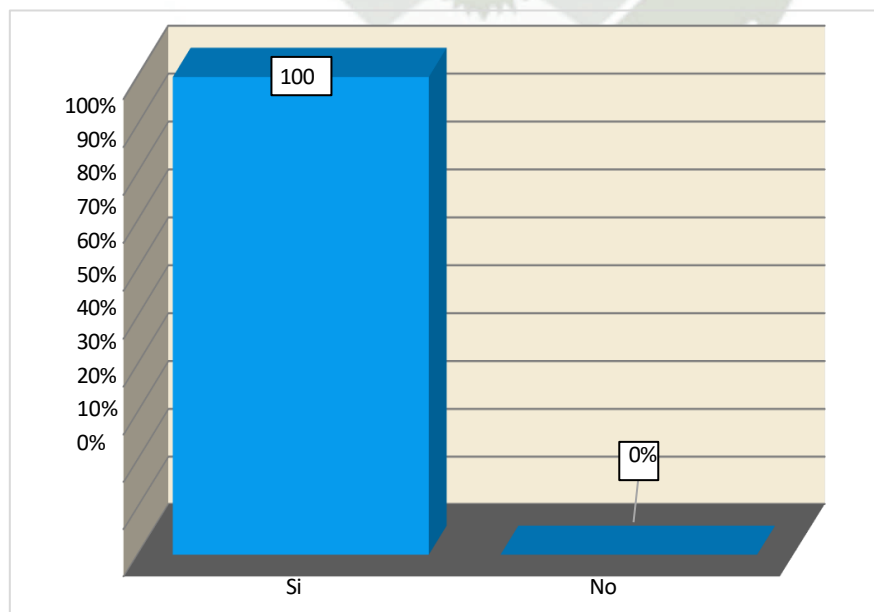
Aplicación de tecnologías de valorización para economía circular

	Ni	%
Si	17	100%
No	0	0%
Total	17	100%

Nota. Elaboración propia

Figura 30

Aplicación de tecnologías de valorización para economía circular



Nota. Elaboración propia

En la tabla 19 se observa que la totalidad de trabajadores encuestados o el 100% afirmaron la necesidad de que las municipalidades implementen tecnologías de valorización para lograr una economía circular; reconociendo de esta manera su importancia en la gestión ambiental de las municipalidades como una importante alternativa en la reducción del impacto ambiental de los residuos plásticos.

Este hallazgo está respaldado por Darko et al. (2023), Kumar et al. (2023), y Callewaert et al. (2023), quienes destacan la importancia de adoptar tecnologías de valorización para abordar eficazmente la gestión de residuos plásticos y reducir su impacto ambiental.

En particular, Darko et al. (2023) mencionaron que la falta de tecnología adecuada contribuye a la acumulación de residuos plásticos en vertederos, lo que resulta en una alta contaminación ambiental. Además, Kumar et al. (2023) señalaron que la disposición final inadecuada de los residuos plásticos, como la incineración no planificada, contribuye significativamente a la contaminación atmosférica y terrestre. Por otro lado, Callewaert et al. (2023) destacaron que la legislación europea fomenta el uso de tecnologías de reciclaje para cumplir con objetivos ambientales más ambiciosos.

4.2. Evaluación de tecnologías de Valorización propuestas a través del Score

De acuerdo con los datos bibliográficos de las tecnologías elegidas, se realizó la valoración de parámetros, de acuerdo con la metodología, quedando de la siguiente manera en la siguiente tabla:

Tabla 20

Valoración de alternativas tecnológicas por criterio

Criterios (i)	Ponderación (wi)	TIPOS DE TECNOLOGÍAS							
		Rating de cada alternativa (rij)							
		Termovalorización	Despolimerización térmica	Quimiólisis	Disolución	Gasificación	Licuefacción hidrotermal	Craqueleo Catalítico	Conversión Catalítica
Emisiones a la atmósfera	5	7	5	1	2	5	1	6	5
Calidad del producto	5	8	7	3	2	4	9	9	8
Consumo de energía	2	7	7	2	3	7	4	6	5
Capacidad de producción	3	9	8	3	2	3	8	7	8
Inversión	2	7	6	5	5	8	9	7	6

Nota. Elaboración propia

Luego, para calcular el Score final y elegir la mejor tecnología, se aplicó la siguiente ecuación para cada alternativa.

Tabla 21

Ponderación de alternativas

Criterios (i)	Ponderación (wi)	TIPOS DE TECNOLOGÍAS wi*rij							
		Termovalorización	Despolimerización térmica	Quimiólisis	Disolución	Gasificación	Licuefacción hidrotermal	Craqueo catalítico	Conversión catalítica
Emisiones a la atmósfera	5	40	30	20	35	15	5	25	15
Calidad del producto	5	45	35	30	35	35	35	35	30
Consumo de energía	2	12	12	14	16	16	6	8	10
Capacidad de producción	3	27	6	6	9	15	21	15	24
Inversión	2	16	14	8	4	12	12	2	4
Total		140	97	78	99	93	79	85	83

Nota. Elaboración propia

En la tabla estadística se aprecia respecto a la contaminación por emisiones a la atmósfera, según las alternativas tecnológicas fue la Tecnología de la termovalorización obtuvo el mayor puntaje de 40 puntos; por lo tanto, es la que resultaría menos contaminante en comparación con el resto. Seguidamente se encuentran la tecnología Despolimerización térmica con 30 puntos; las alternativas tecnológicas más contaminantes es la Licuefacción hidrotermal con 5 puntos.

Respecto a la calidad del producto, la tecnología que alcanzó mayor puntaje fue la tecnología de termovalorización, con 45 puntos; entonces, a partir de la reutilización de los residuos plásticos se logra una mayor calidad respecto a las demás tecnologías; en tanto que obtuvieron un menor porcentaje la tecnología de Quimiólisis y la Conversión catalítica; por lo tanto, estas son las que más afectarían negativamente la calidad del producto.

En cuanto al consumo de energía de las tecnologías propuestas para la reutilización de los residuos plásticos son la disolución y la gasificación, cada una con 16 puntos respectivamente; mientras que un mayor consumo es la Licuefacción hidrotermal con 6 puntos.

Respecto a la capacidad de producción, es la tecnología de termovalorización es la que alcanzó un mayor puntaje, 27 puntos; y las que obtuvieron menor puntaje fueron las tecnologías de Despolimerización térmica, y quimiólisis, con 6 puntos.

Finalmente, respecto al criterio de inversión, las tecnologías propuestas obtuvieron puntajes, entre 2 y 16 puntos; así entre las que demandan menor inversión son la termovalorización con 16; seguido de la Despolimerización térmica, con 14 puntos; en tanto que demandan un nivel medio de inversión las tecnologías de gasificación y la licuefacción hidrotermal, con 12 puntos cada; y las de mayor inversión el Craqueo, con 2 puntos.

Se precisa en términos globales que el resultado del score según los criterios de emisiones a la atmósfera, calidad del producto, combustible usado, consumo de energía, capacidad de producción e inversión de las tecnologías seleccionadas, fue la tecnología de termovalorización la que alcanzó un mayor puntaje con 140 puntos; seguido de la tecnología de disolución con 99 puntos, en comparación con las demás tecnologías seleccionadas.

Por lo expuesto, estos resultados coinciden con los hallazgos de estudios anteriores realizados por Kumar et al. (2023) y Darko et al. (2023), quienes también destacaron la eficiencia de la termovalorización como una técnica importante para la valorización de residuos plásticos. En términos de emisiones a la atmósfera, la

termovalorización fue identificada como la opción menos contaminante, lo cual está alineado con los resultados obtenidos por Al-Salem et al. (2017), quienes destacaron las ventajas ambientales de la termovalorización en comparación con otras tecnologías de tratamiento de residuos plásticos.

Además, la calidad del producto obtenido a través de la termovalorización y el Craqueleo catalítico fue valorada positivamente, lo que concuerda con las conclusiones de estudios previos como los de Vargas (2020) y Alvarado y Reyes (2022), quienes también encontraron que estas tecnologías generan productos de alta calidad a partir de residuos plásticos.

En cuanto al consumo de energía, las tecnologías de termovalorización, Despolimerización térmica y Gasificación se destacaron por su eficiencia energética, corroborando los resultados de investigaciones como la de Cudjoe, Brahim y Zhu (2023), quienes resaltaron la viabilidad económica y energética de la termovalorización de residuos plásticos.

4.2.1. Gases contaminantes que se generan en la Termovalorización

En una planta de termovalorización, se producen gases durante el proceso de incineración de residuos. Los principales gases generados son:

- a. Dióxido de carbono (CO_2): Resultado de la combustión de los plásticos, especialmente aquellos que contienen carbono.
- b. Monóxido de carbono (CO): Puede generarse si la combustión no es completa.
- c. Óxidos de nitrógeno (NO_x): Resultan de la reacción del nitrógeno en el aire a altas temperaturas.
- d. Dióxido de azufre (SO_2): Si los plásticos contienen azufre, este gas puede formarse durante la combustión.
- e. Compuestos orgánicos volátiles (COVs): Emisiones de sustancias químicas que pueden ser peligrosas.
- f. Dioxinas y furanos: Estos compuestos altamente tóxicos pueden generarse especialmente cuando se queman plásticos que contienen cloro, como PVC. Las emisiones de las plantas de termovalorización representan sólo una pequeña fracción de esas emisiones.
- g. Partículas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y cenizas: Aunque no son gases, se generan durante el proceso y pueden ser liberadas al aire.

Por lo cual es fundamental que las plantas de termovalorización implementen sistemas de control y filtrado de emisiones para minimizar el impacto ambiental

y proteger la salud pública (Ramos, 2020).

4.2.2. Controles de emisiones en el proceso de Termovalorización y riesgos

Las plantas de termovalorización (Waste to Energy) están equipadas con dispositivos de filtrado sofisticados con el fin de minimizar todas las emisiones posibles a la atmósfera y además están estrictamente controladas. Algunos de los controles de emisiones más comunes incluyen:

Filtros de Partículas: Se utilizan para capturar cenizas y partículas finas antes de que los gases sean liberados a la atmósfera.

Durante la incineración se generan dos tipos de ceniza: la ceniza de fondo y la ceniza suspendida en el gas de combustión.

La ceniza de fondo está compuesta por el material no combustible que pasa por la cámara de combustión. Es recolectada por un dispositivo transportador y enfriada con agua. Esta ceniza constituye de 75 a 90% de toda la ceniza generada, según la tecnología que se emplee.

La ceniza suspendida en el gas de combustión es un material más ligero recolectado por el equipo de control de contaminación. Una preocupación especial, en cuanto a la ceniza que resulta de la incineración de los residuos sólidos, es la presencia de metales pesados, especialmente de plomo y cadmio, que proceden de elementos como batería de plomo-ácido, equipos electrónicos y algunos plásticos. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del desecho de ceniza, es necesario evaluarla en los inicios del proyecto.

La descarga de ceniza no peligrosa puede hacerse en un relleno para residuos sólidos. Debido a la naturaleza potencialmente peligrosa de la ceniza, el relleno utilizado debe estar equipado con sistemas de impermeabilización y recolección de percolado, además del monitoreo del agua del nivel freático. Este tipo de relleno no solo es más seguro para el medio ambiente, sino que también reduce los riesgos asociados a futuras remediaciones.

El proceso de tratamiento de los gases de combustión en seco está diseñado para eliminar todas las partículas de polvo, la mayoría de los contaminantes gaseosos ácidos por neutralización con hidróxido de calcio y los contaminantes orgánicos (PCDD/F), así como el mercurio y otros metales pesados por adsorción sobre carbón activado/coque de lignito. Los gases de combustión entran en contacto con los aditivos en un reactor; para alcanzar el mejor rendimiento y un mínimo consumo de aditivos, parte de los sólidos del filtro de mangas se recirculan de nuevo dentro del reactor (Veolia,

2017).

- Lavado y filtración de los gases producidos: Para evitar la liberación de sustancias tóxicas como dioxinas o furanos compuestos aromáticos tóxicos se emitan al ambiente (Petroquimex, 2018).
- Sistemas de Desulfuración: Eliminan el dióxido de azufre (SO_2) mediante procesos químicos, como la inyección de cal o reactivos similares.
- Control de NO_x : Se pueden usar tecnologías como la reducción catalítica selectiva (SCR) o la reducción no catalítica (SNCR) para reducir los óxidos de nitrógeno.
- Sistemas de Tratamiento de Gases: Incluyen tecnologías como los filtros de carbón activado para eliminar compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otros contaminantes.
- Monitoreo Continuo: Para garantizar que la instalación sea favorable para el entorno, en cada una de las Fuentes Fijas de Emisiones a la Atmósfera (comúnmente conocidas como chimeneas) se encuentra un sistema que permite monitorear de manera permanente el nivel de emisiones, mismo que cumplirá con estándares nacionales e internacionales de calidad medioambiental.
Existen también dispositivos de control operados por computadora, que pueden activarse al instante por alteraciones en la operación, e introducir la correspondiente acción correctiva. Todos esos instrumentos han logrado un aumento de la seguridad y la reducción del riesgo ambiental de la instalación de hornos incineradores. En este contexto, el principal objetivo de la termovalorización de residuos sólidos urbanos a fin de reducir su volumen y peligrosidad, a la vez que se captura (y por lo tanto se concentran) o destruyen las sustancias potencialmente dañinas que son, o pueden ser liberadas durante la termovalorización. En las plantas de termovalorización de RSU la recuperación de energía y calor es otro de los objetivos principales (Sistema de Transporte Colectivo Metro, 2017).
- Sistemas de Control de Temperatura: Mantener temperaturas adecuadas para asegurar una combustión completa y reducir la formación de contaminantes. (Saidón et al., 2023)

Riesgos Potenciales:

- Contaminación del Aire: Las emisiones no controladas pueden contribuir a la contaminación del aire local y regional, afectando la salud pública.
- Problemas de Salud: La exposición a contaminantes como el monóxido de carbono, NOx y COVs puede causar problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros problemas de salud.
- Impacto Ambiental: La liberación de gases contaminantes puede afectar ecosistemas locales, incluyendo la acidificación del suelo y del agua.
- Incendios y Explosiones: La acumulación de ciertos gases (como el metano) en áreas no ventiladas puede presentar riesgos de explosiones.
- Desgaste de Equipos: La corrosividad de algunos gases contaminantes puede afectar la infraestructura y los equipos de la planta, aumentando los costos de mantenimiento (Ochoa, 2022)

4.2.3. Economía Circular de la Termovalorización

La termovalorización es un proceso que permite obtener energía térmica a partir de la descomposición de residuos inorgánicos. A través de este proceso se puede: reducir el volumen de residuos plásticos, generar energía eléctrica, mejorar la imagen pública de la ciudad, promover la conciencia social en el manejo de los residuos y generar empleos.

La termovalorización se realiza en plantas que funcionan de manera similar a las termoeléctricas, pero en lugar de quemar combustibles fósiles, aprovechan el calor de los residuos. El proceso de combustión se realiza en un sistema cerrado y las emisiones se tratan químicamente.

