

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

Tesis de postgrado para optar por el título de maestría en química

Título:

Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la
Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Año 2023.

Sustentantes

Merichel Sosa González
Elivany Agramonte Coronado

Asesora:

Dra. Aura Núñez PhD

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año Académico 2023.

Título:

Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la
Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Año 2023.

Hoja de Evaluación

Título:

Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Año 2023.

Por:

Merichel Sosa González

Elivany Agramonte Coronado

Trabajo de Postgrado sometido a la Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTECO). Como Requisito para obtener el título de Maestría en Química.

Miembro de Comité Evaluador

Calificación _____

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez
República Dominicana, año 2023.

Declaración de Autoría.

Título: Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Año 2023.

Por:

Merichel Sosa González

Elivany Agramonte Coronado

Los conceptos emitidos en el presente trabajo de postgrado son responsabilidades de las sustentantes de este. Las citas, consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

ÍNDICE

Contenidos	Pág.
Lista de acrónimos.....	i
Índice de Cuadros y Gráficos.....	ii
Índice de figuras.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Dedicatorias.....	ix
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	9
1.3 Justificación.....	12
1.4 Objetivos de la investigación:.....	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
1.5 Operacionalización de las variables.....	17
1.6 Definición de términos.....	18
1.7 Marco contextual.....	21
1.7.1 Área de estudio.....	23
1.8 Alcances y límites de investigación.....	25
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	26
2.0 Introducción.....	26
2.1 Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible.....	26
2.1.1 Máquina de pirólisis.....	26
2.1.2 Función.....	26
2.1.3 Productos finales.....	27
2.1.4 Ventajas.....	27
2.1.5 Aplicaciones.....	28
2.1.6 Desarrollo sostenible.....	29
2.1.7 Sostenibilidad ambiental.....	30
2.1.8 Sostenibilidad social.....	30
2.1.9 Sostenibilidad económica.....	31
2.1.10 Objetivos del desarrollo sostenible.....	31
2.2 Residuos plásticos.....	32
2.2.1 Composición química.....	33

2.2.2 Volumen y peso.....	33
2.2.3 Calidad del material.....	34
2.2.4 Impacto ambiental.....	34
2.2.5 Tipos.....	34
2.3 Pirólisis.....	36
2.3.1 Clasificación.....	37
2.3.2 Importancia.....	37
2.3.3 Ejemplos.....	37
2.3.4 Calidad de los productos.....	38
2.3.5 Impacto ambiental.....	38
2.3.6 Rentabilidad económica.....	39
2.4 Mezclas de hidrocarburos.....	39
2.4.1 Composición de mezclas de hidrocarburos a presión atmosférica.....	40
2.4.2 Composición química.....	40
2.4.3 Propiedades físicas.....	40
2.4.4 Emisiones contaminantes.....	41
2.4.5 Estabilidad.....	41
2.4.6 Rentabilidad económica.....	42
2.5 Impacto socioeconómico.....	42
2.5.1 Generación de empleo.....	42
2.5.2 Creación de oportunidades económicas.....	43
2.5.3 Reducción de la dependencia de recursos no renovables.....	43
2.5.4 Impacto en el desarrollo económico local.....	44
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	45
3.0 Introducción.....	45
3.1 Diseño y tipo de investigación.....	45
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	45
3.1.2 Tipo de investigación.....	46
3.1.3 Método de investigación.....	47
3.1.4 Ensayo para la determinación de las variables del proceso.....	47
3.1.5 Tratamiento y análisis de los productos obtenidos.....	48
3.2 Población muestra y muestreo.....	50
3.3 Técnica y recolección de datos.....	52
3.4 Validez y confiabilidad.....	55
3.5 Procedimientos.....	55

3.6 Análisis de los datos.....	56
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS.....	58
4.0 Introducción.....	58
4.1 Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible según los habitantes del Municipio de Cotuí.....	58
4.2 Residuos plásticos según los habitantes del Municipio de Cotuí.....	64
4.3 Pirólisis según los habitantes del Municipio de Cotuí.....	68
4.4 Mezclas de hidrocarburos según los habitantes del Municipio de Cotuí.....	72
4.5 Impacto socioeconómico según los habitantes del Municipio de Cotuí.....	75
4.6 Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible según Magister de Química y áreas afines.....	79
4.7 Residuos plásticos según Magister de Química y áreas afines.....	84
4.8 Pirólisis según Magister de Química y áreas afines.....	86
4.9 Mezclas de hidrocarburos según Magister de Química y áreas afines.....	89
4.10 Impacto socioeconómico según Magister de Química y áreas afines.....	92
4.11 Muestra No1 PE.....	94
4.12 Muestra No2 PP.....	100
4.13 Muestra No3 PS.....	105
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	111
5.0 Introducción.....	111
5.1 Interrogantes de la investigación.....	112
5.1.1 ¿Cómo se puede crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y cuáles son las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible?.....	112
5.1.2 ¿Cuál es la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí?.....	114
5.1.3 ¿Cómo es el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?.....	115

5.1.4 ¿Cuáles son los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?.....	116
5.1.5 ¿Cuál es el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en términos de generación de empleo, creación de oportunidades económicas y reducción de la dependencia de recursos no renovables, en el contexto de la agenda 2030 y su contribución a la calidad ambiental sostenible?.....	118
5.2 Conclusiones.....	120
5.3 Comprobación de hipótesis.....	126
5.4 Recomendaciones.....	127
Referencias.....	130
Anexos.....	137

Lista de acrónimos

IR:	Espectroscopia Infrarroja
DSC:	Calorímetro Diferencial de Barrido (por sus siglas en inglés, Differential Scanning Calorimetry)
Cloud Point	Punto de Nubosidad
Viscosity @40 °C	Viscosidad de un líquido medida a una temperatura específica de 40 grados Celsius.
Distill IBP	Punto de Ebullición Inicial
Distill FBP	Punto de Ebullición Final
ASTM:	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PIRO:	Proceso de Pirólisis
CAPAS:	Calidad Ambiental Sostenible
RP:	Residuos Plásticos
AG 2030:	Agenda 2030
ASTM D-1298	Se refiere a una norma de prueba desarrollada por ASTM International (anteriormente conocida como American Society for Testing and Materials) que se utiliza para medir la densidad, gravedad específica y API (índice de densidad relativa) de líquidos. La designación "ASTM D-1298" se refiere al número de la norma específica dentro del sistema de clasificación de normas de ASTM. En este caso, la norma ASTM D-1298 establece los procedimientos y métodos para determinar la densidad y otras propiedades relacionadas de líquidos, como los aceites y combustibles. Este tipo de norma es ampliamente utilizado en la industria para asegurar la consistencia y precisión en la medición de propiedades físicas de líquidos en diversas aplicaciones.
Density @ 15 °C	Densidad de una sustancia medida a una temperatura específica de 15 grados Celsius.
Flash Point	Punto de Inflamación
Pour Point	Punto de Fluidez
Net Heat	Calor Neto
Hydrogen	Hidrógeno

Índice de Cuadros y Gráficos

Nº	Descripción	Pág.
Cuadro 1	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí saben cuál de las siguientes opciones describe mejor los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible.	58
Cuadro 2	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología innovadora en la gestión de residuos plásticos.	59
Cuadro 3	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la máquina de pirólisis contribuye al reciclaje efectivo de los residuos plásticos.	59
Cuadro 4	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que es uno de los principales beneficios de utilizar una máquina de pirólisis para el aprovechamiento de residuos plásticos.	60
Cuadro 5	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la implementación de máquinas de pirólisis puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.	60
Cuadro 6	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí tienen conocimiento sobre el concepto de desarrollo sostenible y su relación con la pirólisis y el reciclaje de residuos plásticos.	61
Cuadro 7	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que la pirólisis y el aprovechamiento de residuos plásticos son prácticas alineadas con el desarrollo sostenible.	62
Cuadro 8	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí saben cuál de las siguientes opciones describe mejor los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible.	62
Cuadro 9	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que el reciclaje y el aprovechamiento de residuos plásticos pueden contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.	63
Cuadro 10	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí les dan importancia al desarrollo sostenible para asegurar un futuro equitativo y próspero para las generaciones venideras.	64
Cuadro 11	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí están consciente sobre la problemática de los residuos plásticos en su comunidad.	64
Cuadro 12	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí conocen cuál de las siguientes acciones consideran más efectiva para reducir los residuos plásticos.	65
Cuadro 13	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la pirólisis es una solución viable para el aprovechamiento de los residuos plásticos.	66
Cuadro 14	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí les dan importancia a la gestión adecuada de los residuos plásticos para lograr una calidad ambiental sostenible.	66

Cuadro 15	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que es responsabilidad de todos los miembros de la comunidad participar en la reducción y gestión adecuada de los residuos plásticos.	67
Cuadro 16	Sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cuál es la principal aplicación de la pirolisis.	68
Cuadro 17	Sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran qué impacto ambiental tiene la pirolisis.	69
Cuadro 18	Sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis.	69
Cuadro 19	Sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cual es uno de los beneficios económicos de la pirólisis.	70
Cuadro 20	Sí los habitantes del municipio de Cotuí consideran por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad.	71
Cuadro 21	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí tienen conocimiento sobre las mezclas de hidrocarburos y su relación con la pirólisis.	72
Cuadro 22	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis pueden ser utilizadas como una fuente de energía alternativa.	73
Cuadro 23	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que el aprovechamiento de las mezclas de hidrocarburos generadas en la pirólisis contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.	73
Cuadro 24	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que de las siguientes opciones describe mejor el potencial impacto ambiental de las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis.	74
Cuadro 25	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la promoción y utilización de las mezclas de hidrocarburos como una fuente de energía alternativa está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.	74
Cuadro 26	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que en términos de generación de empleo, la medida percibida por la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis contribuye a la creación de nuevas oportunidades laborales	75
Cuadro 27	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en las oportunidades económicas, la implementación de tecnologías de pirolisis impulsa el crecimiento económico y la diversificación de la economía local.	76
Cuadro 28	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que para la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis reducirá la dependencia de recursos no renovables y promover un enfoque más sostenible en la gestión de residuos plásticos.	76

Cuadro 29	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en su percepción sobre la participación y el involucramiento de la comunidad local en la cadena de valor de la pirolisis, en términos de generación de empleo y creación de oportunidades económicas.	77
Cuadro 30	Sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en evaluación de los desafíos y oportunidades asociados con el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirolisis en su comunidad en el marco de la agenda 2030.	78
Cuadro 31	Sí, los magíster de Química y áreas afines están familiarizados con el concepto de máquina de pirolisis.	79
Cuadro 32	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología prometedora para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos.	79
Cuadro 33	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis contribuye a la reducción de la contaminación ambiental causada por los residuos plásticos.	80
Cuadro 34	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis puede contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de los residuos plásticos.	80
Cuadro 35	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología que debería ser promovida e implementada a mayor escala en el futuro.	81
Cuadro 36	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que el uso de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.	81
Cuadro 37	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el aprovechamiento de los residuos plásticos a través de la pirólisis puede promover la transición hacia una economía circular y sostenible.	82
Cuadro 38	Sí, los magíster de Química y áreas afines creen que la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede mejorar la gestión sostenible de los recursos naturales.	82
Cuadro 39	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la pirólisis de residuos plásticos puede contribuir a reducir la huella ambiental y promover prácticas más sostenibles.	83
Cuadro 40	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el fomento de la pirólisis como alternativa sostenible para el manejo de residuos plásticos puede tener un impacto positivo en el desarrollo sostenible a nivel global.	83
Cuadro 41	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que los residuos plásticos representan una seria amenaza para el medio ambiente y la salud humana.	84
Cuadro 42	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que el aumento en la producción y consumo de plásticos ha generado una crisis global de residuos.	84