La termovalorización integrada a la economía circular permite obtener una variedad de productos valiosos, reduciendo residuos y conservando recursos naturales. A continuación, se presentan algunos productos que se pueden obtener:

Energía y combustibles:

1. Electricidad renovable
2. Calor para calefacción o procesos industriales
3. Biogás (metano) para combustible vehicular o energía
4. Bioaceites para combustible o industria química

Productos químicos y farmacéuticos

1. Glicerina para productos cosméticos o farmacéuticos
2. Ácidos grasos para industria química o alimentaria
3. Biocombustibles avanzados (etanol, butanol)
4. Productos químicos básicos (amoníaco, ácido cítrico)

Materiales de construcción

1. Cenizas volantes para cemento o hormigón
2. Áridos reciclados para construcción
3. Ladrillos y bloques de hormigón reciclado
4. Materiales aislantes para edificios

El proceso de la Termovalorización consiste en:

La zona de recepción es una estructura de hormigón cerrada e impermeabilizada para evitar que los percolados se infiltren al suelo.

Luego pasa al horno de incineración donde se queman los plásticos a altas temperaturas y bajo condiciones totalmente controladas. Eso permite que la combustión sea muy completa y de buena calidad. El calor generado en el horno es aprovechado para producir la energía eléctrica y térmica.

Estas plantas cuentan con sistema de gases en el que tienen los sistemas de tratamiento y limpieza de gases más sofisticados del mundo, con los que se abaten los distintos contaminantes que se producen durante el proceso de combustión. La normativa europea de emisiones para plantas WTE es una de las normativas más restrictivas que existen y las emisiones de estas plantas son las más bajas del sector industrial.

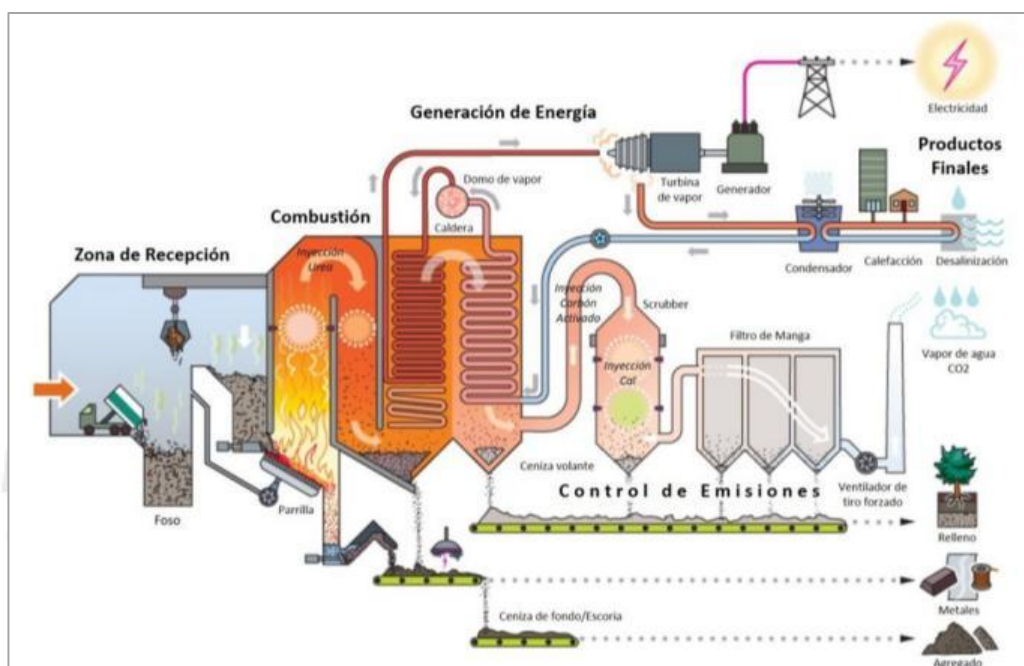
El proceso genera dos tipos de cenizas: la ceniza de fondo y la ceniza volante.

La ceniza de fondo constituye aproximadamente un 10% del volumen de residuos quemados y puede ser reciclada para aplicaciones en la construcción.

La ceniza volante corresponde a aproximadamente un 1% del volumen combustionado y es depositado de manera segura en un relleno de seguridad (WTE, 2018).

Figura 31

Diagrama de proceso de la Planta de Termovalorización



Nota. Diagrama obtenido de WTE (2018).

La termovalorización de residuos, incluidos plásticos y otros materiales, proporciona importantes aportes en términos de energía y calor. Aquí se detallan estos resultados:

a) Generación de Energía

- **Electricidad:** La termovalorización permite convertir los residuos en electricidad. Los gases generados durante la combustión se utilizan para hacer funcionar turbinas que producen energía eléctrica. Esta energía puede ser utilizada para abastecer a la red eléctrica, contribuyendo a la diversificación de fuentes de energía y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.
- **Energía Térmica:** Además de electricidad, el proceso genera calor que puede ser utilizado para calefacción. Este calor puede ser aprovechado en sistemas de calefacción urbana o en procesos industriales, mejorando la eficiencia energética general.

b) Calor Utilizable

- **Calor Residual:** Durante la incineración, se produce calor que puede ser recuperado y utilizado. Este calor residual se puede emplear en aplicaciones

como:

- Sistemas de calefacción: Proporcionar calor a edificios, invernaderos o instalaciones industriales.
- Producción de vapor: Utilizar el calor para generar vapor que, a su vez, puede ser utilizado en procesos industriales o para la producción de electricidad.

c) **Beneficios Ambientales y Económicos**

- Reducción de Residuos: Al convertir residuos en energía, se disminuye la cantidad de residuos que llegan a vertederos, lo que contribuye a la gestión sostenible de residuos.
- Disminución de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Al generar energía a partir de residuos en lugar de combustibles fósiles, se reduce la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- Eficiencia Energética: La termovalorización es una forma de aprovechar materiales que de otro modo serían considerados residuos, convirtiéndolos en recursos valiosos.

En resumen, la termovalorización contribuye significativamente a la generación de energía y calor, al mismo tiempo que ofrece beneficios ambientales y ayuda a avanzar hacia una economía más circular y sostenible (Earth & Life University, 2024).

4.3. Evaluación del Costo/Beneficio de tecnología seleccionada

En este análisis se examinará el costo/beneficio de implementar la tecnología de termovalorización para la reutilización de residuos plásticos.

4.3.1. Contexto general

La termovalorización descompone moléculas grandes en otras más pequeñas y también puede usarse para transformar mezcla de sustancia de desechos plásticos en combustibles y sustancias similares que pueden generar energía. Como resultado de la descomposición de los compuestos a base de carbono restantes, se forma una mezcla de gases, hidrocarburos condensables y residuos que contienen carbono o carbón (coque) (Mesa, 2016).

El proceso de termovalorización implica la degradación térmica de macromoléculas en un ambiente ausente de oxígeno con rangos de temperaturas que oscilan de los 400 °C a los 1000 °C produciendo fracciones gaseosas, líquidas y sólidas utilizables. Las fracciones líquidas obtenidas como son metano, el etileno, el propileno o el benceno, se puede reciclar o utilizar como combustible en la industria petroquímica (Sáez, Universidad de Alicante, 2008).

Tabla 6

Proceso de termovalorización

Termovalorización térmico	Termovalorización catalítico
<p>La técnica de termovalorización se realiza con el cambio de temperatura de los residuos plásticos sometidos a determinadas condiciones atmosféricas inertes.</p> <p>Durante esta metodología se utilizan temperaturas entre 350°C y 900°C</p>	<p>En este tipo de termovalorización, la reacción de conversión se realiza a baja temperatura y en poco tiempo debido a la existencia del catalizador que facilita la metodología. La termovalorización catalítico tiene varias virtudes sobre la termovalorización térmica, como un leve gasto de energía.</p>

Nota. Información por Caleño (2020)

Los resultados obtenidos en el contexto de la evaluación del costo/beneficio de la aplicación de la tecnología seleccionada de termovalorización para la reutilización de residuos plásticos pueden ser contrastados con estudios previos realizados por Al-Salem et al. (2017). Según estos estudios, la termovalorización ha surgido como una técnica ecológica para la recuperación de energía y materiales a partir de residuos plásticos. En este sentido, los resultados obtenidos corroboran esta afirmación al demostrar que la termovalorización puede convertir los desechos plásticos en productos de alto valor y contenido energético.

Además, la comparación con los estudios de Cudjoe, Brahim, y Zhu (2023) muestra que la termovalorización de residuos plásticos mixtos puede generar una cantidad significativa de petróleo, con un potencial energético considerable. Esto refuerza la idea de que la termovalorización es una alternativa viable para la gestión de residuos plásticos, ya que puede convertirlos en un recurso energético utilizable.

Por otro lado, la investigación de Rodríguez (2019) indica que la termovalorización térmica y catalítica de desechos plásticos puede generar productos valiosos como aceites y gases, los cuales pueden ser utilizados como combustibles o materias primas en diversas industrias. Esta información es relevante al evaluar el costo/beneficio de la termovalorización, ya que demuestra el potencial de esta tecnología para generar productos aprovechables y reducir la cantidad de residuos plásticos.

4.3.2. Maquinaria y equipos

Son necesarios los siguientes equipos y maquinaria:

- Reactor (materiales de reacción).
Catalizador. Se necesita 1 kg de catalizador por cada 1000 kg de plástico tratado (en la termovalorización que utilizan catalizador).

Figura 32

Productos y materiales de reacción

Producto / Material
Etileno
Propileno
Buteno
Gasolina
Diésel
Ceras
Zeolita HZSM-5
Zeolita H β
Zeolita HY

- Máquinas trituradoras.
- Almacén de materias primas.
- Secadores.
- Cintas transportadoras.
- Torres de destilación.
- Condesadores.
- Intercambiadores de calor.
- Sistemas de bombeo.
- Tanques de almacenamiento para los diferentes productos, agua y catalizador (en el caso de termovalorización catalítica).
- Dispositivos contra incendios.
- Dispositivo de eliminación de polvo.
- Chimenea para la salida de gases no recirculados.
- Colector de desechos.
- Sistemas de control.

4.3.3. Costos en la implementación de la tecnología de termovalorización

- Costos del recurso humano:** Los salarios de los diferentes empleados se

obtuvieron en base al promedio que se paga en la planta de reutilización de la municipalidad.

Tabla 7

Costo del recurso humano

Puestos	Cantidad	Salarios mensuales (S/.)	Costo anual (S/.)
Encargado de laboratorio	1	S/.3,200.00	38,400.00
Supervisor	1	2,200.00	26.400.00
Operarios	3	4,500.00	54,000.00
Personal de servicio	1	1,000.00	1,000.00
Total			119,800.00

Nota. Elaboración propia

b. Mantenimiento: Los gastos de mantenimiento y seguros S/. 18,600.00

c. Transporte: El transporte de materias primas hasta la planta S/. 59,100.52

d. Costos de servicios de agua y electricidad:

- Agua: $0.284 \text{ m}^3/\text{Tonelada}$ de plástico tratado.
 $0.284 \times 30,000 \text{ tn} = 8,522 \text{ m}^3$. Anualmente el costo sería S/. 32,724.00
- Energía eléctrica: $0.510 \text{ kW}/\text{Tonelada}$ de plástico tratado.
 $0.340 \times 30,000 \text{ tn} = 10,200 \text{ kw}$. Anualmente= S/. 51,408.00

Los resultados obtenidos en cuanto a los costos de implementación de la tecnología de termovalorización pueden ser comparados con los antecedentes expuestos en la investigación previa. En particular, se puede observar que los costos del recurso humano en la planta de termovalorización están en línea con los salarios promedio reportados en la planta de reutilización municipal, tal como lo indican Alvarado y Reyes (2022), quienes también mencionaron la importancia del personal de supervisión y operarios en este tipo de instalaciones. Además, los gastos de mantenimiento y seguros son similares a los mencionados por Darko et al. (2023) en su estudio sobre tecnologías de reciclaje de plásticos.

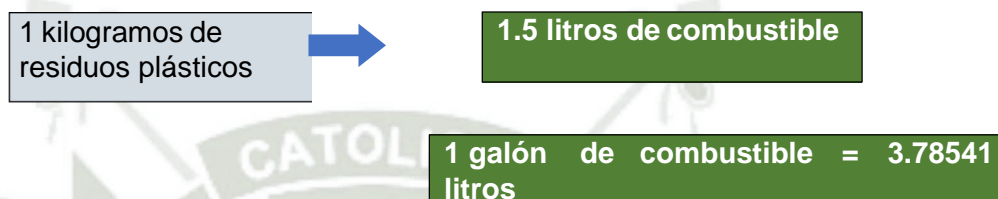
En cuanto al transporte de materias primas, los costos mencionados en la investigación actual también son comparables con los resultados de investigaciones anteriores, como la de Pinzón et al. (2020), quienes destacaron la importancia del transporte eficiente en el proceso de reciclaje de plásticos. Además, los costos de servicios de agua y electricidad son

proporcionales al volumen de plástico tratado, similar a lo señalado por Vargas (2020) en su estudio sobre la termovalorización catalítica utilizando zeolitas.

4.3.4. Capacidad de producción mensual y valorización en soles

Figura 33

Conversión de residuos plásticos en combustible



Se dispone de 30 toneladas mensuales

30 toneladas, equivalente a 30,000 kilos de residuos plásticos se obtendría

$$\frac{30,000}{1.5} = 20,000 \text{ Litros}$$

$$\frac{20,000}{3.78541} = 5,283$$

Anualmente se produciría un total de 5,283 galones = S/. 63,396.00 x 12 meses
= S/. 760,752.00

Tabla 8
Egresos anuales

Egresos anuales	
Insumos (material reactor) =	173,150.00
Sueldos =	119,800.00
Mantenimiento	15,600.00
Transporte=	59,100.52
Servicios de luz y agua=	84,132.48
Total	451,783.00

Nota. Elaboración propia

Comparando estos resultados con los antecedentes de la investigación, se puede destacar la viabilidad económica. Tales como Cudjoe, Brahim y Zhu (2023) han demostrado la factibilidad económica de la planta de termovalorización de residuos

plásticos mixtos, obteniendo un valor presente neto positivo y un índice de rentabilidad superior a 1. Esto coincide con los resultados actuales que muestran ingresos superiores a los egresos, por lo un proyecto es económicamente viable. Asimismo, Alvarado y Reyes (2022) han obtenido combustibles líquidos similares al diésel a partir de residuos plásticos domésticos, lo cual es comparable con la producción de productos pirolíticos en el estudio actual. Estos hallazgos respaldan la idea de la planta de termovalorización de residuos plásticos.

4.3.5. Resultados del costo/beneficio de la tecnología seleccionada

También conocida como índice neto de rentabilidad, se aplicó con el fin de evaluar la viabilidad y rentabilidad de la aplicación de la tecnología seleccionada a través de los resultados proyectados con los que se determinó la Tasa de Retorno de Inversión (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN); analizando las cifras de ingresos, costos y utilidades esperadas, basados en un porcentaje de variación esperado para cada año representada por 3% anual, el cual es el producto de la variación de las ventas de los dos años anteriores, y en caso de los egresos la variación considerada es de 4% información brindada por la Municipalidad.

Fórmula 5

Costo/Beneficio

$$C/B = \frac{\text{ingresos totales netos}}{\text{costos totales}}$$

Se calculó el flujo proyectado en 5 años a partir de la inversión.

Tabla 25

Flujo proyectado

	Promedio ingreso	Egresos	Efectivo neto
	Inversión inicial		-451,783.00
Año 1	S/. 760,752.00	478,632.48	282,119.52
Año 2	787,134.24	639,816.32	147317.92
Año 3	810,748.27	665,408.97	145339.30
Año 4	835,070.72	692,025.33	143045.39
Año 5	860,122.84	719,706.34	140416.50
	4,053,828.07	3,195,589.44	858,238.63

Nota. Elaboración propia

K=Tasa de descuento (porcentaje promedio de rentabilidad en el mercado)

K= 36%

Una vez realizado el flujo de caja económico. Se evaluó a través del VAN y del TIR

Calculo del VAN

$$VAN = \frac{-\text{Costo inicial} + \text{Flujo de efectivo}}{(1 + \text{Tasa de descuento})^{\text{Año}}}$$

$$VAN = \frac{-199,860.00 + 4,053,828.07}{1 + 0.36 \cdot 5}$$

$$VAN = \frac{658,378.63}{2.8}$$

$$VAN = S/ 286,251.58$$

Calculo del TIR

$$TIR = \frac{(B - A) \cdot 100}{A}$$

Donde

B=Valor final de ventas esperado

A= Valor inicial (inversión)

$$TIR = \frac{760,752.00 - 451,783.00}{451,783.00} \cdot 100$$

Tabla 26

Indicadores económicos VAN/TIR

VAN S/ 286,251.58

TIR 68%

Nota. Elaboración propia

Entonces

$$TIR = 68\% > 36\%$$

Por lo tanto, al ser mayor el TIR que la K= Tasa de descuento se comprueba que la inversión es viable y rentable.

Tabla 27*Indicador económico B/C*

$$B/C = VAN / VAC$$

VAN INGRESOS	S/. 4,053,828.07
VAN EGRESOS	S/. 3,195,589.44
B/C	1.26

Nota. Elaboración propia

$$B/C = \frac{4,053,828.07}{3,195,589.44} = 1.26$$

El análisis de la relación C/B es 1.26, al ser mayor a 1 significa que la inversión en la tecnología de Valoración de residuos plásticos, la termovalorización es rentable. Por lo tanto, lo que sugiere que la inversión en la tecnología de valorización de residuos plásticos mediante la planta de termovalorización es rentable desde una perspectiva económica.

Los resultados del análisis de costo/beneficio de la tecnología seleccionada para la valorización de residuos plásticos mediante la planta de termovalorización muestran una viabilidad y rentabilidad destacada. En comparación por Darko et al. (2023), donde se discutía la falta de tecnología y programas coherentes para la gestión de residuos plásticos, los resultados actuales demuestran una mejora significativa en la eficiencia económica y la rentabilidad de la inversión. Además, Kumar et al. (2023), y Alvarado y Reyes (2022) han señalado que la termovalorización ofrece ventajas significativas en términos de recuperación de energía y materiales a partir de desechos plásticos, contribuyendo así a la reducción de la contaminación ambiental y la huella de carbono. Por otro lado, estudios como el de Cudjoe, Brahim, y Zhu (2023) han evaluado la viabilidad económica de proyectos de termovalorización de residuos plásticos, confirmando la rentabilidad de esta tecnología.

Este estudio proporciona una base sólida para comprender la gestión de residuos sólidos municipales en contextos urbanos, destacando la importancia de la valorización de residuos y la transición hacia una economía circular.

En términos ambientales, las implicancias son claras y directas. Al seleccionar la tecnología de termovalorización como la más adecuada según criterios ambientales, se está dando un paso concreto hacia la reducción de la contaminación atmosférica

y la optimización del uso de recursos, lo que contribuye de manera significativa a la preservación del entorno natural y la mitigación del cambio climático.

En cuanto a las implicancias sociales, la adopción de tecnologías de valorización como la termovalorización no solo implica una gestión más eficiente de los residuos, sino también la generación de empleo en el sector de la gestión de residuos plásticos. Esto contribuye a mejorar las condiciones socioeconómicas de la población local y fomenta una mayor conciencia ambiental y social.

Desde el punto de vista económico, las implicancias son altamente favorables, ya que la evaluación de costo/beneficio de la tecnología de termovalorización demuestra su viabilidad y rentabilidad. Esto se traduce en una gestión más eficiente de los recursos financieros y una mayor generación de ingresos a través de la valorización de residuos plásticos.

Además, las implicancias tecnológicas son cruciales, ya que la elección de tecnologías avanzadas como la termovalorización impulsa la innovación en el campo de la gestión de residuos, abriendo la puerta a futuros desarrollos tecnológicos y prácticas más eficientes en términos de sostenibilidad y economía circular.

Finalmente, las implicancias prácticas de este estudio son cruciales para los responsables de la toma de decisiones en Yanahuara y otros lugares con desafíos similares. La elección de la tecnología de termovalorización como la más viable y rentable para la valorización de residuos plásticos refleja la importancia de invertir en soluciones sostenibles y eficientes. Estos resultados respaldan la implementación de políticas y proyectos que promuevan la economía circular, la reducción de la contaminación por plásticos y la mejora en la gestión de residuos a nivel local y regional.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.1. Conclusiones

Primera. El diagnóstico de la situación actual en Yanahuara destaca una generación per cápita de residuos sólidos municipales de 0.796 Kg/hab-día, con una densidad promedio de 137.30 kg/m³ por día, donde la materia orgánica constituye el 40.83% del total de residuos. La municipalidad cuenta con una planta de Valorización de Residuos Sólidos desde 2008, procesando 20 toneladas mensuales de residuos plásticos para convertirlos en nuevos materiales sostenibles. Los trabajadores muestran que la mayoría se desempeña como obreros en la gestión de residuos plásticos, y más de la mitad desconocen las tecnologías de valorización. Aunque la mayoría reconoce la importancia de la reutilización y el papel crucial de las tecnologías en la gestión de residuos, los principales obstáculos son financieros y administrativos. La implementación de tecnologías de valorización es vista como crucial para avanzar hacia una economía circular y abordar eficazmente la contaminación por plásticos.

Segunda. De las 8 tecnologías evaluadas finalmente la que se encuentra con mayor puntaje de 140 puntos fue la Termovalorización, por lo tanto, se constituye la tecnología de valorización seleccionada en la gestión de manejo ambiental e integración a la economía circular. De la tecnología de termovalorización se obtiene combustible y energía eléctrica.

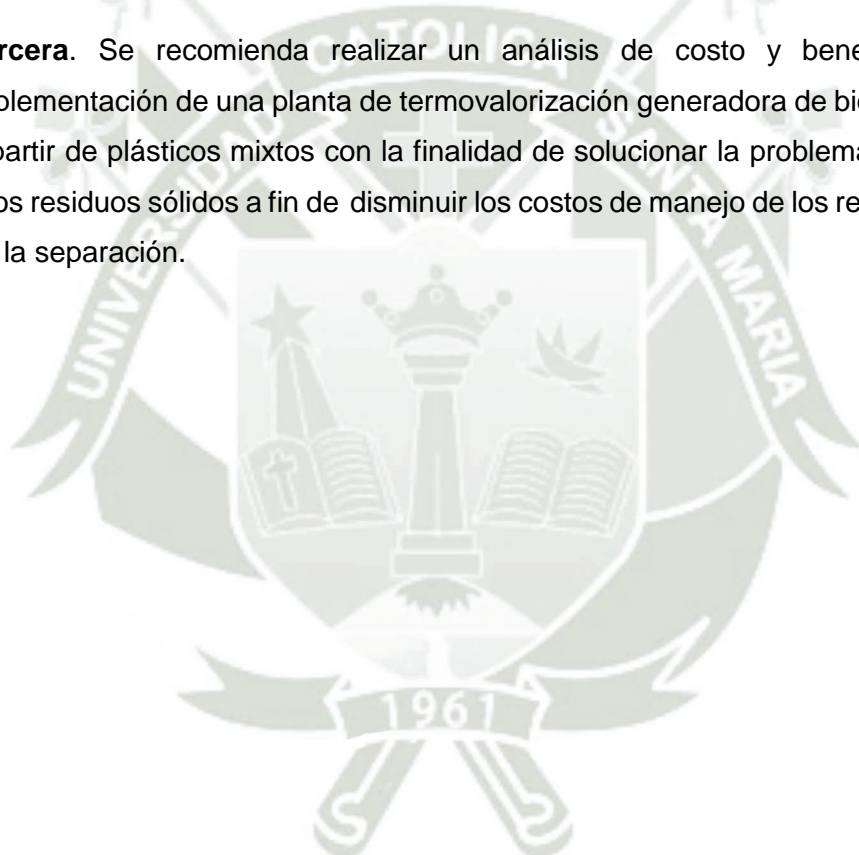
Tercera. La evaluación de costo/beneficio de la tecnología de termovalorización para la valorización de residuos plásticos mediante la termovalorización ha arrojado resultados altamente favorables. Con una tasa de retorno de inversión (TIR) del 68%, superando la tasa de descuento del 36%, y un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 286,251.58, además de una relación Costo/Beneficio (B/C) de 1.26 > 1, con lo que se confirma la viabilidad y rentabilidad de esta inversión. Estos resultados reflejan la eficiencia económica y la rentabilidad potencial de la tecnología de termovalorización en la gestión de residuos plásticos, respaldando su papel fundamental en la transición hacia prácticas más sostenibles y eficientes en términos económicos, ambientales y sociales.

5.2.Recomendaciones

Primera. Se recomienda la realización de campañas de capacitación y concientización a los trabajadores de la municipalidad sobre la valorización tecnológica de los residuos sólidos plásticos enfocada en la obtención de productos con valor económico a partir de procesos de termovalorización.

Segunda. Se recomienda que en la Planta de valorización de residuos plásticos se aplique la tecnología de termovalorización a partir de residuos plásticos con la finalidad de reutilizar dichos residuos y de esta manera integrarlos a la economía circular, ya que los resultados de la evaluación han determinado la viabilidad y rentabilidad de la aplicación de esta tecnología.

Tercera. Se recomienda realizar un análisis de costo y beneficio para la implementación de una planta de termovalorización generadora de biocombustibles a partir de plásticos mixtos con la finalidad de solucionar la problemática referente a los residuos sólidos a fin de disminuir los costos de manejo de los residuos sólidos en la separación.



REFERENCIAS

- Africano, M. (2022). Así se fabrica la madera plástica en Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/>
- Agüero, A., Carral, M., Sauad, J. y Yazlle, L. (2005). Aplicación del método de valoración contingente en la evaluación del sistema de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Salta, Argentina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 2: 37-44
- Aguirre, M., Martínez, L., Quispe, L. (2022). Aplicación del método de valoración contingente para evaluar los daños ambientales de la Laguna de Paca, Jauja – Junín 2022. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Callao] <http://www.repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/>
- Alvarado, L. y Reyes, M. (2022). Obtención de productos combustibles líquidos para motores a partir de residuos plásticos domésticos no reciclables por medio de procesos pirolíticos. [Tesis. Universidad de Guayaquil]
- Amar, S., Ardilla, A., Barrera, R. (2019). Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos. *Ingeniería y desarrollo*, 37 (2), <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.1285>
- Aponte, G. (2023). Producción de combustibles a partir de desechos plásticos mediante procesos de reciclado químico. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*. 17 (1), 32-46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10199056>
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR, 2018). *Sistemas de gestión ambiental. ISO: 14001*. Madrid. <https://www.aenorperu.com/certificacion/medio-ambiente>
- Alabi, O., Ologbonjaye, K., Awosolu, O., Alalade, O. (2019). Efectos de la eliminación de desechos plásticos en la salud pública y ambiental: una revisión. *J Toxicol Risk Assessment* 5 (21),1–13. <https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510021>.
- Almeida, D., & Marques, M. (2016). Thermal and catalytic pyrolysis of plastic waste. *Polimeros*, 26(1), 44-51. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2100>
- Al-Salem, S., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, 197, 177-198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- Awuchi, C. (2019) Impactos de la contaminación plástica en la sostenibilidad de cadena de valor de los productos pesqueros y la salud humana. *Int J Adv Acad Res* 5(11), 46–138.
- Awasthi SK, Kumar M, Kumar V, Sarsaiya S, Anerao P, Ghosh P. (2022). Una revisión

- exhaustiva de los avances recientes en biodegradación y gestión sostenible de biopolímeros. Contaminación ambiental. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119600>.
- Awasthi, AK, Shivashankar, M., Majumder, S., 2017. Tecnologías de utilización de residuos sólidos plásticos: una revisión. Conferencia de la PIO. Ser.: Mater. Ciencia. Ing. 263, 022024. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/263/2/022024>.
- Barradas, A. (2017). Gestión integral de residuos sólidos municipales: Estado de Arte. Recuperado de: <http://www.oa.upm.es/1922/1/Barradas>
- Blas, L. (2021). Manejo de residuos sólidos domiciliarios en la gestión municipal en la Comunidad de Tanta, Lima, 2020.
- Bocanegra, L. (2022) Estudio de prefactibilidad para la fabricación de lentes de sol a base de plástico reciclado [Tesis de licenciatura. Universidad de Lima]. <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle>
- Bocanegra, K.; Gamarra, F. y Tipian, P. (2020). Gestión de los residuos sólidos en el Perú en tiempos de pandemia por COVID – 19: Recomendaciones para proteger los derechos a la salud y al ambiente. Serie Informes Especiales N° 24-2020-DP. Lima: Defensoría del Pueblo. Recuperado de: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/>
- Bolan, S., Padhye, L., Kumar, M., Antoniadis, V., Sridharan, S., Tang, Y. (2023). Revisión sobre distribución, destino y manejo de elementos potencialmente tóxicos en desechos médicos incinerados. Contaminación ambiental 321. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121080>.
- Caleño, F. D. (2020). Evaluación de la pirolisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12340/T09200.pdf?sequence=5&isAllowe d=y>
- Cárdenas, M. y Villanueva, S. (2018). Influencia de la gestión de residuos sólidos como procedimiento de gestión ambiental para reducir el impacto en el medio ambiente en la ciudad de Lima metropolitana.
- Carreño y Yacila (2021). Valoración económica por la mejora del manejo de residuos sólidos en el centro poblado la Margarita, distrito de Querecotillo, año 2020. [Tesis de bachiller. Universidad Nacional De Frontera – Sullana]
- Callewaert, P., Lerche, H. y Lyng, K. (2023). ¿Cómo alcanzar objetivos ambiciosos de reciclaje de residuos de envases de plástico? El impacto medioambiental del aumento de la separación y clasificación de residuos en Noruega.