Cuadro 43	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que es necesario implementar estrategias efectivas para reducir la generación de residuos plásticos en la sociedad.	85
Cuadro 44	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la investigación científica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo de residuos plásticos.	85
Cuadro 45	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos es esencial para abordar eficazmente el problema de los residuos plásticos.	86
Cuadro 46	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran cuál es la principal aplicación de la pirólisis.	86
Cuadro 47	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran qué impacto ambiental tiene la pirólisis.	87
Cuadro 48	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis.	87
Cuadro 49	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran cual es uno de los beneficios económicos de la pirólisis.	88
Cuadro 50	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad.	89
Cuadro 51	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que las mezclas de hidrocarburos son una fuente energética importante para diversas industrias y sectores económicos.	89
Cuadro 52	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el uso de mezclas de hidrocarburos tiene impactos significativos en el medio ambiente y la calidad del aire.	90
Cuadro 53	Sí, los magíster de Química y áreas afines creen que es importante investigar y desarrollar tecnologías más limpias y sostenibles para la producción y uso de mezclas de hidrocarburos	90
Cuadro 54	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la comunidad científica desempeña un papel fundamental en el avance de conocimientos y soluciones relacionadas con las mezclas de hidrocarburos	91
Cuadro 55	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que es necesaria una mayor colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos para abordar los desafíos asociados con el uso de mezclas de hidrocarburos.	91
Cuadro 56	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la implementación de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede generar oportunidades económicas y de empleo.	92
Cuadro 57	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que la reducción de la dependencia de los recursos naturales a través del reciclaje de residuos plásticos mediante la pirólisis puede tener beneficios económicos a largo plazo.	92

Cuadro 58	Sí, los magíster de Química y áreas afines creen que el aprovechamiento de los residuos plásticos mediante la pirólisis puede promover la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector industrial.	93
Cuadro 59	Sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede reducir los costos asociados con la gestión de residuos y su impacto socioeconómico.	93
Cuadro 60	Sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos mediante la pirólisis puede contribuir a la construcción de una sociedad más sostenible y equitativa.	94
Cuadro 61	Datos experimentales de la pirólisis PE	94
Cuadro 62	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PE	95
Cuadro 63	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PE	97
Cuadro 64	Datos experimentales de la pirólisis PP	100
Cuadro 65	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP	100
Cuadro 66	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP	102
Cuadro 67	Datos experimentales de la pirólisis PS.	105
Cuadro 68	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS	105
Cuadro 69	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS	107

Índice de figuras

Nº	Descripción	Pág.
Figura 1	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PE	99
Figura 2	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP	104
Figura 3	Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS	110

Agradecimientos

A Dios:

Nuestro faro en el camino del bien, extendemos nuestra sincera gratitud. A través de su sabiduría y la fuerza que nos brinda, hemos logrado con éxito cada meta que trazamos. Reconocemos la presencia divina que nos inspira a alcanzar lo mejor de nosotros mismos.

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT):

Extendemos un profundo agradecimiento por la beca completa que nos otorgó. Por haber creído en nuestra capacidad y formación, brindándonos oportunidades de inclusión social a la juventud Dominicana.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO):

Agradecemos sinceramente por habernos acogido y por permitirnos formar parte de esta comunidad. La apertura de las puertas de su entorno científico ha sido un regalo invaluable, proporcionándonos no solo conocimientos, sino también apoyo en cada paso del camino.

A la Cooperativa Vega Real:

Por su valioso apoyo económico en el desarrollo de esta investigación. Su contribución ha sido fundamental para llevar a cabo este proyecto y avanzar hacia soluciones sostenibles en el ámbito de la pirólisis de residuos plásticos.

Al decano de Postgrado Dionicio Ripoll:

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por su invaluable apoyo a lo largo de nuestro proceso de investigación y su disposición al inicio de este gran recorrido.

A nuestra asesora Dra. Aura Núñez PhD:

Agradecemos de corazón por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas, y por brindar un apoyo incondicional a lo largo de todo el proceso de investigación, contribuyendo a convertir este sueño en una realidad tangible. Sus orientaciones y asistencia han sido guías indispensables en esta travesía compleja. Su

dedicación al representar nuestro grupo con amor y cariño es un testimonio de su compromiso y afecto.

A la coordinadora de la Coordinadora de Escuela Biología y Química Ramona Agustina Ferreira:

Por su inestimable orientación y apoyo en el desarrollo de este trabajo. Su dedicación y conocimiento han sido fundamentales para enriquecer esta investigación y contribuir al avance de nuestro aprendizaje en el campo la Química. Su compromiso con la educación es inspirador y ha dejado una marca significativa en este proceso.

A nuestros docentes:

Expresamos nuestro agradecimiento por todos sus valiosos consejos y cálidos deseos. Han compartido con nosotros no sólo conocimientos y valores, sino también han sido un modelo a seguir. Su paciencia y ejemplo han sido fundamentales para brindarnos una educación enriquecedora y efectiva, en especial agradecemos a Jorge E. Cuevas, Óscar Corona, Jairo Utate, Laura Méndez, Lolymar, Leomar Reyes y Amable Santos.

***Merichel Sosa González
Elivany Agramonte Coronado***

Dedicatorias

A Dios:

Por darme la oportunidad de existir en este mundo. Por permitirme cumplir uno de mis más anhelados sueños, el logro exitoso de mi carrera.

A mis padres:

José Roberto Sosa y Elizabeth González por darme la vida e inculcar en mí un espíritu de perseverancia, competitividad, esfuerzo y lucha.

A mis abuelos:

Máxima, Rafael, Miguelina y Francisco por su amor incondicional, sabiduría y apoyo a lo largo de mi vida. Su presencia y guía han dejado una huella indeleble en mí.

A mis hermanos:

Wilson, Noelia, Luis y Yeuny por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis tíos:

Kelyn, Jean Carlos, Juan María, Francisco, Geoberky y Adalgiza por su constante apoyo, cariño y por siempre estar presentes en mi vida. En especial agradezco a Anny Esther Hernández por ser un faro de luz en mi vida al igual que mi apreciada tía Marienela Jerez.

A mis padrinos:

Por su cariño constante, orientación y apoyo a lo largo de mi vida en especial a Ramón Bernardo Jerez quien nos ha ayudado en este arduo proceso.

A mi novio:

Fraylin Amezquita por su amor incondicional, apoyo constante y por ser una parte tan especial en mi vida. Su presencia ha llenado mis días de alegría y significado.

A mi familia:

Por su amor incondicional, apoyo constante y por ser el pilar fundamental en mi vida. Su presencia y respaldo han sido esenciales en cada paso que he dado, y por todo lo que hacen por mí en especial a mis queridas primas Bermary, Albairis y Johanmy.

A mis familiares que me cuidan desde el cielo:

Su amor y apoyo continúan siendo mi guía en cada paso que doy. Aunque estén lejos físicamente, su presencia sigue siendo mi fuente de fortaleza y consuelo. Además, por ser mi inspiración constante, los amaré siempre mis queridos: Bernardo, Luz, Manuel, Mayra entre otros.

A mis amigos y colegas:

Por su amistad, colaboración y apoyo. Su compañía ha enriquecido mi vida y mi trabajo, y estoy feliz por tenerlos en mi camino en especial a mi mejor amiga Raysi Valentina por su amor y por todos estos años que ha permanecido a mi lado firme y fiel, María Angélica Cruz, Virdania Edily, María Del Carmen López, Jean Carlos, Miguel, Janna María Jerez, Ania, Noelia y todos mis queridos compañeros de la beca.

A mi compañera de tesis Elivany Agramonte Coronado:

Ha sido un verdadero privilegio tenerla a mi lado durante este viaje académico. A pesar de los desafíos que enfrentamos, siempre estuvo a mi lado, brindándome su apoyo y motivación cuando más lo necesitaba. No puedo imaginar haber recorrido este camino sin su presencia y contribución valiosa. También, por ser la mejor compañera y por enriquecer nuestra tesis con tu amistad y colaboración.

A mis profesores:

Por su dedicación, orientación y por compartir su conocimiento conmigo. Su influencia ha sido fundamental en mi educación y crecimiento, y les estoy muy satisfecha por su labor y compromiso en especial con Jorge Cuevas, Laura Méndez, Leomar Reyes, Oscar Corona, Jairo Utate y Amable Santos.

A mi asesora Dra. Aura Núñez PhD:

Por su constante dedicación y apoyo a lo largo de mi proceso de investigación. Su disposición inquebrantable para ayudarnos, su presencia constante a nuestro lado y sus valiosos consejos y motivación han sido un faro de luz en este viaje académico.

En este mundo donde se dice que los asesores son rigurosos y difíciles, he tenido la fortuna de encontrarme con una asesora que ha sido mucho más que eso. Ha sido un puente que ha conectado mis ideas y esfuerzos, guiándome hacia un entendimiento más profundo y una realización más plena de mi trabajo. Sus palabras de aliento han sido un motor que me ha impulsado en momentos de duda, y su guía experta ha sido el ancla que me ha mantenido en el camino correcto.

Merichel Sosa González

Dedicatorias

A Dios:

Por darme las fuerzas necesarias para poder afrontar las adversidades que se me han presentado en la vida, a lo largo de mi carrera y no dejarme rendir.

A mi difunto padre:

Eladio Agramonte Morales, porque, aunque ya no está conmigo es una de mis mayores motivaciones para lograr mis objetivos, sus consejos nunca se me olvidarán y su legado vivirá siempre en mi corazón.

A mi madre:

María Victoria Coronado, este logro se lo dedico a ella con todo mi corazón por ser una madre ejemplar, nunca darme la espalda, siempre darme ánimos cuando sentía que no podía más y sin ella nada de esto sería posible.

A mis hermanas y mi sobrino:

Yarleny, Olaya y Yanuel, por estar siempre conmigo y estar siempre unidas en las buenas y las malas.

A mi novio:

Rafael Tejeda, por llegar a mi vida en el momento indicado y ser la prueba que el tiempo de Dios es perfecto. Tu apoyo incondicional tiene un gran valor para mí.

A mis familiares:

Por siempre estar al tanto de mi, pero de manera especial a mi tía Ana, mi tío Erick y mi primo Leony.

A mi querida amiga y colega:

Merichel Sosa González, has sido parte fundamental en este gran paso, gracias le doy a Dios por haberte conocido y mucho mejor ser mi compañera de tesis; que mejor compañera que tú. ¡Me has sacado muchas sonrisas a lo largo de esta travesía la cual tuvo muchas altas y bajas, pero, lo logramos!

A mis compañeras, amigas y colegas:

María Angélica Cruz, Virdania Edily Rodríguez y Carmen María López, por ser un excelente equipo a la hora de trabajar juntas y ayudarnos mutuamente preocupadas unas por otras, para alcanzar lo que nos proponíamos.

A mi asesora Dra. Aura Núñez PhD:

Cuyo apoyo constante, consejos y motivación han sido esenciales en el desarrollo de mi tesis. Su disposición para acompañarme en este proceso y brindarme orientación han sido de gran ayuda. Encontrar en ella una fuente de inspiración y guía ha hecho que este camino sea más claro y enriquecedor.

En esta etapa culminante de mi tesis, no puedo sino reconocer el impacto positivo que ella ha tenido en mi vida como asesora. Siempre la llevare en mi corazón por su paciencia, por su sabiduría compartida y por ser un modelo a seguir. Además, por su generosidad al compartir su tiempo y conocimientos conmigo. Su presencia ha marcado una diferencia duradera en mi camino hacia el éxito académico y profesional.

Elivany Agramonte Coronado

RESUMEN

Título:

Pirólisis: innovación, reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos para la calidad ambiental sostenible en el marco de la agenda 2030.