- Castells, X. (2012). Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Madrid. Ediciones Diaz de Santos.
- Castro, D. (2019). Propuesta de un sistema de manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el distrito de Arequipa.
- Caula, S. (2006). La valoración contingente de dos proyectos de desarrollo del Jardín Botánico de Valencia: efecto de la información de la diversidad de aves y de factores socioeconómicos y actitudinales. Universidad de Carabobo, Venezuela.
- CEFIC 2020. Introduciendo el reciclaje químico: los residuos plásticos se convierten en un recurso - documento de posición. <https://cefic.org/app/uploads/2020/03/Cefic-Position-Paper-on-Chemical-Recycling-1.pdf>: el Consejo Europeo de la Industria Química.
- Centro de Ecoeficiencia y Responsabilidad Social (CER, 2020). Acelerando el cambio hacia una Economía Circular en Plástico en Lima Metropolitana y el Callao. Lima. Grupo GEA.
- Ciuffi, B., Chiaramonti, D., Rizzo, A., Frediani M. y Rosi, L. (2020). Una revisión crítica del SCWG en el contexto de las tecnologías de gasificación disponibles para residuos plásticos. Appl Sci 10(18) <https://doi.org/10.3390/app10186307>
- Coates, G., Getzler, Y. (2020). Reciclaje químico en monómero para una circular ideal Economía de polímeros (materiales de reseñas de la naturaleza).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2021), Economía Circular en América Latina y el Caribe. Oportunidad para una recuperación transformadora. 1- 73.
- Cortés, S. (2016). Sistemas de Gestión Integrados: sus bases teóricas, implantación y operatividad en Campos petroleros. Venezuela. Edit. Companc.
- Consejo Nacional de Competitividad y Formalización (2019). Plan nacional de competitividad y productividad 2019-2030. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
https://www.cnc.gob.pe/media/attachments/2019/09/28/plan_nacional_de_competitividad_y_productividad_pncp.pdf
- Chinnathan Areeprasert a, Jarudej Asingsamanunt b, Supachot Srisawat b, Jeerattikul Kaha rn a, Bundit Inseemeeesak a, Phatavee Phasee a, Chanoknunt Khaobang a, Wichai Siwakosit a, Chart Chiemchaisri (2017) Estudio de composición de residuos plásticos municipales en la estación de transferencia de Bangkok y posibilidad de su valorización energética mediante planta de termovalorización . Rev Energy Procedia Vol 107, 222-226 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii>
- Cudjoe, D., Brahim, T. y Zhu, B. (2023). Evaluación de la viabilidad económica y ecológica de generar electricidad a partir de petróleo derivado de la planta de

- termovalorización de residuos plásticos en China. *Gestión de residuos* 168, pp. 354–365.
- Cruz, M. & Martínez, M. (2012). Perfeccionamiento de un instrumento para la selección de expertos en las investigaciones educativas. *Revista electrónica de investigación educativa*, 14(2), 167-179.
- Darko, Ch., Wong, P., Yung, S. y Acquaye, A. (2023). Revisión y recomendaciones para vías sostenibles de reciclaje de desechos plásticos básicos en diferentes regiones económicas. *Elsevier: Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad* 14. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2023.100134>
- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Diario El Peruano*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12895/d>
- D.L. N° 1501 del 2020 que modifica el D.L. 1278 de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- D.L. N° 27314. Ley de gestión integral de residuos sólidos. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Denisse, A. (2019). ¿cuál es el destino de los desechos sólidos en nuestra localidad y/o comunidad. <http://www.brinly.lat/tarea>
- Dogu, O., Pelucchi, M., Van de Vijver, R., Van Steenberge, P., D'hooge, D., Cuoci, A. (2021) La química del reciclaje químico de residuos plásticos sólidos mediante planta de termovalorización y gasificación: Estado del arte, desafíos y direcciones futuras. 84. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100901>.
- Earth & Life University. (2024). Soluciones tecnológicas para la gestión de residuos: <https://earthuniversity.edu.mx/soluciones-tecnologicas-para-la-gestion-de-residuos/>
- ECOPLAS (2020). reciclado avanzado de los plásticos: reciclado por planta de termovalorización , por disolución, biológico-enzimático y despolimerización
- Ellen M. (2019), Completing the picture: How the circular economy tackles climate change.
- Escudero, C. y Cortez, L. (2018). Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. Machala: Universidad Técnica de Machala. Colección REDES
- Espinoza, J. (2021). Aplicación del Método de Valoración Contingente para el Mantenimiento de los Servicios Ecosistémicos del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (Lima-Perú) [Tesis de pregrado. Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/2>
- Fernández, A. (2019). Sistema de Gestión Ambiental. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.

- Grigore, ME, 2017. Métodos de reciclaje, propiedades y aplicaciones de polímeros termoplásticos reciclados. *Reciclaje* 2, 24.
- Gomez, S. (2019). Modelo de gestión ambiental y su relación con la optimización del manejo de residuos sólidos en la municipalidad distrital de San Juan de Lurigancho”,
- Gonzales (2016). *La Gestión pública: análisis y Paradigmas*. México: Trillas.
- Gonzales y Pérez (2021). Evaluación del horno túnel como tecnología limpia para la reducción de la huella de carbono en la etapa de producción de una ladrillera mecanizada en la ciudad de Arequipa, 2020. [Tesis de grado] Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Gutiérrez, I., Mahamud, M. y Gutiérrez, A. (2020). Gestión y estabilidad de los vertederos de residuos sólidos, *Dialnet* 14(27); 18-29.
- Hernández, Fernández y Baptista (2016). *Metodología de la investigación*. 6ta. Edición. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Huiman, A. (2023). Situación actual de los residuos sólidos. *Diario El Peruano*. <https://www.elperuano.pe/noticia/216136-situacion-actual-de-los-residuos-solidos>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda*
- Jeswani, H., Russ, M., Horlacher, M., Kruger, C., Hann, S. (2021). Impactos ambientales del ciclo de vida del reciclaje químico mediante planta de termovalorización de residuos plásticos mixtos en comparación con el reciclaje mecánico y recuperación de energía. *Elsevier ScienceDirect* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144483>
- Karlsson et al. (2024). Climate footprint assessment of plastic waste pyrolysis and impacts on the Danish waste management system. *Journal of Environmental Management* 351
- Kumar M, Xiong X, He, M., Tsang D., Gupta, J., Khan, E. (2020). Microplásticos como contaminantes en suelos agrícolas. *Contaminación ambiental* 265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol..114980>
- Kumar M, Chen H, Sarsaiya S, Qin S, Liu H, Awasthi MK, et al. (2021). Tendencias actuales de investigación sobre micro y nanoplasticos como una amenaza emergente para el medio ambiente global: una revisión. *J Hazard Mater* 409. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124967>
- Kumar, M., Bolan, S., Padhye, Konarova, M., Yin, S., Lam, S., Shiun, R., Cao, R., Li, Y., Wagland, S., Batalha, N., Ahmed, M., Pandey, A., Siddique, K., Long, H., Rinklebe, J. y Bolan, N. (2023). Una revisión exhaustiva de los avances recientes en biodegradación y gestión sostenible de biopolímeros. *Contaminación ambiental*. Elsevier N°345 www.elsevier.com/locate/apenergy
- Lange, J. (2021). *Gestión de residuos plásticos: clasificación, reciclaje, eliminación y*

- rediseño de productos. ACS Sustain Chem Eng 9(47), 22 –38.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05013>.
- Ley N° 1278, del Reglamento 014-2017, sobre la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario El Peruano.
- Lim et al. (2023). Clasificación y reciclaje óptimos de residuos plásticos como recurso energético renovable teniendo en cuenta la viabilidad económica y la contaminación ambiental. Rev. Seguridad de procesos y protección ambiental 169; pp. 685–696
- Lojano, F. (2020). Obtención de combustibles a partir de tereftalato de polietileno (PET) a escala de laboratorio mediante de procesos de planta de termovalorización y gasificación. Tesis tercer nivel. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18901/1/UPS-CT008803.pdf>
- López, N. (2009) Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la plaza de mercado de Cerete – Córdoba.
- López, E. (2018). El método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. Educación XX1, 21(1), 17-40
- Macías, L. et al. (2018). La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios.
- Machacuay, C. (2021). Valoración económica para mejorar el manejo de residuos sólidos urbanos en los hogares del distrito de Huancayo, 2020. [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Centro Del Perú], <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/>
- Malqui, J. (2019). Manejo de residuos sólidos municipales en la gestión ambiental del Distrito de Taurija – provincia de Pataz.
- Melgar, Y. (2018). Valoración económica ambiental de la Gruta de Huagapo a través del método de valoración contingente” [Tesis de licenciatura. Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://www.repositorio.ucss.edu.pe/handle/>
- Mesa, M. (2016). Evaluación del proceso de pirólisis para la producción de Diesel a nivel laboratorio a partir de residuos plásticos de industrias de alimento. Obtenido de Fundación Universidad de América: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/>
- Meyhuey (2015). Rrsmunicipales residuos sólidos. <https://www.es.slideshare.net/JulioCesarMeyhuey>
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburizaiza, A. S., Rehan, M., & Nizami, A. S. (2016). Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste: A Review. Process Safety and Environment Protection, 1 - 14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022>
- MINAM (2015). Manual de valoración económica del patrimonio natural /Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del

- Patrimonio Natural. -- Lima: MINAM: GIZ, 2015.
- Miskolczi, N., & Ateş, F. (2016). Thermo-catalytic co-pyrolysis of recovered heavy oil and municipal plastic wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 117, 273-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.11.005>
- Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019). Proyecto de Ley General de residuos. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe>
- Ministerio de producción (2018). Ministerio de producción: La economía circular está dentro de nuestros temas prioritarios de trabajo. <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/18943-ministro-de-la-produccion-la-economia-circular-esta-dentro-de-nuestros-temas-prioritarios-de-trabajo>
- Ministerio del Ambiente (2019). Foro economía circular: Industria 4.0 y financiamiento de impacto. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/foro-economia-circular-industria-40-financiamiento-impacto>
- Ministerio del ambiente (2023). Generación anual de residuos sólidos municipales. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/generaci%C3%B3n-anual-de-residuos-s%C3%B3lidos-municipales-0>
- Montoya, K. y Roncancio, K. (2016). Análisis de alternativas tecnológicas para la valorización y disposición final de residuos plásticos en la ciudad de Manizales. [Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Manizales] <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/>
- Moreno, A. & Sáenz, P. (2018). Evaluación de la obtención de diésel a nivel laboratorio mediante planta de termovalorización a partir de residuos plásticos provenientes del proceso de empacado de la empresa Atlantic FS S.A.S. Proyecto integral de grado. Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/>
- Moscoso, K., Rojas, C., Beraún, M. (2019). La economía circular: Modelo de gestión de calidad en el Perú. 1 (2), 2707 – 3602. <https://doi.org/10.37073/puriq.1.02.48>
- Municipalidad distrital de Yanahuara (2019). Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (ECSR) del área urbana del distrito de Yanahuara.
- Municipalidad Provincial de Arequipa (2017). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa 2017-2028. <https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS%202017-2028/PIGARS%20final%202022%20de%20Diciembre.pdf>
- OCDE (2019). Highlights Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic Drivers and Environmental Consequences. 1- 24.
- Oldenhage, F. (2016). Propuesta de un programa de gestión para mejorar el manejo de los residuos sólidos en el distrito de San Juan de Miraflores con respecto al

- ambiente, el servicio de recojo y el comportamiento de la población.
- Ortiz, E. (2016), investigó sobre la valoración Económica de un espacio recreativo en la Isla San Lorenzo. Caso Aplicado: Método de Valoración Contingente [Tesis de licenciatura. Universidad San Ignacio de Loyola].
<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core>
- Osorio, B. (2023). Valorización de residuos plásticos por medio de la obtención de fibras, biodegradación y la pirolisis para el fomento de la economía circular [Tesis de licenciatura. Fundación Universidad de América]
- Osorio & Correa (2009). Un análisis de la aplicación empírica del método de valoración contingente. Colombia. Semestre Económico, 12(25), pp. 11-30.
<https://www.researchgate.net/pu>
- Petroquimex. (2018). El Proceso de Termovalorización, una Solución Tangible al Problema Mundial de la Basura. Petroquimex. <https://petroquimex.com/el-proceso-de-termovalorizacion-una-solucion-tangible-al-problema-mundial-de-la-basura/>
- Plastiperú (2023). Tipos de plásticos: conoce sus características y usos de manera didáctica. <https://plastiperu.pe/tipos-de-plastico-conoce-sus-caracteristicas-y-usos-de-manera-didactica/>
- Punčochář, M., Rujb, B. y Chatterj, P. (2012). Desarrollo de proceso para la eliminación de residuos plásticos mediante tecnología de planta de termovalorización por plasma y opción de valorización energética. Elsevier 42, 420-430
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.433>
- Quezada, L. (2021). Desarrollo de tratamientos térmicos sostenibles para la valorización del plástico procedente de la fracción rechazo de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos [Tesis doctoral. Universidad de Granada]
- Quiroz, H. (2020). Sistema de Gestión administrativa. Universidad y Sociedad, 12(4), pp. 32-37
- Quispe, J. (2019). Disposición a Pagar por el sistema de recolección de los residuos sólidos domésticos en la ciudad de Juliaca 2019. Semestre Económico, 8(2), pp. 67-99.
- Ragaert, K., Delva, L., Van Geem, K., 2017. Reciclaje mecánico y químico de residuos plásticos sólidos. Gestión de residuos. 69, 24–58.
- Ramos, P., et.al., (2005). Gestión del medio ambiente (1996-2005). España: Universidad de Salamanca
- Ramos (2020). Reciclaje y termovalorización, parte del modelo de gestión sostenible de residuos sólidos urbanos. <https://vitalogicrsu.com/reciclaje-y-termovalorizacion-parte-del-modelo-de-gestion-sostenible-de-residuos-solidos-urbanos/>

- Revilla, V. y Salas, A. (2022). Aplicación del método de valoración contingente al servicio ecosistémico de recreación y ecoturismo, como base para la elaboración de una propuesta de plan de manejo ambiental para la caleta huachiray, zona marino costera de Arantas, Provincia de Camaná, Arequipa” [Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Santa María]
- Robayo, L. (2022). Fundación Botellas de Amor: un modelo de reciclaje que cautiva. <https://www.mundopmmi.com/empaque/sustentabilidad/articulo>
- Rodríguez (2019). Producción de combustible por planta de termovalorización de desechos plásticos. [Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Baja California]
- Saidón, M., Christel, L. G., & Levatino, B. (2023). Tecnologías emergentes asociadas a riesgos ambientales. El fracking en Mendoza y la termo-valorización en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires: coaliciones en controversia. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9184073>
- Salazar, A., Valera, B., Del Rosario, G. y Francia, J. (2022). Modelo ProLab: Kawsay, una propuesta para reutilizar el plástico PET generado por empresas industriales [Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica Del Perú] <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/>
- Sánchez, Reyes, & Mejía. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Lima: Universidad Ricardo Palma: <http://www.repositorio.urp.edu.pe>
- Sánchez A. et al. (2022). Despolimerización efectiva de desechos plásticos de polietileno en condiciones de licuefacción hidrotérmica y solvotérmica. Chem Eng J N° 446. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137238>.
- Santa María y Mállap (2015). Comentarios al Régimen Normativo Municipal. Libro. Gaceta Jurídica.
- Sarmiento, M. (2003). Desarrollo de un nuevo método de valoración medio ambiental. [Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid]
- Secretaría del Ambiente de Buenos Aires (2021). Botellas de amor: cómo transforman los desechos plásticos en muebles, pisos y juegos para chicos. <https://www.buenosaires.gob.ar/jefedegobierno/ambiente>
- Shanker, R. (2023). Reciclaje de residuos plásticos: escenario indio actual y oportunidades futuras. Universidad Islámica Azad Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambientales
- Sharuddin, S., Abnisa, F., Daud, W., & Aroua, M. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. Energy Conversion and Management, 308-326.
- Sistema de Transporte colectivo (2017) Proyecto de prestación de servicios a largo

plazo para el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de una planta de termovalorización para producción de energía eléctrica, para el sistema de transporte colectivo, Metro. <https://metro.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Informacion%20L12/Manifestaciones%20escritas%20de%20Asuntos%20Relevantes/PLANTA%20DE%20TERMOVALORIZACION.pdf>

- Soto, A. (2013). La valorización económica del medio ambiente a través del método de valoración contingente: El caso de la Cuenca del Alto Atoyac en Puebla, México. [Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana]
- Ticlia, M., Espejo, C., Luján, J. LLaque, G. y Valderrama, M. (2021). Valoración Económica para el adecuado Manejo de Residuos Sólidos Municipales. Una revisión sistemática entre los años 2010-2020
- Tobías, M. (2017). Desarrollo y Gestión Ambiental. Madrid. Edit. Acento
- Uribe et al., (2003). Introducción a la valoración ambiental y estudios de caso Bogotá, Ediciones Uniandes.
- Van Hoof, B., Núñez G. y De Miguel, C. (2022). Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe”, serie Desarrollo Productivo, N° 229 (LC/TS.2022/83), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Vargas, M. (2020). Evaluación de la planta de termovalorización térmica y de la catalítica usando zeolitas volcánicas como catalizador de desechos plásticos [Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Agustín]
- Vásquez, E. (2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. <https://www.agua.org.mx/>
- Velásquez, E. (2017). Propuesta Metodológica para Mejorar la Recaudación Tributaria de la Municipalidad Provincial de Pallasca, 2017. [Tesis de maestría, Universidad Cesar Vallejo]. <https://www.repositorio.ucv.edu.pe/>
- Vejo, C. y Roche, H. (2005). Métodos cuantitativos aplicados a la administración.
- Veolia (2017). Veolia - Mexico Thermo-valorization, 2017. https://media.business-humanrights.org/media/documents/files/documents/Business_and_Human_Right_Resource_Center_Answer_ES_Veolia.pdf
- Vilet, V. (2022). ¿Qué es la termovalorización de residuos? » Proyectos llave en mano para el tratamiento y reciclado de. Proyectos llave en mano para el tratamiento y reciclado de residuos. - GTA Ambiental. <https://gtaambiental.com/que-es-la-termovalorizacion-de-residuos/>
- Yachas, L. (2019). Aplicación del método de valoración contingente en la evaluación de la calidad ambiental del recurso natural del lago Chinchaycocha, Región Pasco –

2019. [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]


Yamaguchi, S., (2018), International Trade and the Transition to a more Resource Efficient and Circular Economy: Concept paper, Trade and Environment Working papers – 2018/03, OECD publishing, Paris.

Zhou, H., Ren, Y., Li, Z., Xu, M., Wang, Y., Ge, R. (2021). Reciclaje electrocatalítico de tereftalato de polietileno en productos químicos básicos y combustible H₂. Nat Común 12(1):4679. [https://doi.org/ 10.1038/s41467-021-25048-x](https://doi.org/10.1038/s41467-021-25048-x)





Anexo 1 Carta de presentación respaldada por la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María

 Universidad Católica
de Santa María

"IN SCIENTIA ET FIDE ERIT FORTITUDO NOSTRA"
"En la ciencia y en la fe está nuestra fortaleza"

Arequipa, 6 de julio de 2023

CARTA N°053-EPIA-2023

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar nuestro atento saludo de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, y en especial de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, y a la vez presentarle a las señoritas:

**GIANELLA MARILIA GONZALES PALOMINO Y
LUCÍA ALEJANDRA GUILLÉN BERROCAL**

Bachilleres egresados de nuestra Escuela Profesional y encargadas del trabajo de tesis "Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023." la cual se llevará a cabo con la metodología valoración contingente y contempla un proceso de validación de encuestas a través de expertos.

De acuerdo con lo anterior y conociendo de su experiencia profesional, así como de su espíritu de colaboración buscamos invitarlo(a) a formar parte del grupo de expertos que estarán a cargo de la validación de la encuesta a aplicar en el presente trabajo de tesis.


Esperamos contar con su apoyo en el desarrollo de esta investigación. Si desea contribuir por favor hacemos llegar su teléfono celular de contacto vía correo electrónico a las siguientes direcciones: gianellagonzales1998@gmail.com, luciaguillen78@gmail.com

Por la atención que le merezca la presente y por las facilidades que les brinde a nuestros estudiantes para el cumplimiento de su cometido, desde ya le manifestamos nuestro agradecimiento.

Concedora de su amplio espíritu de colaboración, hago propicia la ocasión para reiterar los sentimientos de mi mayor consideración y deferencia personal.

Puede confirmar la validez de la presente carta al correo achanove@ucsm.edu.pe

Atentamente,


Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Universidad Católica de Santa María

ACHM/ERA
C.C. Ariz

Anexo 2 Formato de Autoevaluación



Autoevaluación de conocimientos

Estimado:

Este instrumento tiene fines exclusivamente académicos, el cual se usa la siguiente encuesta de la tesis titulada: "Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023."

Agradecemos su tiempo y disposición.

Nombres y apellidos *

Texto de respuesta corta

Número de celular *

Texto de respuesta corta

Correo electrónico *

Texto de respuesta corta

Marque un Número del 1 al 10, considerando al 1 como el menor valor y el 10 como el valor máximo, auto valorándose con respecto a su nivel de experticia y conocimiento en: gestión ambiental, gestión de residuos sólidos, planificación y gestión ambiental, sistemas de gestión ambiental, ciencias y tecnologías medioambientales.

Basta tener conocimiento y experticia en 1 de los temas antes mencionados para responder a la pregunta. En caso tenga experticia en más de uno de los temas marcar en función al que usted considere como experticia mayor

- | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuántos Años de Experiencia tiene en el campo de la gestión de residuos sólidos? *

- De 5 a más años
- Entre 2 y 4 años
- Menos de 2 años

¿Cuál es su máximo grado académico obtenido? *

- Doctorado y más estudios
- Magister
- Título Profesional o Bachiller
- No cuenta con estudios Superiores

Anexo 3 Cuestionario preliminar sobre conocimientos de tecnologías

Estimado(a):

La presente encuesta anónima tiene por objetivo recolectar datos para realizar una investigación sobre la evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular en la Municipalidad de Yanahuara. Para ello recurrimos a su valiosa colaboración y desde ya agradecemos su aporte que contribuirá con el trabajo de investigación. No existen contestaciones "buenas" ni "malas"; esto no es una prueba de inteligencia o habilidad, sino una apreciación de lo que Ud. considera.

1. ¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?
 - a. Técnico administrativo ()
 - b. Jefe de área ()
 - c. Gerente ()
 - d. Personal obrero ()
 - e. Otro ()
2. ¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?
 - a. Menos de 1 año
 - b. Entre 2 y 4 años
 - c. 5 años o más
3. ¿En la Municipalidad de Yanahuara, existe un programa o iniciativa específica para abordar la gestión de residuos plásticos?
 - a. Sí ()
 - b. No ()
4. ¿Qué tecnología utiliza la Municipalidad de Yanahuara para reutilizar los residuos plásticos que genera el distrito?
 - a. Termovalorización ()
 - b. Despolimerización ()
 - c. Quimiólisis ()
 - d. Gasificación ()
 - e. Ninguna ()
5. Si la respuesta es No, entonces ¿Considera que es necesario implementar nuevas tecnologías para reutilizar los residuos plásticos del Distrito de Yanahuara?
 - a. Sí ()
 - b. No (), ¿Por qué?:
.....
6. Marque aquellas tecnologías que conoce relacionadas con la reutilización de residuos plásticos:
 - a. Licuefacción hidrotermal
 - b. Disolución
 - c. Termovalorización
 - d. Despolimerización
 - e. Ninguna
7. ¿Conoce alguna aplicación de tecnología en Arequipa para la reutilización de

residuos plásticos?

- a. Sí ()
- b. No ()

8. Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.

.....

9. ¿Está la Municipalidad de Yanahuara involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías sostenibles?

- a. Sí ()
- b. No ()

10. ¿Está la Municipalidad de Yanahuara involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías sostenibles?

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

11. ¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en la mejora de gestión de residuos plásticos en su municipalidad?

- a. Sí ()
- b. No ()

12. ¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?

- a. Sí ()
- b. No ()

13. En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?

- a. Financiero
- b. Administrativo
- c. Falta de conocimiento
- d. Político
- e. Otro

14. ¿Usted considera que todos los municipios deben implementar tecnologías reaprovechables para la integración de la economía circular?

- a. Sí ()
- b. No ()

Anexo 4 Candidatos para la validación de la encuesta

Nombres y apellidos	Número de celular	Correo electrónico	Marque un Número del 1 al 10, considerando al 1 como el menor valor* y el 10 como el valor máximo, auto valorando su nivel de experticia y conocimiento en: Gestión de residuos sólidos, planificación y gestión ambiental, sistemas de gestión ambiental, ciencias y tecnologías medioambientales.	¿Cuántos Años de Experiencia tiene en el campo de la gestión de residuos sólidos?	¿Cuál es su máximo grado académico obtenido?
Diego Rodrigo López Ramos	977362059	d.lopezr@gmail.com	10	De 5 a más años	Doctorado y más estudios
Dorinha Castro Gamarra	979706079	dorinhaccg@gmail.com	9	De 5 a más años	Magister
Domenica Dongo Martinez	983472218	ddongo@ucsm.edu.pe	9	De 5 a más años	Magister
Robert Joaquín Medina Ramos	949075294	robert.medina@ucsm.edu.pe	7	Entre 2 y 4 años	Magister
Kevin Tejada Meza	980731952	ktejada@ucsm.edu.pe	7	Entre 2 y 4 años	Magister
Freddy Pillpa Aliaga	956300075	fpillpaa@ucvvirtual.edu.pe	7	Entre 2 y 4 años	Magister
Edwin Fredy Bocado Delgado	959624111	ebocado@unsa.edu.pe	10	De 5 a más años	Doctorado y más estudios

*Basta tener conocimiento y experticia en 1 de los temas antes mencionados para responder a la pregunta. En caso tenga experticia en más de uno de los temas marcar en función al que usted considere como experticia mayor

**DOCUMENTOS PARA VALIDAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A TRAVÉS
DE JUICIO DE EXPERTO**

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: ~~Mag. Freddy Pillpa Aliaga~~ Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

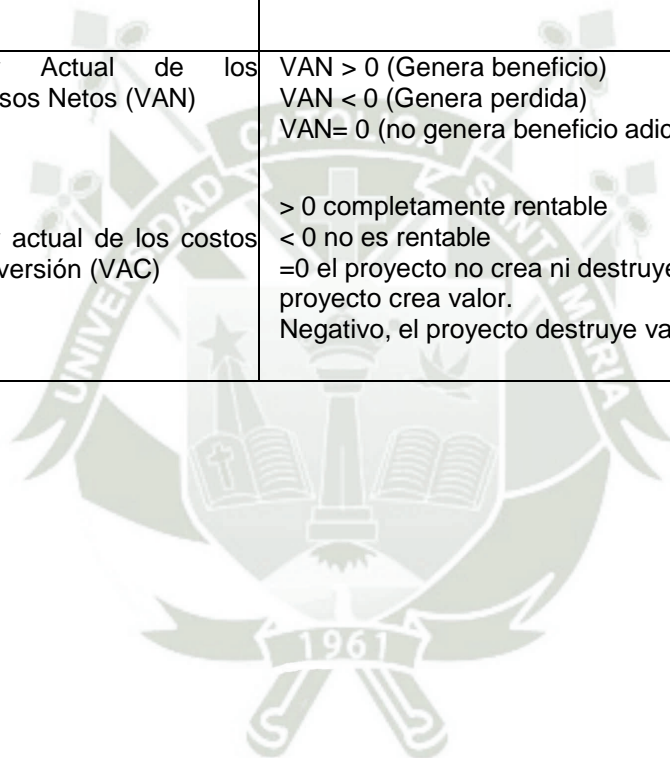
Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

- Tecnologías de valorización

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día Producción percapite Kg/día Puntos de recolección Frecuencia Tn recolectadas/día Tn residuos reciclado Tn material reciclado vendido/mes Tn materiales reutilizables/mes	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
	Nivel de conocimiento de tecnologías	Tecnologías básicas Tecnologías avanzadas	Muy alto Alto Medio	Encuesta del nivel de

			Bajo Muy bajo	conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VAN) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VAN > 0 (Genera beneficio) VAN < 0 (Genera pérdida) VAN= 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

Nº	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo										
			Si	No	Si	No	Si	No	0	1	2	3	4	5					
PUESTO LABORAL																			
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x									x			
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 – 5 meses c. Entre 6 – 8 meses d. Entre 9 – 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x								x				
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo										
									0	1	2	3	4	5					
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x								x				
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x			
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Termovalorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x									X			
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x								x				
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x								x				
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x									x			
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo										
									0	1	2	3	4	5					
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x									x			

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x								x
CRITERIO			Pertinencia	Relevancia	Claridad	Grado de acuerdo									
			0	1	2	3	4	5							
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x							x	x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a.Sí () b.No ()												x	
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x								x
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x							x	

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: Considero que los ítems son suficientes para medir las dimensiones planteadas

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. Mag. Freddy Pillpa Aliaga

CIP: 196897

Especialidad del validador: *Ambiental*

18 de octubre del 2023



Mag. Freddy Pillpa Aliaga

CIP: 196897

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: Dr. Diego Rodrigo López Ramos

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

- Tecnologías de valorización

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • Tn recolectadas/día • Tn residuos reciclado • Tn material reciclado vendido/mes • Tn materiales reutilizables/mes 	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
	Nivel de conocimiento de tecnologías	Tecnologías básicas Tecnologías avanzadas	Muy alto Alto Medio Bajo Muy bajo	Encuesta del nivel de conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING

Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VANo) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VANo > 0 (Genera beneficio) VANo < 0 (Genera pérdida) VANo = 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías
--	-----------------------------	--	---	---



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

N°	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
			Sí	No	Sí	No	Sí	No	0	1	2	3	4	5									
PUESTO LABORAL																							
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x										x						
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 – 5 meses c. Entre 6 – 8 meses d. Entre 9 – 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x									x							
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
									0	1	2	3	4	5									
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x										x						
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x										x						
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Planta de temperatura valorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x										X						
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x									x							
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x									x							
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x										x						
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
									0	1	2	3	4	5									
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x										x						