Sustentantes:

Merichel Sosa González

Elivany Agramonte Coronado

Asesor: Dra. Aura Núñez PhD

La investigación se enfoca en la aplicación innovadora de la pirolisis como solución al problema de los residuos plásticos y su impacto ambiental. El objetivo general es: Diseñar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis para el aprovechamiento y reciclaje de residuos plásticos en beneficio de la calidad ambiental en el marco del desarrollo sostenible, Agenda 2030. La metodología combina enfoques inductivos, deductivos y analíticos. Se recolectaron muestras de residuos plásticos de PP, PE y PS, las cuales fueron sometidas a análisis mediante espectroscopia de luz infrarroja y caracterización de combustibles. Estos análisis se llevaron a cabo en Aduanas Laboratorio. Entre los resultados, se destacan subproductos valiosos como aceites pirolíticos y carbono pirolítico, con aplicaciones potenciales en diversas industrias. Aunque los gases no condensados no fueron analizados exhaustivamente, se vislumbran oportunidades en sectores energéticos e industriales. Además, se identificaron otros productos como alcanos, cetona aromática, compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos. Esta investigación, realizada en Cotuí, promueve tecnologías de pirólisis como solución a la crisis de residuos plásticos y fomenta la economía circular. Los hallazgos respaldan la relevancia de la pirolisis en la gestión sostenible de residuos y su potencial para contribuir al desarrollo económico y ambiental responsable, en sintonía con los objetivos globales de sostenibilidad.

Palabras clave: Residuos Plásticos. Pirolisis. Mezclas de hidrocarburos y desarrollo sostenible.

SUMMARY

Qualification:

Pyrolysis: innovation, recycling and use of plastic waste for sustainable environmental quality within the framework of the 2030 agenda

Supporters:

Merichel Sosa Gonzalez
Elivany Agramonte Coronado

Advisor: Dra. Aura Núñez PhD

The research focuses on the innovative application of pyrolysis as a solution to the issue of plastic waste and its environmental impact. The overarching goal is to design a small-scale prototype of a pyrolysis machine for the utilization and recycling of plastic waste, contributing to environmental quality within the framework of sustainable development and the 2030 Agenda. The methodology combines inductive, deductive, and analytical approaches. Samples of PP, PE, and PS plastic waste were collected and subjected to analysis through infrared light spectroscopy and fuel characterization. These analyses were conducted at Customs Laboratory. Among the findings, valuable byproducts such as pyrolytic oils and pyrolytic carbon are highlighted, with potential applications in various industries. While non-condensable gases were not exhaustively analyzed, opportunities in energy and industrial sectors are apparent. Additionally, other products were identified, including alkanes, aromatic ketones, aromatic compounds, and carboxylic acids. This investigation, conducted in Cotuí, promotes pyrolysis technologies as a solution to the plastic waste crisis, fostering circular economy principles. The findings underscore the relevance of pyrolysis in sustainable waste management and its potential to contribute to responsible economic and environmental development, aligning with global sustainability objectives.

Keywords: Plastic waste. Pyrolysis. Mixtures of hydrocarbons and sustainable development.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Merchan et al (2014), en su trabajo de investigación titulado “Estudio de viabilidad técnica preliminar para la obtención de combustibles mediante la pirólisis de residuos plásticos generados en la universidad politécnica salesiana” dicha investigación fue realizada en la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca, bajo el objetivo general de: Ejecutar el estudio de viabilidad técnica preliminar para la obtención de combustibles mediante la pirólisis de residuos plásticos generados en la Universidad Politécnica Salesiana. La metodología utilizada fue de tipo experimental.

Con este estudio se determinó que los residuos plásticos de mayor generación dentro de la Universidad Politécnica Salesiana corresponden al Polietilentereftalato con un 33.72%, seguido por Poliestireno con un 19.82% y Polietileno de Alta Densidad con un 17.62%. Todas las pruebas realizadas sirvieron para validar el funcionamiento del prototipo de pirólisis con el que cuenta la Universidad Politécnica Salesiana. Se determinó que la temperatura óptima para el desarrollo del proceso de pirólisis de residuos plásticos es 400 °C, debido a que a temperaturas menores a 300 °C el proceso de pirólisis no se desarrolla en su totalidad. Merchan et al (2014).

Rejas et.al (2015) en su artículo titulado “Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos” dicha investigación fue realizada en la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, bajo el objetivo general de: Realizar un Estudio Experimental del Proceso de Producción de Combustibles Líquidos a Partir de Residuos Plásticos para que de una manera práctica se contribuya en la solución de problemas causados por este residuo. La metodología con la que se llevó a cabo esta investigación fue de tipo experimental.

Entre las conclusiones de esta investigación se puede arribar lo siguiente: Procesar residuos plásticos para generar combustibles, es una forma de limpiar el medio ambiente, pues se usan desechos plásticos como materia prima y permite disponer de combustibles

líquidos mediante un proceso limpio, el rendimiento en la producción de hidrocarburos, al utilizar polipropileno y poliestireno, está alrededor del 70 %, mientras que para polietileno de alta o baja densidad está alrededor del 20 %, con polietileno tereftalato, no se pudo obtener combustibles líquidos, sin embargo se obtiene un producto semi-sólido de consistencia pastosa, similar a una grasa, en un porcentaje del 14,8 % y cuya composición no se pudo determinar, pero se presume que es un hidrocarburo pesado pues es combustible y es capaz de disolver plásticos. Rejas et al (2015)

Chimin et al (2016), en su artículo de investigación titulado “Obtención de gasolina y gasóleo, a partir de la pirólisis de materiales plásticos de desecho” dicha investigación fue realizada en Bolivia. Los autores llegaron a la conclusión de que, La pirólisis de plásticos es un proceso que despolimeriza térmicamente los residuos en ausencia de aire. Muy útil para a eliminar/transformar desechos plásticos a la vez que recupera combustibles líquidos: gasolina, queroseno, diésel y una amplia gama de hidrocarburos.

La factibilidad de transformación que ha demostrado la Blest Machine, está siendo considerada a escala mayor, para tratar grandes volúmenes de materiales plásticos en desuso desde los RSU cada vez más crecientes. También no se excluye, la futura fabricación de máquinas similares en Bolivia, a partir de una eficaz transferencia de tecnología. Chimin et al (2016).

Rojas (2016), en su investigación titulada “Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis” se realizó en la Universidad Guanajuato de Salamanca, esta tuvo como objetivo general: determinar la factibilidad técnico económica de la conversión termoquímica de residuos plásticos en hidrocarburos líquidos mediante un proceso de pirólisis y obtener las propiedades físico-químicas de dichos hidrocarburos. La metodología que se utilizó fue de tipo experimental.

El proceso de pirólisis permite el reciclaje químico de residuos plásticos, los cuales se sabe, presentan enorme impacto ambiental. En este trabajo se ha llevado a cabo la caracterización del proceso de pirólisis desarrollado mediante un equipo experimental para la recuperación de hidrocarburos líquidos y su factibilidad económica. Dentro de las principales conclusiones de esta investigación se describen las siguientes: para la obtención de hidrocarburos líquidos de cualquier tipo de material en un reactor tipo semi-batch, la

temperatura no debe ser menor a 350°C., las temperaturas óptimas de operación para obtener la mayor producción de aceite de cada uno de los materiales analizados, son: Para EPS: 450°C , para PP: 450°C, para LDPE: 450°C, para HDPE: 400°C . Rojas (2016).

Una mayor obtención de líquido de hidrocarburos con mezclas de los primeros tres materiales se obtendrá con una temperatura de trabajo óptima de 450°C. Los mayores rendimientos de producción de líquido de hidrocarburos se obtienen de la pirólisis de los materiales EPS y PP. Rojas (2016)

Cano (2017) en su investigación titulada “Estudio preliminar de la pirólisis catalítica de desechos plásticos para la obtención de combustibles” dicha investigación se realizó en el Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México, con el propósito de: investigar la cantidad de desechos plásticos en el país, así como su consumo y reciclaje.

De este estudio preliminar acerca de la pirólisis catalítica de los desechos plásticos, se concluye lo siguiente: Para la formación de combustibles por pirólisis existen dos formas: favorecer la conversión de gases, que posteriormente se licuan para ser destilados; llevar la pirólisis a la formación de líquidos y someterlos a una destilación. Por cualquiera de las formas anteriores se obtienen combustibles, principalmente diésel, gasolina y queroseno. El intervalo de temperaturas para el proceso pirolítico está entre 350 y 500°C; el rendimiento de gases se favorece a mayor temperatura y el de líquidos a menor, sin importar el tipo de reactor empleado Cano (2017)

Hernández (2017), en su trabajo de investigación titulado “obtención de modelo dinámico del proceso de pirólisis de polímeros utilizando datos de una termogravimetría” esta investigación fue realizada Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La metodología utilizada fue de tipo experimental y arrojó las siguientes conclusiones: La simulación indica que es posible controlar la tasa de degradación de la masa manipulando la potencia térmica aplicada.

Esto tiene interesantes implicaciones, entre otras: mantener la temperatura al interior del reactor para lograr uniformidad en la transferencia térmica y de esta forma, garantizar que los gases volátiles y los líquidos combustibles o los materiales químicos sean extraídos sin que se mezclen especies químicas distintas en los flujos de salida. Es

importante porque la pureza de las fracciones gaseosa y líquida elimina la necesidad de agregar etapas de separación, reduciendo costos. Otra implicación es la posibilidad de encontrar las temperaturas específicas en las que se producen las diferentes sustancias. Con un control de temperatura y un mecanismo que garantice una transferencia térmica homogénea, se brinda selectividad para configurar el proceso de acuerdo al tipo de producto que se requiera y a las características a pedido de los potenciales clientes. Hernández (2017)

Lucin (2017), en su trabajo de investigación titulado “obtención y caracterización de combustible a partir de desechos termoplásticos pebd (low density polyethylene) recolectados en la Universidad de Guayaquil” fue realizado en Ecuador, bajo el objetivo general: Obtener combustible a partir de desechos termoplásticos PEBD (Low Density Polyethylene) por medio de pirólisis. La metodología utilizada fue de tipo experimental y arrojó las siguientes conclusiones: Según las características Físico-químicas obtenidas el combustible del PEBD es un crudo mediano con densidad de 0.88 y su API 22.76.

Se estableció la viabilidad del proceso de Pirólisis a una temperatura de 400 0C a la cual se obtiene el combustible a partir del PEBD, a temperaturas menores el proceso de pirólisis no se desarrolla completamente dándonos como resultados una cera. Siendo comparado el combustible obtenido del PEBD con los combustibles comercializados a nivel nacional tenemos como resultado de dicha comparación un Diesel Tipo 2, el cual puede ser utilizado para motores diésel y calderas. Lucin (2017)

Ilbay (2018), en su trabajo de investigación titulado “desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno” realizado en riobamba – Ecuador, bajo el objetivo general: Desarrollar una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno.

Mediante la metodología de tipo experimental el cual arrojó las siguientes conclusiones: Las variables obtenidas para la pirólisis térmica sin la utilización de métodos de reciclaje fue de 650°C para la temperatura de degradación, en un tiempo de residencia de 5 horas para una mezcla de polímeros entre los que se encuentran polipropileno, poliestireno, contaminantes, otros plásticos cuya eficiencia fue del 87% en un reactor de

tipo batch obteniendo como productos las siguientes fracciones: Para el poliestireno (Líquidas 25.075%, Gases 7.985%, Sólidos 1.56%) y para el polipropileno (Líquidas 28.11%, Gases 1.20 %, Coque 2.50%), sobre una muestra de 0.5Kg y un tamaño de partícula inferior a los 4x3 centímetros. Ilbay (2018)

Caleño (2020), en su proyecto de investigación titulado “Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la Universidad Autónoma de Occidente”, investigación realizada en la Universidad Autónoma del Occidente de Santiago de Cali, con el objetivo general de: Evaluar ensayos de pirólisis a escala de laboratorio para obtener los mejores rendimientos, a partir de los plásticos usados que tengan mayor potencial y que sean generados en la Universidad Autónoma de Occidente, para obtener compuestos líquidos con propiedades combustibles, identificando los impactos ambientales del proceso. En este proyecto de investigación la metodología utilizada fue de tipo experimental.

La Universidad Autónoma de Occidente en su gestión de disposición de residuos, logra el aprovechamiento mediante reciclaje de 30 toneladas de residuos sólidos anualmente, de los cuales cerca del 7.5% son polímeros reciclables que pueden ser convertidos en combustibles por medio de pirólisis. Las condiciones del proceso fueron encontradas mediante análisis térmico, específicamente TGA y DSC, para la muestra seleccionada de HDPE. Estos permitieron definir que al comparar los tres resultados obtenidos a 5,10 y 20°C/min, la mejor tasa de calentamiento fue a 10°C/min ya que da el mejor rendimiento en volatilizar el material y una temperatura de degradación de 470°C. Caleño (2020).

Andagua (2020), en su trabajo de investigación titulado “Obtención de combustibles a partir de residuos de polipropileno reciclado, mediante pirólisis catalítica” esta investigación fue realizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas de Latacunga, bajo el objetivo general de: Obtener combustibles a partir de residuos plásticos de polipropileno reciclado mediante pirólisis catalítica. La metodología utilizada fue de tipo experimental.

La pirólisis catalítica se llevó a cabo a la temperatura de 450°C, a una presión de vacío de 0.45 bar, sin oxígeno y con una columna de rectificación para mejorar las características del producto resultante (fracción líquida), en comparación con otras investigaciones que obtienen una fracción líquida con aspecto turbio. La proporción de catalizador empleada

en la pirólisis de polipropileno influyó en rendimiento de la fracción líquida, al igual que la tasa de calentamiento. Andagua (2020).

Palmay (2021), en su trabajo de investigación titulado “Pirolisis de plásticos de invernadero para recuperar ceras líquidas útiles para refinación” realizado en Riobamba-Ecuador bajo el objetivo general de estudiar las condiciones óptimas de pirólisis usando plástico de invernadero (LDPE) residual para obtener la mayor cantidad de ceras líquida, con la metodología experimental.

Este llegó a las siguientes conclusiones: A partir de la caracterización de las películas de plástico de invernadero residuales, se determinó que está constituido mayoritariamente por polietileno de baja densidad (LDPE) y en menor proporción por aditivos nitrogenados como el acrilonitrilo y las aminas impedidas HALS, las cuales le ofrecen protección frente a la radiación UV y los agentes atmosféricos y químicos a los cuales están sometidas estas películas plásticas. Palmay (2021)

La pirólisis térmica de este termoplástico, produce como producto principal una mezcla cera-aceite, carbón y gas. A medida que se incrementa la temperatura de pirólisis de 350 a 450°C, existió una marcada disminución en la fracción líquida y un aumento de la fracción gaseosa. Por lo tanto, se estableció que las condiciones óptimas para lograr el mayor rendimiento de la fracción líquida, alrededor de 67.85%, es trabajar a 400°C durante 6 min, con una tasa de calentamiento de 13°C/min. Palmay (2021)

El análisis detallado de la cera por cromatografía GC/MS, mostró la presencia de compuestos alifáticos como parafinas, olefinas y naftenos, con una distribución del número de carbonos de C9 a C32. Constituyéndose, además, como un producto limpio de alto potencial calorífico que puede utilizarse en la industria petroquímica como sustitutos de materias primas derivadas del petróleo. Palmay (2021)

Ruiz (2021), en su trabajo de investigación titulado “análisis numérico en cfd de la combustión en un motor de combustión interna alternativo utilizando combustible derivado de residuos plásticos” realizado en la Universidad Veracruzana, bajo el objetivo general de Desarrollar un modelo en CFD para caracterizar la combustión de un combustible derivado de residuos de plásticos en un motor de combustión interna, mediante una metodología de

tipo experimental donde la misma arrojó las siguientes conclusiones: Se concluyó que debido a los bajos incrementos y decrementos es posible utilizar todas las mezclas de combustibles a base de residuos plásticos, así como el combustible plástico al 100%, sin embargo, la mezcla de combustible PO20-D80 es considerado el combustible óptimo para el uso cotidiano, ya que no presenta un cambio drástico en comparación con el combustible diésel al 100%, esto implica que las condiciones del motor no tendrán afectaciones severas.

Vargas et al (2022), en su trabajo de investigación titulado “diseño de un reactor de pirólisis rápida en la producción de combustible a base de plástico PET para la implementación en los laboratorios de la Universidad de América” fue realizado en Bogotá, bajo el objetivo general de realizar un diseño a detalle de un reactor de pirólisis rápida de residuos plásticos para la producción de combustible, lo cual contribuye en la generación de alternativas tecnológicas ecoeficientes, con una metodología de tipo experimental.

Conclusiones: El acero utilizado en el desarrollo de este proyecto, SS304, acero inoxidable es considerado como uno de los materiales más versátiles en el campo, ya que cuenta con amplia gama de aplicaciones por las propiedades integras al mismo. Podemos considerar la buena resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas y que este no presenta cambios en su composición o endurecimiento por tratamientos térmicos tratados. Por ende, considerando lo mencionado anteriormente es una de las soluciones más factible para el proyecto. Vargas et al (2022)

Es necesario disponer de una limpieza diaria, después de la ejecución de cada uno de los laboratorios realizados en el proceso, por acumulación de coque y alquitrán en los recipientes relacionado, siendo este una de las fallas más recurrentes obtenidas en el estudio de las mismas, esto según lo indica el manual de operación. Vargas et al (2022)

Los mejores parámetros de configuración de las condiciones para el diseño se dan con respecto a la norma ISO 647, evaluada en el desenlace del documento. En esta se evidencia las alternativas en la producción de los diferentes residuos relacionados en el proceso, creando una eficiencia máxima en el proceso. Vargas et al (2022)

La pirólisis rápida para la producción de combustibles, podría ser una de las soluciones más factibles al actual problema relacionado con la descomposición y

reutilización de las botellas de plástico o PET en el mundo, permitiendo un aprovechamiento de los mismos. Vargas et al (2022)

Duran (2023), estudiantes dominicanos crean reactor para convertir sargazo y plástico en combustible, un grupo de estudiantes del colegio Carol Morgan desarrollaron una máquina que genera combustible con la contaminación del plástico y el sargazo. Alejandra y Pietro, dos jóvenes estudiantes que participaron en el proyecto, explicaron que los problemas que afronta la República Dominicana con la contaminación plástica y el sargazo fueron la motivación de un grupo, de aproximadamente 40 estudiantes, para volver una realidad esa idea. “Con esta máquina nosotros podemos ayudar al turismo, que todo se vea más limpio, esa es la idea de esta creación”, explicó Pietro, quien tiene 17 años. Por el desarrollo del reactor y un robot, el Team Drift del centro educativo fue galardonado con el Engineering Inspiration Award del campeonato regional de la competencia FIRST Robotics, realizada en Orlando, Florida, Estados Unidos.

1.2 Planteamiento del problema

Para el mundo, el plástico es ampliamente reconocido como uno de los materiales más sorprendentes y versátiles inventados hasta ahora. Su presencia es prácticamente omnipresente debido a su amplio rango de aplicaciones. Sin embargo, a pesar de haber revolucionado la historia de la humanidad desde su invención, el plástico se ha convertido en una preocupante fuente de contaminación. Su uso intensivo ha llevado a la acumulación masiva de residuos plásticos en nuestro planeta, convirtiéndolo en uno de los contaminantes más dañinos y persistentes. (Rodríguez, 2022).

Según Rejas et al, (2019). En la actualidad, el gran porcentaje de los productos que se utilizan en la vida cotidiana, provienen de materiales empaquetados o envueltos en diferentes tipos de plásticos, en el mundo se generan millones de toneladas de residuos plásticos, estos, como parte de su ciclo de uso, pasan a convertirse en basura, posicionándose en el primer lugar de residuos acumulados en las calles, ríos, mares, cañadas entre otros, generando gran contaminación, debido a que su proceso de degradación es muy lento y toma muchos años.

Aparentemente, esta problemática es generada en gran parte por el bajo costo de la producción de plásticos, ocasionando que el mismo sea accesible como contenedor de la gran mayoría de sustancias líquidas o sólidas, de igual forma el sobreconsumo del mismo, lo que ocasiona la alta demanda de producción y utilización, mal gestión de residuos plásticos, ausencia de la educación ambiental y el reciclaje, mal manejo de la clasificación de materiales, el uso deficiente de los botaderos y el proceso de los camiones colectores de basura, falta de concienciación ciudadana y política o podría ser que, la reutilización de los plásticos para la recreación del mismo, hacen que el producto generado sea de menos calidad y consistencia. García (2019).

A consecuencia de este problema, es probable que, los residuos plásticos amontonados en las calles, ríos, mares, cañadas entre otros sean mucho mayor que la población humana, vegetal y animal, lo que generaría a vivir en un planeta lleno de residuos plásticos, provocando pérdida de la biodiversidad, muertes de los animales debido a la ingesta del mismo los cuales les provocan laceraciones, heridas internas e incluso la muerte, amenazas

a la salud humana, debido que al igual que los animales, los humanos también pueden consumir plásticos, debido a la bioacumulación en la cadena alimenticia y contribución al efecto invernadero. García (2019).

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), reflejan que en República Dominicana se generan 88 mil toneladas de residuos de plástico al año, de las cuales apenas se gestionan unas 22 mil. (Ramírez, 2021).

La alternativa para esta situación es emplear el uso del proceso de la pirólisis como mecanismo de reciclaje eficiente para el control y el tratamiento de los residuos plásticos (polietileno de alta densidad (PEAD), polietilentereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de Vinilo (PVC)), que además de reducir la contaminación directa ambiental, tiene como beneficio adicional producir biocombustibles como mecanismo de la descomposición química de un material por degradación térmica en ausencia de oxígeno. Rejas et al (2019).

En función a que la creciente acumulación de residuos plásticos y su impacto negativo en el medio ambiente. A medida que la producción y el consumo de plástico continúan aumentando, se genera una cantidad masiva de desechos plásticos que no se gestionan adecuadamente, lo que conduce a la contaminación de los océanos, la degradación del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero. Este problema amenaza la salud humana, la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental, y requiere soluciones innovadoras y sostenibles, como la pirólisis, para convertir los residuos plásticos en recursos útiles y reducir su impacto negativo en el entorno, dicho esto, se ha planteado la siguiente interrogante:

¿Cuáles resultados se obtendrán al reciclar los residuos plásticos y como se puede mejorar la calidad y la cantidad de los productos de hidrocarburos generados por el proceso de pirólisis para aumentar su valor como materia prima para la producción de biocombustibles, productos químicos, otros materiales y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, al mismo tiempo que se minimiza su impacto ambiental?

1. ¿Cómo se puede crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y cuáles son las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible?
2. ¿Cuál es la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí?
3. ¿Cómo es el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?
4. ¿Cuáles son los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?
5. ¿Cuál es el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en términos de generación de empleo, creación de oportunidades económicas y reducción de la dependencia de recursos no renovables, en el contexto de la agenda 2030 y su contribución a la calidad ambiental sostenible?

1.3 Justificación

Esta investigación tiene como finalidad diseñar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis para el aprovechamiento y reciclaje de residuos plásticos en beneficio de la calidad ambiental en el marco del desarrollo sostenible, Agenda 2030, en el Municipio de Cotuí, ya que la misma se ha caracterizado por ser un problema preocupante debido a la corrosión y degradación que originan los residuos plásticos, provocando problemáticas medio ambientales.

En la actualidad, se están desarrollando nuevas tecnologías con el objetivo de abordar la creciente destrucción y contaminación del medio ambiente. Entre estas alternativas, el proceso de pirólisis se presenta como un método de reciclaje prometedor. La pirólisis ofrece una solución para remediar problemas ambientales al transformar los residuos en productos útiles. Mediante esta técnica, es posible descomponer los materiales en sus componentes básicos mediante altas temperaturas y en ausencia de oxígeno. De esta manera, la pirólisis contribuye a la reducción de la contaminación y a la gestión sostenible de los recursos, representando una opción valiosa para avanzar hacia un futuro más sostenible. (William, 2019)

Resulta de especial interés resolver esta situación, ya que permitiría prevenir en gran medida los problemas medioambientales y también problemas sobre la salud humana por los grandes cúmulos de residuos plásticos, puesto que es algo que arropa a nuestra sociedad a medida de que pasan los días por la mal gestión y disposición que se le da a los mismos. A través de los años los plásticos han llegado a resolverle la vida a los humanos, pero la producción masiva de estos han sobrepasado los límites y se generan cada día más acumulaciones.