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x									x
CRITERIO			Pertinencia	Relevancia	Claridad	Grado de acuerdo										
						0	1	2	3	4	5					
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x											x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input checked="" type="checkbox"/>														x
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x											x
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x											x

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: *Apta para ser aplicada*

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. Diego Rodrigo López Ramos

CIP: 21937

Especialidad del validador: Ciencias ambientales

24 de octubre del 2023



Dr. Diego Rodrigo López Ramos
CIP: 21937

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: ~~Mag. Dorinha~~ Cecilia Castro Gamarra

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

- Tecnologías de valorización

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • T_n recolectadas/día • T_n residuos reciclado • T_n material reciclado vendido/mes • T_n materiales reutilizables/mes 	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
	Nivel de conocimiento de tecnologías	Tecnologías básicas Tecnologías avanzadas	Muy alto Alto Medio Bajo Muy bajo	Encuesta del nivel de conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING

Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VAN _o) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VAN _o > 0 (Genera beneficio) VAN _o < 0 (Genera pérdida) VAN _o = 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías
--	-----------------------------	---	--	---



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

N°	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo											
			Si	No	Si	No	Si	No	0	1	2	3	4	5						
PUESTO LABORAL																				
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x									x				
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 - 5 meses c. Entre 6 - 8 meses d. Entre 9 - 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x									x				
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo											
									0	1	2	3	4	5						
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x				
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x				
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Planta de termo valorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x									X				
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x								x					
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x								x					
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x					
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo											
									0	1	2	3	4	5						
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x									x				

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x								x
CRITERIO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input checked="" type="checkbox"/>											x		
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x								x
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x						x		

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: *Esta encuesta ya puede ser utilizable para aplicarla*

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. Mag. Dorinha Cecilia Castro Gamarra CIP: 135271

Especialidad del validador: Ciencias ambientales

24 de octubre del 2023



Mag. Dorinha Cecilia Castro Gamarra

CIP: 135271

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: ~~Mag. Dora~~ Mag. Dorena Dongo Martínez

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • T_n recolectadas/día • T_n residuos reciclado • T_n material reciclado vendido/mes • T_n materiales reutilizables/mes 	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
	Nivel de conocimiento	Tecnologías básicas	Muy alto Alto Medio	Encuesta del nivel de

	de tecnologías	Tecnologías avanzadas	Bajo Muy bajo	conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VANO) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VANO > 0 (Genera beneficio) VANO < 0 (Genera pérdida) VANO = 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

N°	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo												
			Si	No	Si	No	Si	No	0	1	2	3	4	5							
PUESTO LABORAL																					
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x									x					
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 – 5 meses c. Entre 6 – 8 meses d. Entre 9 – 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x									x					
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo												
									0	1	2	3	4	5							
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x					
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x					
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Planta de tema valorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x									X					
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x								x						
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x								x						
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x						
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo												
									0	1	2	3	4	5							
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x									x					

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x								x
CRITERIO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input type="checkbox"/>												x	
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x								x
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x							x	

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: Hay suficiencia en la encuesta, por lo tanto, es aplicable

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mag. ~~Domenica~~ Domenica Dongo Martínez CIP: 21937

Especialidad del validador: Ciencias ambientales

31 de octubre del 2023



Mag. ~~Domenica~~ Domenica Dongo Martínez

CIP: 21937

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: ~~Mag.~~ Robert Joaquín Medina Ramos

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • T_n recolectadas/día • T_n residuos reciclado • T_n material reciclado vendido/mes • T_n materiales reutilizables/mes 	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.

	Nivel de conocimiento de tecnologías	Tecnologías básicas Tecnologías avanzadas	Muy alto Alto Medio Bajo Muy bajo	Encuesta del nivel de conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VANO) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VANO > 0 (Genera beneficio) VANO < 0 (Genera pérdida) VANO = 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías

ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

Nº	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo							
			Si	No	Si	No	Si	No	0	1	2	3	4	5		
PUESTO LABORAL																
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x									x
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 – 5 meses c. Entre 6 – 8 meses d. Entre 9 – 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x								x	
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo							
									0	1	2	3	4	5		
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x								x	
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotérmica b. Disolución c. Planta de temperatura valorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x									X
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x									x
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x								x	
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x	
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo							
									0	1	2	3	4	5		
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x									x
-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x									x

CRITERIO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input checked="" type="checkbox"/>												x	
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x								x
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x							x	

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: *Apta para aplicar*

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. ~~Mag.~~ **Mag. Robert Joaquín Medina Ramos** CIP: 276255

Especialidad del validador: Ambiental

23 de octubre del 2023



~~Mag. Mag.~~ **Mag. Robert Joaquín Medina Ramos**

CIP: 276255

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: Dr. Edwin Fredy Bocardo Delgado

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal CIP: 196897

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día 	Ficha de información
		Manejo de los residuos plásticos	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • T_n recolectadas/día 	Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
		Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • T_n residuos reciclado • T_n material reciclado vendido/mes • T_n materiales reutilizables/mes 	

	Nivel de conocimiento de tecnologías	Tecnologías básicas Tecnologías avanzadas	Muy alto Alto Medio Bajo Muy bajo	Encuesta del nivel de conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VANo) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	VANo > 0 (Genera beneficio) VANo < 0 (Genera pérdida) VANo = 0 (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable =0 el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

N°	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
			Sí	No	Sí	No	Sí	No	0	1	2	3	4	5									
PUESTO LABORAL																							
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x									x							
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 – 5 meses c. Entre 6 – 8 meses d. Entre 9 – 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x								x								
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
									0	1	2	3	4	5									
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x							
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x									x							
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Planta de terovalorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x								x								
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x									x							
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x									x							
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x									x							
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo														
									0	1	2	3	4	5									
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x									x							

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x								x
CRITERIO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input checked="" type="checkbox"/>										x			
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x							x	
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x								x

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: *Esta encuesta ya es utilizable, ya que se levantaron las observaciones*

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr. Edwin Fredy Bocardo Delgado CBP: 4485

Especialidad del validador: Ciencias y tecnologías ambientales 26 de octubre del 2023



Dr. Edwin Fredy Bocardo Delgado

CBP: 4485

CARTA DE PRESENTACIÓN

Estimado: ~~Mag.~~ Kevin Tejada Meza

Presente

Asunto: Validación de instrumentos a través de juicio de experto

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, requerimos validar el instrumento con el cual recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestro trabajo de investigación.

El título nombre del proyecto de investigación es: Evaluación de tecnologías de valorización de residuos plásticos para la integración de la economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos de Yanahuara, Arequipa, 2023, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención brindada a la presente.

Atentamente

Firma :



Nombre completo: Gianella Marilia Gonzales Palomino - Lucía Alejandra Guillén Berrocal.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

Variable Independiente: Tecnologías de valorización de residuos plásticos

- Diagnóstico
- Conocimientos de tecnologías
- Tecnologías de valorización.

Variable Dependiente: Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tipo de Variables	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Variable independiente Tecnologías de valorización de residuos plásticos	Diagnóstico	Producción de residuos de plástico Manejo de los residuos plásticos Disposición	<ul style="list-style-type: none"> • Nro. de viviendas Producción domiciliaria Kg/día • Producción percapite Kg/día • Puntos de recolección Nro. de contenedores Frecuencia • T_n recolectadas/día • T_n residuos reciclado • T_n material reciclado vendido/mes • T_n materiales reutilizables/mes 	Ficha de información Estudio de caracterización de residuos sólidos de Yanahuara.
	Nivel de conocimiento de tecnologías	de Tecnologías básicas de Tecnologías avanzadas	Muy alto T_n Medio Bajo Muy bajo	Encuesta del nivel de conocimiento de tecnologías
	Tecnologías de valorización	de Criterios ambientales y socio económicos	Rango de valoración del 1 al 9	Metodología de

				Selección de Alternativas - SCORING
Variable Dependiente Economía circular dentro del Plan Distrital de manejo de residuos sólidos	Tecnologías de valorización	Valor Actual de los Ingresos Netos (VAN _o) Valor actual de los costos de inversión (VAC)	$VAN_o > 0$ (Genera beneficio) $VAN_o < 0$ (Genera pérdida) $VAN_o = 0$ (no genera beneficio adicional) > 0 completamente rentable < 0 no es rentable $= 0$ el proyecto no crea ni destruye valor Positivo, el proyecto crea valor. Negativo, el proyecto destruye valor.	Metodología de Costo Beneficio económico de las tecnologías



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MUNICIPALIDAD DE YANAHUARA

N°	DIMENSIONES	RESPUESTA	Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
			Si	No	Si	No	Si	No	0	1	2	3	4	5	
PUESTO LABORAL															
P1	¿Cuál de los siguientes puestos desempeña en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Técnico administrativo b. Jefe de área c. Gerente d. Personal obrero e. Otro	x		x		x								x
P2	¿Cuánto tiempo se encuentra laborando en la Municipalidad de Yanahuara?	a. Menos de 3 meses b. Entre 3 - 5 meses c. Entre 6 - 8 meses d. Entre 9 - 12 meses e. Más de 1 año	x		x		x							x	
CONOCIMIENTO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P3	¿En la Municipalidad de Yanahuara realizan programas y/o actividades para una gestión adecuada de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P4	¿Conoce si la Municipalidad de Yanahuara cuenta con una tecnología de valorización de residuos plásticos?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P5	Marque aquellas tecnologías de valorización de residuos plásticos que conozca:	a. Licuefacción hidrotermal b. Disolución c. Planta de termovalorización d. Despolimerización e. Ninguna	x		x		x							x	
P6	¿Conoce alguna aplicación de tecnología de valorización de residuos plásticos en Arequipa?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P7	Si la respuesta es Sí, mencione qué tecnología y en dónde la aplican.	Respuesta libre	x		x		x								x
P8	¿La Municipalidad se encuentra involucrada en proyectos de investigación o en convenios relacionados con tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
IMPORTANCIA			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P9	¿Qué importancia le da la Municipalidad de Yanahuara al reciclaje de residuos plásticos, siendo 1 poco importante y 5 muy importante?	a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5	x		x		x								x

-P10	¿Las tecnologías desempeñan un papel importante en una gestión adecuada de residuos plásticos en la Municipalidad?	a. Sí b. No	x		x		x								x
CRITERIO			Pertinencia		Relevancia		Claridad		Grado de acuerdo						
									0	1	2	3	4	5	
P11	¿Considera que la Municipalidad podría utilizar los residuos plásticos reciclados para la elaboración de otros materiales sostenibles mediante la implementación de tecnologías de valorización?	a. Sí b. No	x		x		x								x
P12	¿Cree que la Municipalidad de Yanahuara ha considerado la posibilidad de utilizar plásticos reciclados en proyectos de construcción?	a. Sí <input type="checkbox"/> b. No <input type="checkbox"/>										x			
P13	En su opinión, ¿Cuáles son los mayores obstáculos en el desarrollo de la adquisición de nuevas tecnologías?	a. Financiero b. Administrativo c. Falta de conocimiento d. Político e. Otro	x		x		x							x	
P14	¿Considera que las municipalidades deben implementar tecnologías de valorización para lograr una economía circular?	a. Sí b. No	x		x		x								x

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:

(0 = nada relevante; 1 =ligeramente relevante; 2 = moderadamente relevante; 3 = relevante; 4 = muy relevante; 5 = totalmente relevante)

Observaciones: *Apta para su utilización*

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [] **Aplicable después de corregir** [] **No aplicable** []

Apellidos y nombres del juez validador. ~~Mag.~~ Kevin Tejada Meza CIP: 220752

Especialidad del validador: Ciencias y tecnologías ambientales 24 de octubre del 2023



Mag. Kevin Tejada Meza

CIP: 220752

Anexo 5 Validación del instrumento de recolección de datos mediante V de Aiken

Fase 1: Valoración académica de experiencia y autovaloración de candidatos para la validación de la encuesta

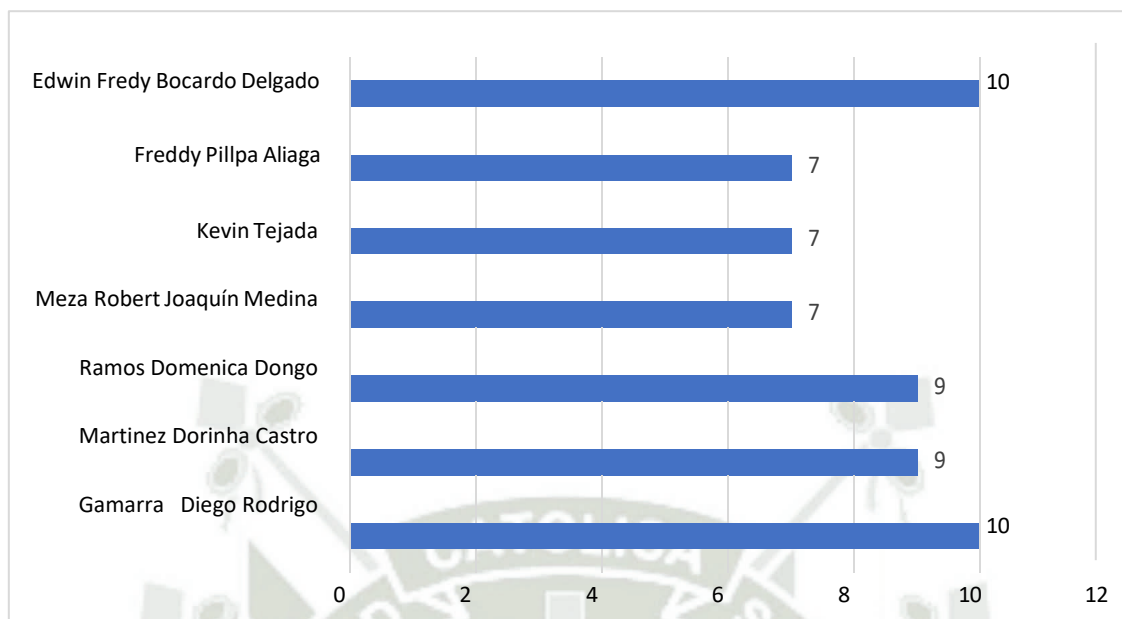
Nombres y apellidos	Valoración grado académico	Valoración según experiencia	Auto-valoración*
1. Diego Rodrigo López Ramos	0,5	0,5	10
2. Dorinha Castro Gamarra	0,4	0,5	9
3. Domenica Dongo Martinez	0,4	0,5	9
4. Robert Joaquín Medina Ramos	0,4	0,3	7
5. Kevin Tejada Meza	0,4	0,3	7
6. Freddy Pillpa Aliaga	0,4	0,3	7
7. Edwin Fredy Bocardo Delgado	0,5	0,5	10
	X=0,4	X=0,4	X = 8

*Considerando al 1 como el menor valor y el 10 como el valor máximo. Basta tener conocimiento y experticia en 1 de los temas antes mencionados para responder a la pregunta. En caso tenga experticia en más de uno de los temas marcar en función al que usted considere como experticia mayor.