De acuerdo con Portillo (2019), la pirólisis es importante, porque ayuda a controlar la contaminación del aire asociada con la incineración. También ayuda a reducir la cantidad de desechos entrantes y la generación de desechos estériles, lo que prolonga la vida útil del vertedero y mejora la calidad del mismo. Finalmente, también es una forma de convertir algunos desechos en combustible que se puedan almacenar y transportar.

La investigación se justifica desde el punto de vista ambiental, social, económico y científico, porque el proceso de pirólisis ofrece una alternativa eficiente y limpia al uso de residuos plásticos, además, la ventaja adicional de reducir la contaminación directa y producir combustibles que se utilizan actualmente, contribuyendo además al impacto medioambiental.

La justificación de esta investigación se sustenta en diversos aspectos tanto sociales como académicos. Desde una perspectiva social, el estudio de la pirólisis y su aplicación para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos representa un punto de partida fundamental para abordar los desafíos ambientales no solo en el Municipio de Cotuí, sino en todo el país.

Esta investigación busca generar beneficios económicos al país en su conjunto al promover un enfoque sostenible en la gestión de residuos, mitigando los daños irreparables a la naturaleza y al ecosistema. Asimismo, al implementar prácticas de pirólisis, se estaría sentando las bases para un cambio positivo en el orden social, fomentando la conciencia ambiental y la adopción de soluciones innovadoras para enfrentar el problema de los residuos plásticos.

Desde la perspectiva académica, esta investigación justifica su relevancia al convertirse en uno de los pilares de la resolución propuesta por la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental. Al abordar el tema de la pirólisis y su aplicación en el país, la universidad se posiciona como pionera en esta área, demostrando su compromiso con la generación de conocimiento científico y la búsqueda de soluciones prácticas para los desafíos ambientales. Además, al fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías de pirólisis, la universidad contribuirá al avance de la ciencia y la tecnología en el país, formando profesionales capacitados y promoviendo la transferencia de conocimientos a otros sectores académicos y productivos.

Este estudio de investigación tiene como objetivo proporcionar información sobre los beneficios y ventajas significativas de la pirólisis como una solución medioambiental segura para el tratamiento de residuos. Según el respaldo de (Scoot, 2020), la pirólisis ofrece una serie de beneficios destacados, como la capacidad de procesar una amplia variedad de materiales, un proceso continuo de tratamiento que genera energía, el control

independiente de cada etapa del proceso, la eliminación garantizada de emisiones gaseosas peligrosas, una alta eficiencia en la recuperación de energía de los residuos disponibles, una gran reducción en la cantidad de residuos a tratar (superior al 90%) y la posibilidad de reutilizar la escoria obtenida en la construcción de carreteras. Estas características hacen de la pirólisis una opción valiosa y prometedora en la gestión sostenible de residuos y el impulso hacia una economía circular.

Además, esta investigación se alinea con los objetivos de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, establecidos por las Naciones Unidas. Estos objetivos incluyen la promoción de la producción y el consumo sostenibles, la acción contra el cambio climático y la protección de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Mediante el estudio de la pirólisis y su contribución a la calidad ambiental sostenible, se busca generar conocimientos científicos que respalden la implementación de prácticas y políticas basadas en evidencia para alcanzar los objetivos establecidos en la Agenda 2030.

Por otra parte, esta investigación será útil para toda la comunidad científica para investigaciones futuras, social, informativa, ya que mejorará el conocimiento del alcance de esta problemática con la que interactuamos día a día.

1.4 Objetivos de investigación:

1.4.1 Objetivo general:

Diseñar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis para el aprovechamiento y reciclaje de residuos plásticos en beneficio de la calidad ambiental en el marco del desarrollo sostenible, Agenda 2030.

1.4.2 Objetivos específicos:

Crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y evaluar las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible.

Clasificar y evaluar la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

Aplicar el proceso de pirólisis en residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

Valorar los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

Analizar el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la agenda 2030.

Hipótesis

Hipótesis nula: H0: No existe una relación significativa entre la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos y la calidad ambiental sostenible en el marco de la Agenda 2030.

Hipótesis alternativa: H1: La implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos tiene un impacto significativo en la calidad ambiental sostenible en el marco de la Agenda 2030, promoviendo la reducción de la contaminación plástica y fomentando prácticas de economía circular.

1.5 Operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Instrumento
Crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y evaluar las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible.	Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible	Máquina de pirólisis: Función, productos finales, ventajas y aplicaciones. Desarrollo sostenible: Sostenibilidad ambiental, sostenibilidad social, sostenibilidad económica y los objetivos del desarrollo sostenible	Análisis de documentos, Pruebas y bitácora de trabajo.
Clasificar y evaluar la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.	Residuos Plásticos	Composición química, volumen y peso, calidad del material, impacto ambiental y tipos.	Ficha bibliográfica, ficha de contenido, ficha de registro de observación.
Aplicar el proceso de pirólisis de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.	Pirólisis	clasificación, importancia y ejemplos, calidad de los productos, impacto ambiental y rentabilidad económica	Análisis de documentos, Pruebas y bitácora de trabajo.
Valorar los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.	Mezclas de hidrocarburos	Composición de mezclas de hidrocarburos a presión atmosférica, composición química, Propiedades físicas, emisiones de contaminantes, estabilidad, rentabilidad económica.	Espectroscopia infrarroja, Equipo de caracterización de combustibles, bitácora de trabajo.
Analizar el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la agenda 2030.	Impacto socioeconómico	Generación de empleo, creación de oportunidades económicas, reducción de la dependencia de recursos no renovables, impacto en el desarrollo económico local.	Análisis de documentos, Pruebas y bitácora de trabajo.

1.6 Definición de términos

Análisis químico:

Rama de estudio de la química analítica, es el estudio de los distintos componentes, así como sus concentraciones, de una muestra representativa de un producto en particular. (Neysi, 2023)

Catalizador:

Es una sustancia que sin ser modificada o consumida durante el proceso, cambia la velocidad de una reacción química. (Pinos, 2019)

Cinética química:

Es la rama de la química que se centra en el estudio de la velocidad de las reacciones químicas. Examina cómo ocurren las reacciones, qué factores influyen en su velocidad y cómo se pueden controlar. La cinética química analiza las tasas de reacción, los mecanismos de reacción y las relaciones entre las concentraciones de los reactivos y los productos a lo largo del tiempo. (Campos, 2018)

Desarrollo sostenible:

Se refiere a un enfoque que busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Implica equilibrar las dimensiones económica, social y ambiental, de modo que se promueva el progreso económico, la equidad social y la protección del medio ambiente. (Frías, 2020)

Pirólisis:

Es una técnica de reciclaje en la que se da la descomposición térmica de los polímeros en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo, normalmente a temperaturas entre 300 y 900°C. (Gil, scielo, 2019)

Producto:

En la química y sus ramas, se conoce como producto a las sustancias obtenidas luego de ocurrir una reacción química. (Álvarez D. O., 2021)

Hidrocarburo:

Son compuestos químicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Son la base de los combustibles fósiles, como el petróleo, el gas natural y el carbón, y también se encuentran en forma de moléculas orgánicas en la naturaleza. Los hidrocarburos se clasifican en dos categorías principales: alifáticos, que incluyen los alcanos, alquenos y alquinos, y aromáticos, como el benceno. (Núñez, 2023)

Química:

Es una ciencia que tiene por finalidad no sólo descubrir, sino también, y sobre todo, crear, ya que es el arte de hacer compleja la materia. Para captar la lógica de la reciente evolución de la química, hay que retroceder en el tiempo y dar un salto atrás de unos cuatro mil millones de años. (Lehn, 2021)

Química ambiental:

Es una disciplina científica que se enfoca en el estudio de las interacciones entre los compuestos químicos y el medio ambiente. Busca comprender cómo los productos químicos se comportan, se transforman y se dispersan en los ecosistemas terrestres, acuáticos y atmosféricos. (Peláez, 2023)

Química analítica:

Rama de la química que se centra en el estudio de la composición química de las sustancias y en el desarrollo de métodos para analizar y medir sus componentes. Su objetivo es determinar qué elementos o compuestos están presentes en una muestra, en qué cantidad y cómo se pueden identificar y cuantificar. (Custodio, 2023)

Química Orgánica:

Se entiende por química orgánica al área de la química que se encarga del estudio de sustancias y compuestos orgánicos, es decir, aquellos que en su estructura molecular contienen carbono, y que se combina con otros elementos tales como el hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre. (Guillermo, 2023)

Química de los polímeros:

Rama especializada de la química que se dedica al estudio de los polímeros, que son macromoléculas formadas por la repetición de unidades estructurales llamadas monómeros. Esta disciplina se centra en la síntesis, la estructura, las propiedades y las aplicaciones de los polímeros, así como en su comportamiento físico y químico. (Álvarez D. O., 2023)

Residuos plásticos:

Son materiales desechados o descartados que consisten principalmente en productos de plástico, como botellas, bolsas, envases y utensilios, que han llegado al final de su ciclo de vida útil. Estos residuos plásticos se acumulan como basura y representan un desafío ambiental significativo debido a su persistencia en el medio ambiente y su lenta degradación natural. (Ojeda, 2019)

Reactor:

Se define un reactor nuclear como una instalación capaz de iniciar, mantener y controlar las reacciones de fisión en cadena que tiene lugar en el núcleo del reactor, compuesto por el combustible, el refrigerante, los elementos de control, los materiales estructurales y el moderador en el caso de los reactores nucleares térmicos. (Urios, 2021)

Temperatura:

Es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa. (Leskow, 2022)

Termodinámica:

Es una rama de la física que estudia la energía, el calor, la temperatura y la presión en los sistemas físicos. Se basa en principios fundamentales como la conservación de la energía y la ley de la entropía. (Coluccio, 2021)

Tiempo:

Es una medida de la duración y secuencia de los eventos. Es la forma en que percibimos y medimos la sucesión de momentos y la duración de los acontecimientos. Nos permite ubicar eventos en el pasado, presente o futuro y establecer relaciones temporales entre ellos. Se puede medir en unidades como segundos, minutos, horas, días, meses y años. (Fornaris, 2022).

1.7 Marco contextual

El presente estudio se enfoca en abordar el problema central de la acumulación y contaminación de residuos plásticos, y su impacto negativo en el medio ambiente y la calidad de vida de la comunidad. Los residuos plásticos se han convertido en una preocupación creciente a nivel global, debido a su persistencia en el entorno natural y su capacidad para generar problemas ambientales y de salud pública.

En el Municipio de Cotuí, específicamente, se observa una problemática significativa en términos de generación y gestión de residuos plásticos. La falta de sistemas adecuados para su manejo ha llevado a una acumulación descontrolada, afectando tanto los ecosistemas locales como la calidad de vida de la población. Además, se han identificado impactos negativos en cuerpos de agua cercanos y en la flora y fauna de la región.

En este contexto, es imperativo adoptar medidas efectivas para la gestión sostenible de los residuos plásticos, en línea con los objetivos establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La pirólisis se presenta como una tecnología innovadora y prometedora para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos. Este proceso termoquímico permite descomponer los residuos plásticos térmicamente en ausencia de oxígeno, generando productos reutilizables como combustibles, materiales y energía.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis, que permita el aprovechamiento y reciclaje eficiente de los residuos plásticos en beneficio de la calidad ambiental y el desarrollo sostenible en el Municipio de Cotuí. Para lograr este objetivo, se plantean objetivos específicos que abarcan desde la creación del prototipo funcional, la evaluación de sus ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible, hasta el análisis del impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis en el marco de la Agenda 2030.

El marco contextual de esta investigación se sustenta en la necesidad de buscar soluciones innovadoras y sostenibles para el manejo de residuos plásticos, considerando el contexto local del Municipio de Cotuí y su problemática específica. La gestión adecuada de los residuos plásticos no solo contribuirá a la protección del medio ambiente, sino también al bienestar de la comunidad y al desarrollo socioeconómico sostenible de la región.

Asimismo, se destaca la relevancia de la Agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible como marco de referencia para abordar los desafíos ambientales y sociales actuales. Mediante la aplicación de la pirólisis como método de reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos, esta investigación busca contribuir a la implementación de acciones concretas que promuevan la transición hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

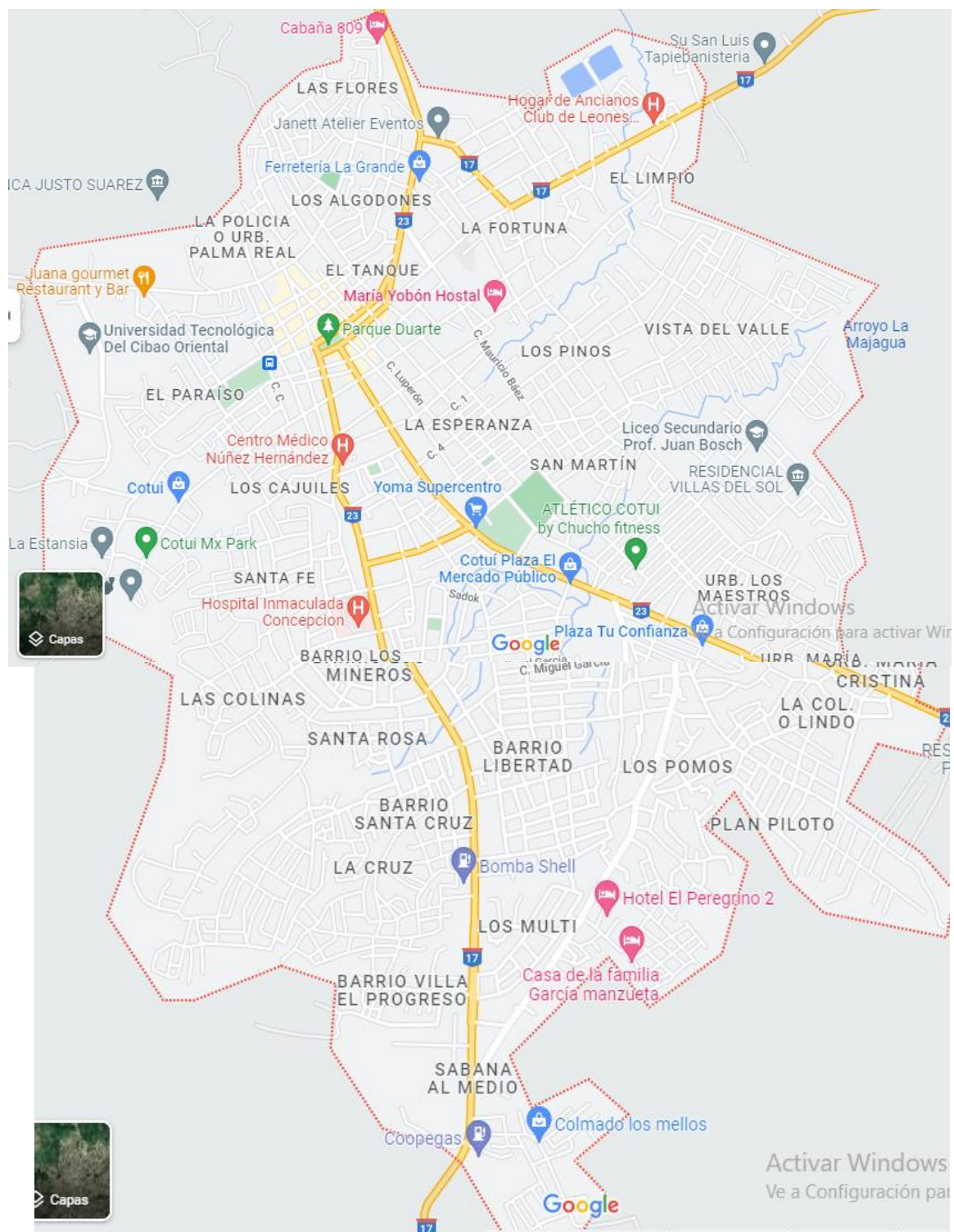
La metodología utilizada en este estudio se basa en enfoques cuantitativos y cualitativos, involucrando técnicas de recolección de datos, experimentación y análisis. Se llevará a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva, diseño experimental, clasificación y evaluación de los residuos plásticos recolectados, aplicación del proceso de pirólisis, análisis de los productos obtenidos y evaluación del impacto ambiental y económico de la implementación de tecnologías de pirólisis en el Municipio de Cotuí. A través de este enfoque metodológico integral, se busca obtener resultados precisos y relevantes que

respalden la viabilidad y efectividad de la pirólisis como solución sostenible para el manejo de residuos plásticos.

1.7.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Cotuí, esta población de menos de 80.000 habitantes fue fundada en el año 1505 por Rodrigo Mejía de Trujillo, durante el gobierno de Nicolás de Ovando. Los padres jerónimos la convirtieron en centro de explotación minera en la segunda década del siglo XVI con el nombre de La Mejorada de Cotuí, conocida también como Los Mineros. En el año 1533 Cotuí adquirió la categoría de villa y pasó a conocerse como La Mejorada Villa de Cotuí. Tras el fuerte terremoto de 1562 la localidad fue trasladada a su ubicación actual al Norte de la Sierra de Yamasá. Este lugar ofrece una serie de interesantísimos lugares de interés general y turístico que merece la pena visitar, algunos de los cuales son: La iglesia Inmaculada Concepción, la Presa Hatillo, las Guácaras Taínas y Sierra Prieta. (Cid, 2017).

La iglesia Inmaculada Concepción es una de las obras de interés y belleza arquitectónica más antigua del municipio de Cotuí, además de ser un lugar de gran importancia en el desarrollo de la localidad. La Presa de Hatillo, ubicada en la localidad del mismo nombre, es una imponente construcción terminada en 1984 que sirve como gran fuente de ingresos para los pescadores de la zona. Las Guácaras Taínas son unas impresionantes cavernas situadas en la provincia de Sánchez Ramírez. Aunque existen numerosas cavernas en la República Dominicana, pocas poseen una importancia arqueológica e histórica semejante a la de las Guácaras. Y la Sierra Prieta es una impresionante elevación que llega hasta los 300 m que recibe a numerosos turistas y excursionistas, atraídos por su increíble paisaje y su antiguo muro lleno de petroglifos que datan de la época prehispánica. (Cid, 2017).



1.8 Alcances y límites de la investigación

Campo: Química.

Área: Química Orgánica, Química ambiental, química de los polímeros, Termodinámica, Cinética química, Química analítica.

Aspectos: Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Año 2023.

Delimitación espacial: Esta investigación se realizó en el Municipio de Cotuí, perteneciente a la provincia de Sánchez Ramírez, Creando un prototipo funcional de máquina de pirólisis a pequeña escala, la cual convirtió eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, se evaluó las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible, se clasificó y evaluó la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí, aplicando el proceso de pirólisis de residuos plásticos, se valoró los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos y se analizó el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la agenda 2030.

Delimitación temporal: dicha investigación se realizó en el transcurso de los meses Mayo-Octubre, correspondiente al año 2023.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.0 Introducción

Este capítulo trata de la terminología fundamental que sustenta la presente investigación, en la misma se buscaron numerosas fuentes teóricas, de estudios, sitios webs, artículos científicos, publicaciones e informaciones sobre las variables presentadas en el trabajo investigativo. En relación con esto, las consultas presentadas reúnen informaciones actualizadas, garantizando la integridad y el respeto del derecho del autor.

2.1 Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible

2.1.1 Máquina de pirólisis

Según nos plantea (BESTON, 2023) La máquina de pirólisis de plásticos es la mejor opción para reciclar desechos plásticos, puede pirolizar completamente los plásticos de desechos (PP, PE, ABS) para producir sustancias de alto valor (aceite, negro de carbón, gas, etc.). Esta máquina de reciclaje es bien recibida en muchos países. La mayoría de los gobiernos también están muy dispuestos a comprarlo para reciclar los desechos municipales y proteger el medio ambiente local.

2.1.2 Función

Para (LinkedIn, 2023) El principio principal asociado con este tipo de plantas de pirólisis implica un reactor que calienta las materias primas. Una vez calentados, estos materiales producen gas de petróleo. Este gas viaja a algún condensador que a su vez cambia el gas de aceite en aceite líquido. El último elemento es el petróleo que se utiliza como combustible para aplicaciones industriales. Cualquiera del "petróleo-gas" que no reaccione dentro del condensador se reciclará en un quemador para el próximo ciclo. Lo que significa que estas plantas utilizan energía reciclable.

2.1.3 Productos finales

Tal y como sustenta (Beston, BESTON, 2023) Durante el proceso de pirolización de neumáticos y plásticos, podemos obtener fuel oil, negro de humo y gas combustible. Debido a sus amplias aplicaciones, los productos finales son muy valiosos.

Aceite combustible de pirólisis

Se puede vender directamente. Estará satisfecho con el precio del aceite de pirólisis.

Reprocesado en diesel no estándar por máquina de destilación de aceite usado.

Puede utilizarse como material combustible industrial para quemar.

Negro carbón

Se puede vender directamente.

Reprocesado en carbón de alta calidad por la planta de procesamiento de negro de humo.

Fabricar ladrillos de carbón con equipo de briquetado.

Gas combustible

Se puede reciclar como combustible para calentar el reactor

2.1.4 Ventajas

Como afirma (Beston, 2023) Por un lado, la máquina de pirólisis de plástico es un proyecto rentable y, por otro lado, el equipo de pirólisis puede aliviar de manera efectiva los problemas de escasez de energía y contaminación ambiental.

Beneficio: en primer lugar, los productos de pirólisis plástica tienen un alto valor económico. El aceite de pirólisis plástica, el negro de carbón y el gas combustible no solo se pueden usar como combustibles alternativos, sino que también se pueden usar para la venta.

Protección del medio ambiente: en segundo lugar, el equipo de pirólisis puede resolver algunos de los desechos plásticos, lo que reduce la contaminación del medio ambiente.

Política: ya sea como alternativa a los combustibles fósiles o para paliar la contaminación ambiental, este proyecto puede obtener apoyo público y gubernamental, e incluso subsidios.

2.1.5 Aplicaciones

Según (Coviello, 2023), la pirólisis tiene diversas aplicaciones de gran relevancia. Se utiliza ampliamente en la producción de biocombustibles, en la gestión eficiente de residuos y en la creación de materiales avanzados a partir de biomasa. Además, la pirólisis se emplea en la fabricación de carbón vegetal y en la eliminación segura de residuos peligrosos.

Y de acuerdo con Gil et al (2019), el proceso de pirólisis de residuos plásticos tiene diversas aplicaciones en diferentes campos. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen:

Obtención de combustibles: Uno de los usos principales de la pirólisis de residuos plásticos es la obtención de combustibles como el aceite pirolítico, que puede ser refinado y utilizado como un sustituto parcial de los combustibles fósiles en motores diésel y calderas industriales.

Reciclaje de plásticos: La pirólisis puede ser una alternativa al reciclaje convencional de plásticos, especialmente cuando los plásticos son difíciles de reciclar de manera tradicional debido a su compleja composición o contaminación. Los productos obtenidos de la pirólisis, como los aceites pirolíticos, pueden ser utilizados como materia prima para la fabricación de nuevos plásticos.

Generación de energía: Los gases producidos durante el proceso de pirólisis, como el metano y el hidrógeno, pueden ser utilizados como combustibles para la generación de calor o electricidad. Esto puede contribuir a la producción de energía a partir de fuentes renovables y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Gil et al (2019)

Reducción de residuos: La pirólisis puede ayudar a reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente. Al convertir los plásticos en productos útiles, se disminuye la presión sobre los sistemas de gestión de residuos.