Los resultados demuestran que es alto el grado académico de los candidatos ya que tienen entre 0,4 a 0,5 puntos y también es alto el grado de experiencia ya que 4 de los candidatos tienen una experiencia mayor a 5 años (0,5) y los tres restantes entre 2 y 4 años obteniendo una valoración de 9,3.

Fase 2. Autovaloración de candidatos seleccionados

Autovaloración de candidatos para la validación de la encuesta según nivel de experticia y conocimiento en: Gestión de residuos sólidos, planificación y gestión ambiental, sistemas de gestión ambiental, ciencias y tecnologías medioambientales



Nota. Ficha de validación por los expertos para su validación del instrumento

Fase 3. Resultados valoración del índice de relevancia por pregunta

Resultados promedio de las valoraciones del índice de relevancia por ítems

Preguntas	V.1	V.2	V.3	V.4	V.5	V.6	V.7	Promedio
1	5	5	5	4	5	5	5	4.9
2	4	4	5	4	4	4	4	4.1
3	4	5	5	4	3	5	5	4.4
4	5	5	5	5	5	5	5	5.0
5	5	5	5	5	5	4	5	4.9
6	4	4	4	5	5	5	4	4.4
7	4	4	4	3	4	5	4	4.0
8	5	5	4	3	4	5	5	4.4
9	5	5	5	5	5	5	5	5.0
10	5	5	5	5	5	5	4	4.9
11	4	5	5	5	5	5	5	4.9
12	4	4	3	3	3	3	4	3.4
13	5	5	5	5	5	5	5	5.0
14	4	4	5	4	4	4	4	4.1

Nota. Información recogida y procesada de los ítems para su valoración promedio

Gráfica de resultados índice de relevancia basado en la media

Nota. Información recogida y procesada de los ítems para su valoración promedio

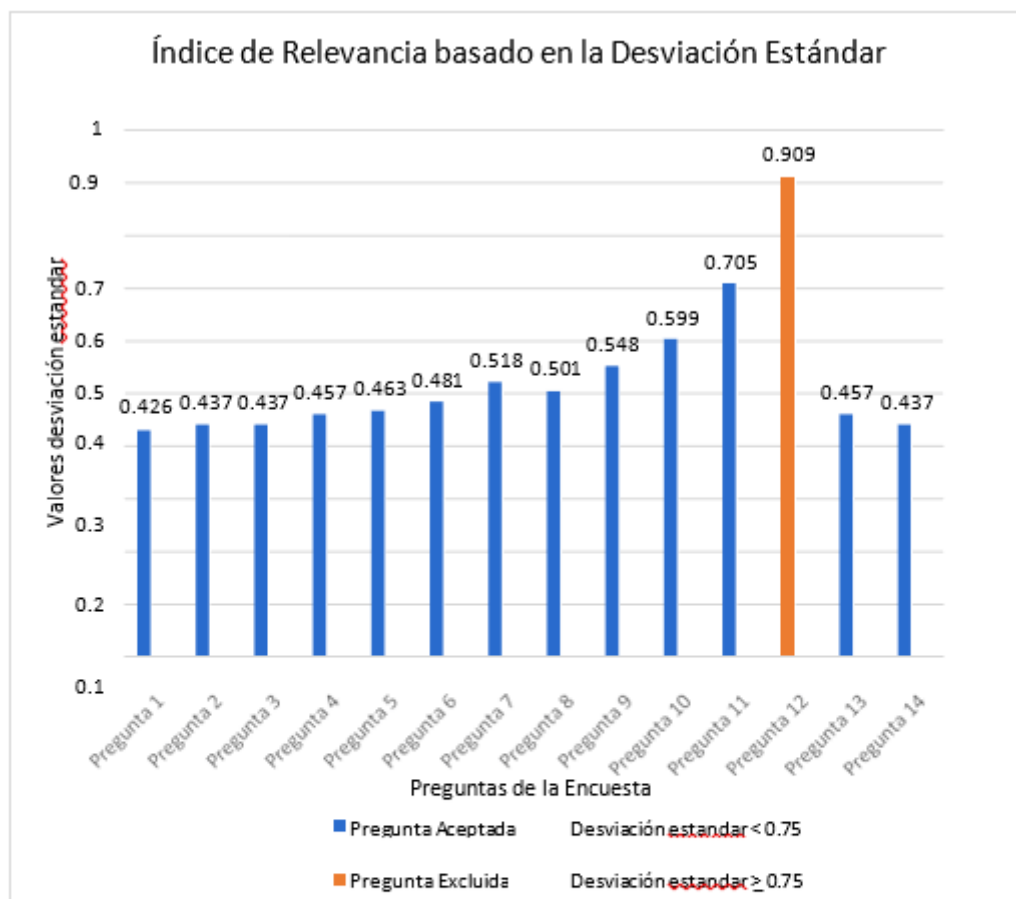
Gráfica de resultados índice de relevancia basado en la media



Se observa en la figura de los Resultados del Índice de Relevancia basado en la Media según la valoración desarrollada por los validadores a cada una de las preguntas formuladas en la redacción de la encuesta inicial, solo la pregunta numero 12 obtuvo un puntaje promedio de 3.4, inferior a 3.5; por lo que no es aceptada esta pregunta; en tanto que las demás preguntas obtuvieron puntajes promedios mayores a 3.5; por lo tanto, son aceptadas.

Resultados índices de relevancia basado en la desviación estándar



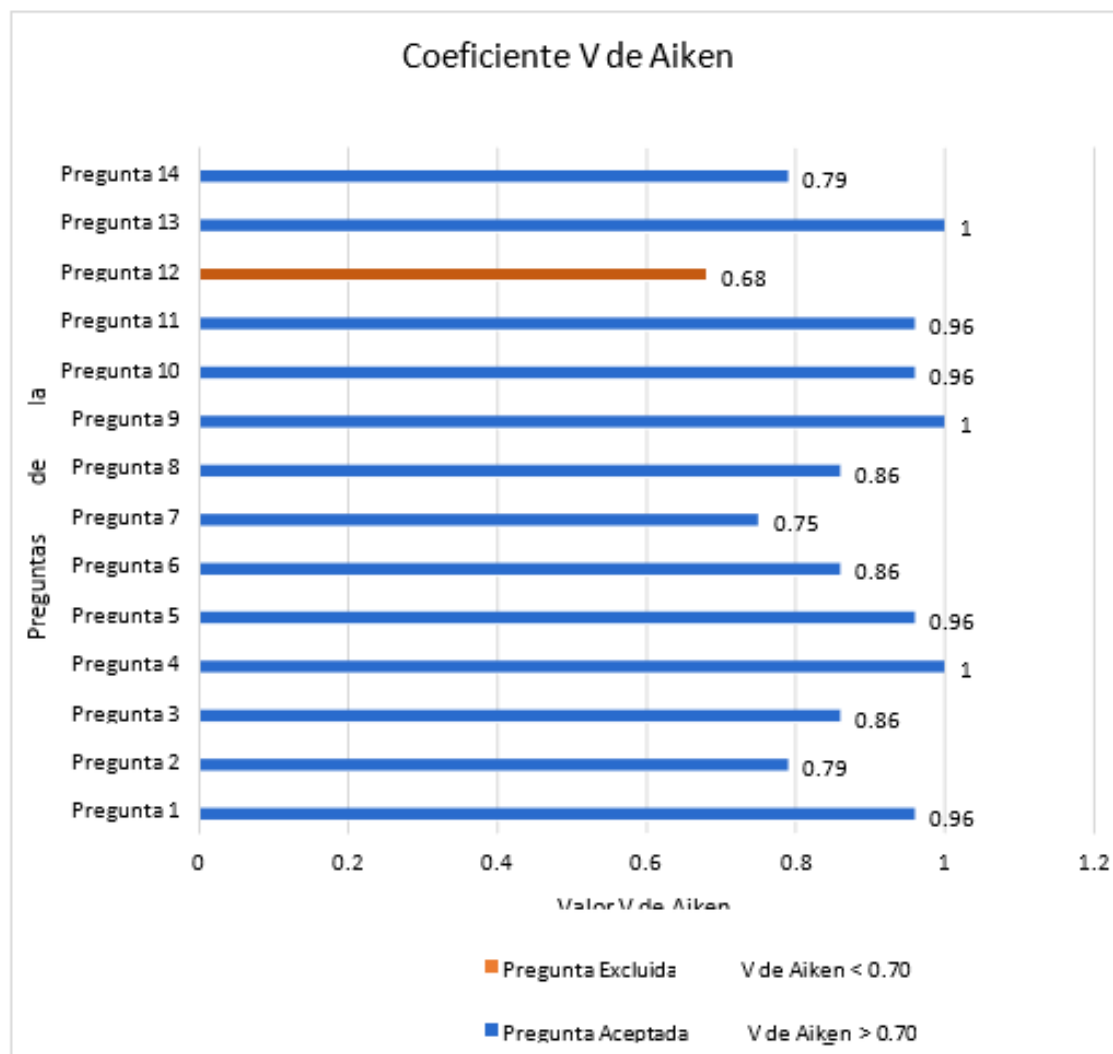


Se observa en esta figura que al igual que en la figura anterior la pregunta N° 12 obtuvo una desviación estándar de 0,909, valor mayor a 0,75 y por lo tanto esta pregunta será excluida de la encuesta; siguiendo los criterios de Abad et al. (2011) en Reyes y Liñan (2018), aquellas preguntas que tengan un valor de Media menor a 3.5 y una desviación estándar mayor a 0.75 serán excluidas y no se considerarán en la redacción final de la encuesta. En tanto que todas las demás preguntas obtuvieron una desviación estándar menor a 0.75; por lo tanto, son aceptadas.

Fase 4. Consolidación de resultados por V de Aiken

Se aplicó la metodología del coeficiente V de Aiken, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura:

Coeficiente V de Aiken



Los resultados de la prueba Coeficiente V de Aiken para las 13 preguntas formuladas en la encuesta, siguiendo lo dicho por Merino y Livia (2009) aquellas preguntas que tengan un valor de la V de Aiken mayor o igual a 0.7 serán consideradas para la encuesta, aquellos valores menores deberán eliminarse, la pregunta 12 alcanzó un valor de 0.68; por lo que no es aceptada para la redacción final de la encuesta, coincidiendo con los resultados del índice promedio y de la desviación estándar. De esta manera todas las demás preguntas son aceptadas; mientras que la pregunta 12 fue eliminada de la encuesta inicial por presentar valores fuera de lo aceptado en todos los casos; mostrando que los validadores estuvieron en desacuerdo con la inclusión de esta pregunta.

Anexo 6 Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
0.826	13

Nota. Elaboración propia basado en el reporte del Paquete Estadístico SPSS

Se obtuvo un índice de 0,826 considerado como "bueno", presentando un buen grado de confiabilidad del instrumento.

Rango de valoración

Coeficiente alfa $>.9$ es excelente

Coeficiente alfa $>.8$ es bueno

Coeficiente alfa $>.7$ es aceptable

Coeficiente alfa $>.6$ es cuestionable Coeficiente alfa $>.5$ es pobre

Coeficiente alfa $<.5$ es inaceptable



Anexo 7 Cuadro resumen comparativo de tecnologías

CRITERIOS	TIPO DE TECNOLOGÍAS							
	Termovalorización	Despolimerización térmica	Quimiólisis	Disolución	Gasificación	Licuefacción hidrotermal	Craqueo catalítico	Conversión catalítica
Emisiones a la atmósfera	5-8 %	15-20%	35-40%	10-15%	45-50%	20-30%	15-35%	45-55%
Calidad del producto (%)	90%	80%	75%	80%	85%	80%	85%	65%
Consumo de energía	0,67 MWh por año/toneladas	0.7 MWh	0.5 MWh	0.2 MWh	0.25 MWh	2.1 MWh	1.8MWh	1.2 MWh
Capacidad de producción	640 y 959 MWh (799.5)	-	-	-	685 MWh/ton	720 MWh	666 MWh	780 MWh
Inversión	605,505.000 dólares	1,424.063,650 dólares	20,558.284.000 dólares	82,700,000.00 dólares	3,000,000.000 dólares	4,350.700.000 dólares	89,700,000.00 dólares	80,337,800,000 dólares

Nota. Elaboración propia basada en información bibliográfica

Anexo 8 Criterios del VAN Y TIR

VAN		
Si el VAN es <0	Sin Ganancias	Rechazo
Si el VAN es $= 0$	No se pierde ni gana	Indiferente
Si el VAN es >0	Con Ganancias	Aceptar

TIR		
Si el TIR es $<k$	No es Rentable	Rechazo
Si el TIR es $= k$	No se pierde ni gana	Indiferente
Si el TIR es $>k$	Es Rentable	Aceptar

k = Tasa de descuento del mercado



Anexo 9 Ruteo en el manejo de la basura

RUTAS LUNES - MIÉRCOLES - VIERNES

TURNO MAÑANA

RUTA LMV-TM1		
Yanahuara Tradicional - Umacollo - Comandante Ruiz - Zamácola - Parque del Avión		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1	05:14	01:15
C2	05:15	00:55
C3	05:17	01:36
C4	05:19	01:58
C5 - C6	05:23	03:20
C7 - C8	05:29	04:00
C9 - C10	05:36	03:29
C11	05:42	01:45
C12	05:44	01:40
CM	05:47	01:30
C13	05:49	02:29
C14	05:52	00:29
C15	05:53	01:33
C16	05:56	01:03
C17 - C18	06:00	03:34
C19	06:04	02:06
C20 - C21	06:07	08:10
C22	06:24	03:20
C23	06:26	02:49
C24	06:32	04:53
C25 - C26	06:37	04:14
C27	06:40	02:49
C28 - C29	06:47	06:20
C30 - C31	06:51	07:29

RUTA LMV-TM2		
Recoleta - Antiquilla - Chullo - Pampita Zeballos - Zamácola - Ramón Catilla - Parque Internacional		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1 - C2	05:30	03:37
C3	05:43	01:40
CM	05:46	05:20
C4	05:56	01:22
C5 - C6	05:58	03:56
C7	06:08	03:41
C8	06:13	03:18
C9	06:26	01:44
C10	06:30	01:36
C11	06:33	01:24
C12 - C13	06:36	03:43
C14 - C15	06:47	04:22
C16 - C17	06:52	03:34
C18	06:58	03:11
C19 - C20	07:06	02:45

RUTA LMV-TM3		
San Agustín - Primavera - Independencia Americana - Víctor Andrés Belaúnde - Piedra Santa I y II Etapa		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1	05:28	03:00
C2	05:31	04:10
C3	05:37	03:00
C4	05:40	02:00
C5	05:42	02:10
C6	05:45	01:30
C7	05:51	02:00
C8	05:53	02:00
C9	05:57	03:00
C10 - C11	06:01	02:10
C12	06:13	01:40
C13 - C14	06:17	01:40
C15	06:20	01:30
C16	06:25	01:10
C17	06:27	00:55
C18	06:30	02:20
C19 - C20	06:33	01:20
C21 - C22	06:37	03:00
C23	06:41	02:00
C24	06:44	02:23
C25	06:48	01:40
C26	06:50	01:15
C27	06:51	01:18
C29	06:53	00:52
C30	06:54	01:50
C31	06:56	02:20
C32	07:00	07:03
C33 - C34	07:05	01:00
C35	07:06	01:53
C36	07:10	01:30
C37 - C38	07:14	02:30
C39	07:20	02:00
C40 - C41	07:23	01:30
C42 - C43	07:25	01:30
C44	07:27	01:45
C45	07:30	05:40
C46	07:37	00:50
C47	07:39	01:00
C48	07:42	03:00
C49	07:47	02:50
C50	07:50	01:10
C51	07:51	02:20
C52	07:54	01:30