Producción de productos químicos: Además de los combustibles, la pirólisis puede producir una variedad de productos químicos valiosos que pueden ser utilizados en diversas industrias, como la petroquímica y la química fina.

Gestión de residuos en áreas remotas: En áreas donde la infraestructura de gestión de residuos es limitada, la pirólisis podría proporcionar una forma eficiente de manejar los residuos plásticos localmente y aprovechar los productos resultantes.

Reducción de emisiones: Aunque la pirólisis no es una solución completamente libre de emisiones, puede ser una alternativa más sostenible a la incineración de residuos plásticos, ya que tiende a generar menos emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Gil et al (2019)

2.1.6 Desarrollo sostenible

Según (Frías, 2020) El desarrollo sostenible es un concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población.

El desarrollo sostenible se refiere a un enfoque integral para abordar los desafíos y problemas que enfrenta la sociedad actual, con el objetivo de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. En otras palabras, busca equilibrar las consideraciones económicas, sociales y ambientales para lograr un progreso duradero y beneficioso a largo plazo.

La sostenibilidad es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. (Frías, 2020)

Según (Monds, 2023), el desarrollo sostenible se basa en tres pilares interconectados:

Dimensión económica: Implica asegurar el crecimiento económico y la prosperidad, pero de manera equitativa y responsable. Se trata de crear sistemas económicos que generen empleo, fomenten la innovación y mejoren la calidad de vida, sin agotar los recursos naturales ni causar daños irreversibles al medio ambiente.

Dimensión social: Se refiere a garantizar el bienestar y la calidad de vida de todas las personas en la sociedad, incluyendo la equidad, la justicia social, la educación, la atención médica, la seguridad alimentaria y otros aspectos que promuevan la inclusión y el respeto de los derechos humanos.

Dimensión ambiental: Implica la conservación y el uso responsable de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Busca minimizar el impacto humano negativo en los ecosistemas, la biodiversidad y el clima, promoviendo prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías limpias.

2.1.7 Sostenibilidad ambiental

En su vertiente ambiental, la sostenibilidad defiende que la naturaleza no es una fuente inagotable de recursos y vela por su protección y uso racional. Aspectos como el cuidado del medio ambiente, la inversión en energías renovables, el ahorro de agua, la apuesta por la movilidad sostenible o la innovación en construcción y arquitectura sostenible contribuyen a lograr esta sostenibilidad ambiental desde varios frentes. (Frías, 2020)

2.1.8 Sostenibilidad social

En el plano social, la sostenibilidad fomenta el desarrollo de las personas, comunidades y culturas para conseguir un nivel global de calidad de vida, sanidad y educación adecuado y equitativo. La lucha por la igualdad de género, en especial en los países en desarrollo, es otro aspecto que durante los próximos años configurará las bases de la sostenibilidad social. (Frías, 2020)

2.1.9 Sostenibilidad económica

La sostenibilidad también busca impulsar un crecimiento económico que genere riqueza equitativa sin perjudicar los recursos naturales. Una inversión y reparto igualitario de los recursos económicos permitirá potenciar los demás pilares de la sostenibilidad para lograr un desarrollo completo. (Frías, 2020)

2.1.10 Objetivos del desarrollo sostenible

Para (ONU, 2023) Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.

Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados. (ONU, 2023)

Los ODS están diseñados para acabar con la pobreza, el hambre, el sida y la discriminación contra mujeres y niñas. (ONU, 2023)

La creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad son necesarios para alcanzar los ODS en todos los contextos. (ONU, 2023)

Objetivo 1 Fin de la pobreza

Objetivo 2 Hambre cero

Objetivo 3 Salud y bienestar

Objetivo 4 Educación de calidad

Objetivo 5 Igualdad de género

Objetivo 6 Agua limpia y saneamiento

Objetivo 7 Energía asequible y no contaminante

Objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico

Objetivo 9 Industria, innovación e infraestructura

Objetivo 10 Reducción de las desigualdades

Objetivo 11 Ciudades y comunidades sostenibles

Objetivo 12 Producción y consumo responsable

Objetivo 13 Acción por el clima

Objetivo 14 Vida submarina

Objetivo 15 Vida de ecosistemas terrestres

Objetivo 16 Paz, justicia e instituciones solidas

Objetivo 17 Alianza para lograr los objetivos. (ONU, 2023)

2.2 Residuos plásticos

De acuerdo con CAIRPLAS, (2018). Los plásticos son aquellos materiales extraídos a partir de derivados de petróleo mediante la polimerización, estos son materiales orgánicos así como lo son el papel, la lana o la madera. Para la producción del plástico es necesario la utilización de materias primas como lo que es el carbón, la celulosa, gas natural, sal y el petróleo como productos naturales.

La producción de un residuo de plástico se origina cuando, algún material descartado de un elemento fabricado no tiene valía, utilidad o valor. Dentro de sus características más notorias que se puede mencionar, la longevidad del mismo al paso del tiempo y que su degradación dependerá mucho del tipo de plástico que se esté indagando, el tamaño y el proceso de degradación asociado. Los mecanismos de degradación se catalogan por ser de oxidación o de foto-oxidación, biológicos, entre otros. Por lo general el tiempo estimado para que un plástico se descomponga según estudios es de al menos 100 años, aunque existen variaciones que demuestran que tardan entre los 500 y 1000 años bajo a ciertas condiciones específicas que inclusive pueden detener su descomposición, según afirma Ojeda (2019).

2.2.1 Composición Química

Para (Espinosa, 2023) Están formados por gigantescas moléculas de carbono, junto con otros elementos como hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno o el azufre.

Las sustancias de las que proceden los plásticos pueden ser de origen mineral, vegetal o animal:

De origen mineral, como el petróleo, la hulla o el gas natural.

De origen vegetal, como la madera, el algodón o la resina de algunos árboles.

De origen animal, como la leche y en especial de una de sus proteínas que se llama caseína.

2.2.2 Volumen y peso

Como afirma (Gómez, 2019) Las estadísticas confirman que la cantidad de residuos sólidos generados en todo el planeta continúa creciendo, como resultado de la sociedad consumista que tradicionalmente ha generado residuos inaprovechables, ignorando además los problemas asociados con su disposición final.

Para poder tomar real dimensión del problema, es conveniente observar la composición general de los residuos, que, contrariamente a lo que mucha gente piensa, es similar en todas las sociedades industrializadas, ya sean europeas o americanas. (Gómez, 2019)

A pesar de su presencia universal en los hogares modernos, los plásticos contribuyen sólo con el 7% en peso a la cantidad total de residuos domésticos, contra un 30% de orgánicos, 25% de papel y cartón, 10% de vidrio, 10% de textiles, etcétera. El volumen de los plásticos en los residuos sólidos es difícil de calcular, debido a su capacidad para ser compactados; sin embargo, oscilaría entre un 10 y un 30 por ciento en los residuos domésticos. Sin los plásticos, este volumen se elevaría en un 250 por ciento, sencillamente por la cantidad mayor de materiales alternativos que se requerirían para suplantar mínimas cantidades de plástico. (Gómez, 2019)

2.2.3 Calidad del material

Para (Razo, 2018) Según las conclusiones de una reciente encuesta en el sector, las empresas europeas aseguran que es difícil encontrar materiales plásticos reciclados de calidad aceptable para su transformación.

La calidad de los materiales plásticos reciclados sigue siendo el mayor obstáculo para un mayor uso de estos como materia prima. Casi el 60 por ciento de las empresas europeas de transformación de plásticos consideran difícil o muy difícil obtener un suministro de materiales plásticos reciclados con una calidad aceptable. (Razo, 2018)

2.2.4 Impacto ambiental

Según Rojas (2023), la contaminación causada por los plásticos se ha convertido en uno de los desafíos medioambientales más urgentes de nuestro tiempo. Tanto la producción como la incineración de plásticos contribuyen de manera significativa al cambio climático. Además, los desechos plásticos ahogan nuestros cursos de agua, contaminan nuestros océanos, causan la muerte de la vida silvestre y se infiltran en nuestra cadena alimentaria. Si esta tendencia actual persiste, se estima que para el año 2050 habrá alrededor de 12 000 millones de toneladas de residuos plásticos en vertederos o contaminando el medio ambiente, lo cual equivale aproximadamente a 80 millones de ballenas azules.

Dado que el problema del plástico sigue creciendo como una bola de nieve, debemos trabajar con rapidez para tomar medidas audaces y decisivas que reviertan la situación de los residuos plásticos. Rojas (2023)

2.2.5 Tipos

A lo largo del tiempo, grandes científicos se han dedicado al estudio, manejo y clasificación de los residuos plásticos para facilitar a la población en general sobre su reciclaje, el uso y el buen manejo de los mismos, dentro de su clasificación se encuentran los siguientes:

PEAD

Para Envaselia (2018), los PEAD o HDPE son aquellos plásticos considerados polietileno de alta densidad, formado por múltiples unidades de etileno proveniente de un polímero termoplástico, obtenidos por la adición, en otras palabras, por la suma de distintas unidades de etileno, dentro de sus características se encuentran que sus moléculas apenas presentan ramificaciones, se les confiere una densidad molecular considerable, lo que significa es que es resistente y dura, por lo que es tolerante a las temperaturas altas, haciendo que sea perfecto utilizarlo como envases para botellas de productos de limpieza y membranas impermeabilizantes.

PET

De acuerdo con Álvarez (2023). Los PET son un modelo de plásticos distinguidos por su utilización para fabricar tejidos sintéticos y envases, debido a que son un tipo de plásticos flexibles, fuertes y reciclables, este es un polímero que pertenece al grupo de materiales sintéticos, mejor conocidos como los poliésteres y que a su vez el mismo es un derivado del petróleo, es muy utilizado para la fabricación de botellas de agua refrescos, debido a que posee alto grado de transparencia, procesable por soplado, inyección y extrusión, por otra parte los PET bloquean de manera eficiente la humedad y sus cualidades mecánicas hacen que sean posibles la fabricación de hilos, telas sintéticas y todo tipo de tejidos.

PEBD

Los PEBD o LDPE, son considerados polietileno de baja densidad, debido a que es un polímero termoplástico perteneciente a la familia de los olefinicos, los cuales se caracterizan por ser aquellos que se forman por múltiples unidades de etileno y porque están formados por estructuras muy ramificadas, se utilizan para la fabricación de bolsas, separadores y guantes, según afirma (Jubedi, 2022).

PP

De acuerdo con lo que plantea (Ivana, 2022). El PP es un material termoplástico semicristalino que es fabricado mediante la polimerización catalítica del propeno, estos son caracterizados como plásticos estándar debido a su uso universal y por sus propiedades

equilibradas que a su vez presentan excelente resistencia química, baja absorción de agua, gran pureza y buenas propiedades de aislamiento eléctrico, cabe destacar que es ligero, se puede soldar y es utilizado para la fabricación de tapas de botellas.

PS

Según (Henar, 2023). Los PS ocupan la cuarta posición de plásticos que más se consumen por detrás del polietileno, polipropileno y el PVC, existen cuatro tipos, de los cuales se mencionan: el cristal, que es transparente, rígido y se pueden encontrar en las cajas de los discos compactos; de alto impacto; extrusionado o extruidos y expandido. Lo podemos encontrar albergando hamburguesas compradas o bandejas de productos alimentarios frescos, también como aislante, y su reciclaje es posible, pero difícil, se utilizan para la fabricación de vasos, recipientes para alimentos y aislantes.

PVC

El término V o PVC, hacen referencia a ese tipo de plástico más versátil que se emplea para la fabricación de mangueras, juguetes infantiles, pieles sintéticas, tarjetas de crédito, tuberías o en el interior de los automóviles, es muy complejo de reciclar, según afirma Henar, (2023).