TURNO TARDE

RUTA LMV-TT1		
San Rafael - Víctor Andrés Belaúnde - Piedra Santa I y II Etapa - Magisterial III Etapa		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1 - C2	12:58	04:32
C3	13:12	01:21
C4 - C5	13:28	05:40
C6 - C7	13:42	08:24
C8	13:52	01:55
C9	13:54	01:40
C10	13:58	01:20
C11	14:00	01:52
C12	14:10	01:55
C13	14:15	00:49
C14	14:16	01:56
C15	14:19	01:02
C16 - C17	14:31	04:20
C18	14:38	01:58
C19	14:40	01:20
C20 - C21	14:46	31:30
C22	15:19	00:58
C23	15:23	00:25
C24	15:28	04:34
C25	15:34	01:46
C26	15:46	04:06
C27	15:50	01:00
C28	15:52	00:58
C29	16:20	04:12

RUTA LMV-TT2		
San José - Yanahuara Tradicional - Antiquilla - Chullo		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1	12:48	02:40
C2	12:52	03:40
C3	12:58	03:18
C4	13:04	02:51
C5	13:07	04:21
C6 - C7	13:19	04:36
C8	13:24	01:27
RUTA DE REPASO		
CR1	13:45	01:32
CR2	13:47	01:22
CR3	13:58	01:35
CR4	14:04	01:42
CR5	14:07	02:02
CR6 - CR7	14:21	03:25
CR8	14:28	01:15
CR9 - CR10	14:36	03:36
CR11 . CR12	14:43	04:21
CR13	14:58	01:17
CR14	15:00	01:34
CR15	15:04	01:47
CR16	15:22	01:26
CR17	15:25	01:35
CR18	15:30	01:20
CR19	15:34	01:29
CR20 - CR21	15:52	04:32
CR22	16:10	01:38



RUTAS MARTES - JUEVES - SÁBADO

TURNO MAÑANA

RUTA MJS-TM1		
Yanahuara Tradicional - Antiquilla - Chullo - Umacollo		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1	05:12	01:05
C2	05:15	01:07
C3 - C4	05:20	01:42
C5	05:25	01:50
C6 - C7	05:29	02:05
C8 - C9	05:33	04:24
C10	05:40	01:54
C11	05:42	00:53
C12	05:47	01:24
C13	05:49	00:38
C14	05:50	01:20
C15	05:52	00:53
C16 - C17	05:56	04:14
C18	06:01	01:00
C19 - C20	06:03	02:02
C21	06:15	04:15
C22 - C23	06:20	04:18
C24	06:28	02:26
C25	06:31	00:51
C26	06:34	02:25
C27	06:40	01:10
C28	06:43	01:39
C29	06:47	05:46
C30 - C31	06:50	11:32
C32 - C33	07:06	04:27
C34	07:11	01:40
C35 - C36	07:14	08:35
C37	07:25	01:10
C38	07:27	01:58
C39 - C40	07:30	02:24

RUTA MJS-TM2		
Recoleta - Villa El Prado - Fátima - Guillermo Torreblanca - Pampa de Camarones		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1 - C2	05:16	07:28
C3	05:36	01:32
C4	05:50	03:51
C5 - C6	07:04	06:00
C7 - C8	07:17	05:43
C9 - C10	08:26	05:22



RUTA MIS-TM3		
San Agustín - Primavera - Independencia Americana - Victor Andrés Belaúnde - Piedra Santa I y II Etapa		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1	05:15	02:02
C2	05:18	01:35
C3	05:42	01:23
C4	05:45	02:30
C5	05:48	00:55
C6	05:49	01:13
C7	05:51	01:21
C8	05:53	03:43
C9 - C10	05:58	04:42
C11	06:04	01:16
C12	06:18	02:14
C13	06:22	01:47
C14	06:25	02:03
C15	06:29	01:05
C16	06:31	01:56
C17	06:35	03:40
C18	06:42	05:56
C19	06:50	02:45
C20 - C21	06:55	04:34
C22	07:02	01:22
C23 - C24	07:06	05:03
C25	07:13	01:21
C26	07:15	02:12
C27	07:18	00:54
C28	07:22	01:05
C29 - C30	07:26	03:37
C31 - C32	07:31	03:45
C33	07:37	01:03
C34	07:39	02:23
C35	07:42	01:50
C36	07:45	02:43
C37	07:49	01:30
C38	07:51	02:54
C39	07:56	01:52
C40	07:58	04:24
C41 - C42	08:04	02:23
C43	08:08	01:42
C44	08:11	01:23
C45 - C46	08:13	03:24
C47	08:18	01:45
C48 - C49	08:22	03:30
C50 - C51	08:28	02:20
C52	08:30	04:00

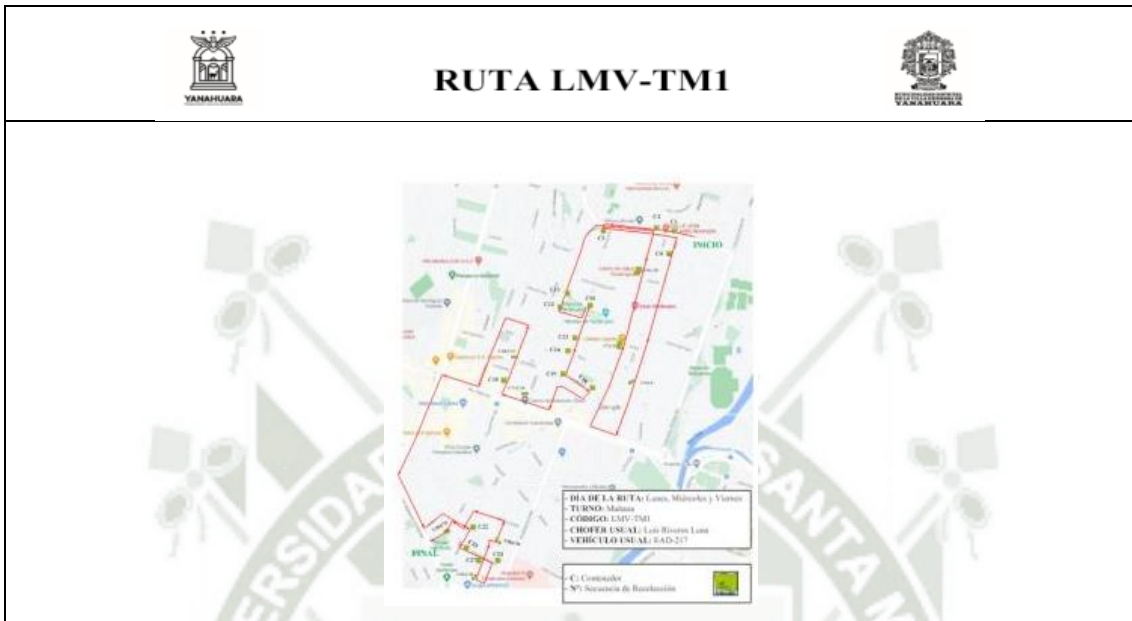
RUTAS MARTES - JUEVES - SÁBADO

TURNO TARDE

RUTA MJS-TT1			RUTA MJS-TT2		
Yanahuara Tradicional - Umacollo			Primavera - Juan XXIII - Los Tulipanes - Independencia Americana - Metropolitana - San Agustín - El Remanso - Las Malvinas		
Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)	Lista de Contenedores	Horario de Recojo de Basura	Tiempo de Recojo de Residuos (mins)
C1 - C2	12:58	04:44	C1	12:35	02:30
C3	13:13	01:02	C2	12:38	01:30
C4	13:15	01:04	C3	12:50	01:00
C5	13:22	05:48	C4	12:55	01:10
C6	13:37	01:02	C5	12:59	01:15
C7	13:40	03:38	C6	13:04	01:50
C8 - C9	13:56	06:27	C7	13:07	01:30
C10	14:15	03:27	C8 - C9	13:12	02:25
C11 - C12	14:21	03:12	C10	13:19	01:45
C13 - C14	14:27	05:42	C11 - C12	13:36	04:30
RUTA DE REPASO			C13	13:38	00:50
CR1	14:40	01:06	C14	13:45	01:25
CR2	14:42	01:52	C15	13:50	01:00
CR3	14:44	01:27	C16	13:51	02:10
CR4	14:51	01:32	C17	13:54	01:45
CR5	14:53	01:32	C18	13:56	01:20
CR6	14:55	01:08	C19	14:01	01:20
CR7 - CR8	15:57	03:07	C20	14:10	02:45
CR9	15:03	01:05	C21	14:17	04:20
CR10 - CR11	15:05	02:03	C22	14:19	02:00
CR12	15:09	00:58	C23	14:31	01:55
CR13 - CR14	15:42	03:52	C24	14:35	03:10
			C25	14:43	02:00
			C26	14:46	00:23
			C27	14:47	01:45
			C28	14:50	01:23
			C29	14:52	01:58



Anexo 10 Mapeo de ubicación de contenedores, rutas de recojo de basura y cronograma y horario de recojo por zona





RUTA LMV-TM3

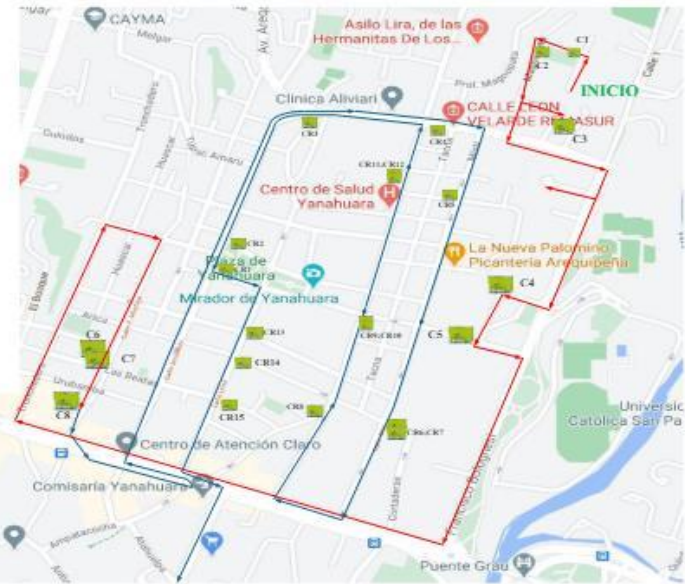


RUTA LMV-TT1





RUTA LMV-TT2

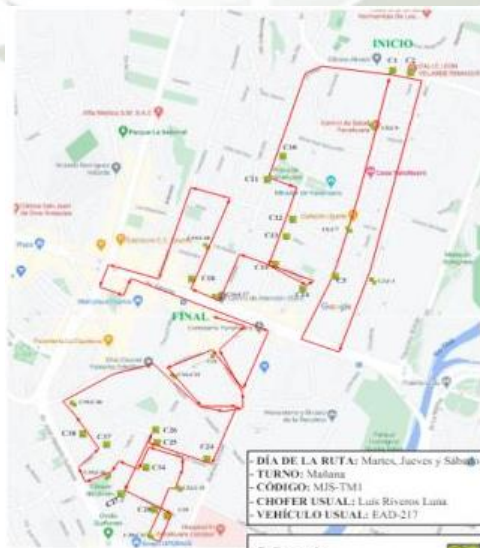


- DÍAS DE LA RUTA: Lunes, Miércoles y Viernes
 - TURNO: Tarde
 - CÓDIGO: LMV-TT2
 - CHOFER USUAL: José Luis Llerena Consameyo
 - VEHICULO USUAL: EGG-321

C: Contenedor
 N°: Secuencia de Recolección del contenedor
 - Ruta Principal
 - Ruta de Repaso



RUTA MJS-TM1



- DÍA DE LA RUTA: Martes, Jueves y Sábado
 - TURNO: Mañana
 - CÓDIGO: MJS-TM1
 - CHOFER USUAL: Luis Rivas Lina
 - VEHICULO USUAL: EAD-217

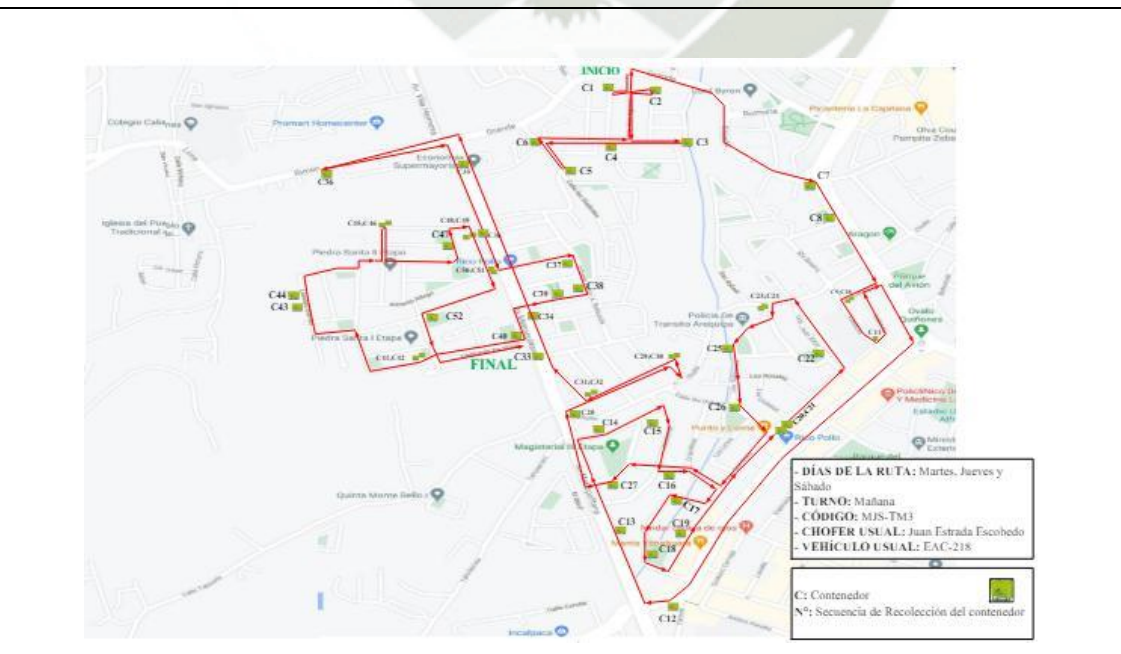
C: Contenedor
 N°: Secuencia de Recolección



RUTA MJS-TM2



RUTA MJS-TM3





ruta MJS-TT1



ruta MJS-TT2