2.3 Pirólisis

Según (Jiménez, 2022). La pirólisis es considerada como aquel proceso que se produce mediante la degradación de la biomasa por medio del efecto del calor que en ausencia del oxígeno se degrada térmicamente la materia, es decir, es un proceso que ocurre en una atmósfera completamente inerte. El resultado o el producto que se obtiene mediante éste proceso pueden ser sólidos, así como también líquidos y gaseosos, estos corresponden a productos como el carbón, los alquitranes y por último y no menos importantes, los productos gaseosos o el vapor piroleñosos como también se les conoce comúnmente. El proceso de pirólisis se presenta en la naturaleza de forma individual o en un conjunto de procesos de combustión o de gasificación.

2.3.1 Clasificación

Por otra parte Briceño (2018), Existen diferentes dos diferentes tipos de pirólisis dependiendo de las condiciones físicas en las que se realice:

Pirólisis acuosa: este término es utilizado cuando se necesita denominar la termólisis que se da en presencia de agua, como por ejemplo como el craqueo por vapor de agua del petróleo o la despolimerización térmica de los residuos orgánicos en crudo pesado.

Pirólisis al vacío: este tipo de pirólisis al vacío implica que el material orgánico se caliente en el vacío para lograr reducir el punto de ebullición y evitar reacciones químicas desfavorables. Briceño (2018)

2.3.2 Importancia

La pirólisis es muy importante porque se encarga de facilitar el control de contaminación del aire con respecto a la incineración. Ayuda, además, a reducir el volumen de basura que entra y la producción de residuo estéril, lo que aumenta la vida y mejora la calidad de los rellenos sanitarios en relación a la basura no tratada. Y, por último, es además un método que sirve para convertir una parte de los desechos en combustible almacenable y transportable. Briceño (2018)

2.3.3 Ejemplos

Pirólisis de biomasa: con esta pirólisis se pueden llegar a obtener combustible a partir de la borra de café, compuestos fenológicos antioxidantes, polifenoles de la caña de azúcar.

Pirólisis de alcanos: este caso también se conoce con el nombre de cracking o desintegración, el cual puede ser térmico, catalítico y por medio de tratamiento con hidrógeno.

Pirólisis del petróleo: en el caso del petróleo los alcanos son sometidos a altas temperaturas produciendo hidrocarburos .

Pirólisis de plásticos: por medio de este proceso en el cual el calor ayuda a descomponer en gas los materiales, se ha logrado descomponer el plástico en sus elementos

básicos. Los gases obtenidos pueden inyectarse de forma directa en motores para la producción de energía lo que genera reducción de la contaminación por plásticos puesto que se pueden usar como materia prima de este proceso. Briceño (2018)

Pirólisis de la madera: es la descomposición de la madera por el calentamiento de hasta 450° C sin que exista un acceso del aire con la formación de los productos gaseosos y líquidos así como del residuo sólido, que es carbón vegetal. Briceño (2018)

2.3.4 Calidad de los productos

Para (Ramos, 2020) La calidad de los combustibles líquidos se determina mediante el estudio de sus propiedades fisicoquímicas, por lo que se realizan ensayos de laboratorio para establecer el valor de dichas propiedades. Asimismo, para que un combustible pueda ser comercializado, tiene que cumplir la especificación técnica establecida por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), es decir, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, tienen que encontrarse dentro de un rango de valores establecidos, asimismo el análisis de las propiedades mencionadas tiene que ser realizadas mediante métodos estandarizados.

2.3.5 Impacto ambiental

(Bercero, 2021), sostiene que, Los resultados sugieren que el reciclaje químico a través de la pirólisis tiene un impacto del cambio climático un 50% menor y el uso de energía del ciclo de vida que la opción de recuperación de energía. El impacto del cambio climático y el uso de energía de la pirólisis y el reciclaje mecánico del MPW son similares si se tiene en cuenta la calidad del reciclado.

Además, el MPW reciclado por pirólisis tiene un impacto en el cambio climático significativamente menor (0,45 vs 1,89 t de CO₂ eq./t de plástico) que el equivalente hecho de recursos fósiles vírgenes. Sin embargo, la pirólisis tiene otros impactos significativamente mayores que el reciclaje mecánico, la recuperación de energía y la producción de plásticos vírgenes. (Bercero, 2021)

Los análisis de sensibilidad muestran que algunos supuestos tienen efectos notables en los resultados, incluida la región geográfica y su combinación energética, la eficiencia de conversión de carbono de la pirólisis y la calidad del reciclado. Estos resultados serán

de interés para las industrias química, plástica y de residuos, así como para los responsables políticos. (Bercero, 2021)

2.3.6 Rentabilidad económica

Tal y como sostiene (Themoney, 2023) La planta de pirólisis es muy rentable. Porque los productos obtenidos de la planta de pirólisis incluyen principalmente aceite de pirólisis, negro de humo y alambre de acero, que no solo son versátiles sino que también tienen un amplio mercado. Puede hacerte obtener altas ganancias.

Puede convertir estos plásticos de desecho en recursos útiles, como aceite combustible, negro de carbón, los cuales tienen un buen mercado de venta y una amplia aplicación.. El principal producto generado por la planta de pirólisis de residuos plásticos es el fuel oil, que se usa ampliamente como combustible para fábricas de hierro, centrales eléctricas, fábricas de cemento, restaurantes, etc. (Themoney, 2023)

Una vez que el plástico se convierte en petróleo o nafta, puede usarse como materia prima para otros productos químicos o separarse en monómeros, solventes especiales u otros productos.. Los combustibles limpios derivados de los residuos poliolefínicos generados cada año pueden satisfacer el 4% de la demanda anual de gasolinas o gasóleos. (Themoney, 2023)

2.4 Mezclas de Hidrocarburos

Para (M. Crotti, inlab, 2021) Generalmente las mezclas de hidrocarburos (Gas y/o Petróleo) se describen por medio de algunas propiedades características. Algunas de estas propiedades (densidad, viscosidad, capacidad calorífica, contenido de sales, etc) representan valores medios del sistema y suelen emplearse para darle valor comercial a la mezcla. Otras propiedades se emplean para evaluar el comportamiento de la mezcla en diferentes condiciones. Entre estas últimas, la composición suele ser la propiedad más importante del sistema. El interés de conocer la composición detallada de una mezcla de hidrocarburos reside en que muchas propiedades globales resultan aditivas, de modo que pueden evaluarse adecuadamente conociendo las propiedades de los componentes individuales y su proporción dentro de la mezcla.

2.4.1 Composición de mezclas de hidrocarburos a presión atmosférica

Teniendo en cuenta a (M. Crotti, 2021) Generalmente las mezclas de hidrocarburos (Gas y/o Petróleo) se describen por medio de algunas propiedades características. Algunas de estas propiedades (densidad, viscosidad, capacidad calorífica, contenido de sales, etc) representan valores medios del sistema y suelen emplearse para darle valor comercial a la mezcla. Otras propiedades se emplean para evaluar el comportamiento de la mezcla en diferentes condiciones. Entre estas últimas, la composición suele ser la propiedad más importante del sistema. El interés de conocer la composición detallada de una mezcla de hidrocarburos reside en que muchas propiedades globales resultan aditivas, de modo que pueden evaluarse adecuadamente conociendo las propiedades de los componentes individuales y su proporción dentro de la mezcla.

Por esta razón, salvo cuando algunos componentes presentan un interés particular (CO₂, BTEX, etc), la composición de detalle de una mezcla de hidrocarburos se emplea sólo como herramienta de cálculo para estimar otras propiedades de interés directo.

2.4.2 Composición química

Como señala (Arteaga, 2020) Los hidrocarburos son los compuestos orgánicos más sencillos. Hay hidrocarburos de muchos tipos, con fórmulas químicas diversas. Químicamente se dividen en tres familias: los alcanos –hidrocarburos saturados parafínicos– de cadena lineal; los naftenos –hidrocarburos de naturaleza cíclica–, y los hidrocarburos aromáticos. El poder calorífico equivale a unas 10.000 Kcal/kg.

La base atómica de los hidrocarburos es el carbono (C) y el hidrógeno (H), igual que muchos de los compuestos elementales de los organismos como los hidratos de carbono o los ácidos grasos, cosa que explica su origen orgánico. (Arteaga, 2020)

2.4.3 Propiedades físicas

Teniendo en cuenta a (Álvarez D. O., 2021) Su punto de ebullición aumenta a medida que aumenta el tamaño del hidrocarburo (la cantidad de átomos de carbono), aunque también influye la geometría molecular de estas moléculas. Esto se debe a que las fuerzas intermoleculares son mayores cuando la molécula es más grande. Por ejemplo, el

punto de ebullición del butano (C_4H_{10}) es $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ mientras que el punto de ebullición del nonano (C_9H_{20}) es $150,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Su densidad también aumenta cuando la molécula es de mayor tamaño. Ibid

Son insolubles en agua. Esto se debe a que son sustancias apolares, es decir, que las densidades de cargas eléctricas en las distintas regiones de cada molécula se anulan. Por otra parte, el agua es una molécula polar, y en química se suele usar la frase: semejante disuelve lo semejante. (Álvarez D. O., 2021)

2.4.4 Emisiones de contaminantes

Como expresa (Canarias, 2023) La emisión de hidrocarburos proviene de una variedad de fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Entre estas últimas, los vehículos son los más importantes seguidos de los disolventes y las industrias de petróleo, alimentación y química orgánica. También son emitidos por fuentes estacionarias que utilizan gas natural, carbón o gasóleo para su funcionamiento, en las refinerías de petróleo. Otras fuentes de emisión son las quemas agrícolas, surtidores de gasolina, incendios forestales y ganado.

2.4.5 Estabilidad

Desde la posición de (O.Flores, 2023) Los combustibles pesados (gasolina, petróleo, aceite) son mezclas químicas complejas que contienen componentes de alto peso molecular conocidos como asfaltenos.

Los asfaltenos tienen una fuerte tendencia a flocular, lo cual provoca la formación de sedimentos en el combustible, así mismo estos componentes han sido también reconocidos como los causantes del ensuciamiento en diferentes maquinarias tales como los intercambiadores de calor y quemadores, ambos usados comúnmente en las refinerías. (O.Flores, 2023)

Ahora bien, los combustibles pesados se presentan cada vez más inestables debido a la decreciente calidad de aceites y crudos y también debido a los procesamientos de refinería, que cada día son más severos. Entonces, con el propósito de superar los problemas de estabilidad ya mencionados, y que se presentan como resultado de la

floculación y la sedimentación de los asfaltenos, se han usado diferentes aditivos químicos, los cuales han mejorado significativamente la calidad de los combustibles pesados. Por lo tanto, es necesario contar con una técnica que pueda medir correctamente la estabilidad de esos combustibles y que pueda identificar el aditivo más conveniente para superar los problemas de estabilidad. Escogiendo el aditivo y la dosis apropiada, los combustibles que muestran problemas de estabilidad pueden mejorar y entonces se le podría ofrecer una buena calidad de combustible al usuario final. (O.Flores, 2023)

2.4.6 Rentabilidad económica

Como señala (Tosoni, 2023) El nivel de empleo del sector hidrocarburos, aunque relativamente reducido pero de mayor productividad, contribuye a la generación de valor agregado de toda la economía. El desempeño financiero de la empresa ayuda a incrementar los niveles de endeudamiento interno y externo de la economía. De menor importancia serían los impactos sobre el sistema financiero, asociados a sus disponibilidades o excedentes de liquidez. Aunque no estrictamente económicas, De la Vega (2005:15) agregaría vinculaciones con otras esferas como la científica y tecnológica y las políticas ambientales, aunque no son propiamente macroeconómicas.

2.5 Impacto socioeconómico

(Cecchini, 2019) plantea que, esta dimensión del sistema de indicadores intenta reflejar el impacto que las actividades basadas en el conocimiento tienen sobre el desarrollo de la sociedad y la economía. Para ello se utilizan indicadores generales del progreso económico y social de los países y regiones. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos indicadores también se ven influidos por otros muchos factores, por lo que no es posible identificar una relación causa-efecto directa entre ellos y el grado de utilización del conocimiento.

2.5.1 Generación de empleo

Según (OIT, 2021) La implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos tiene el potencial de generar empleos tanto directos como indirectos. Los empleos directos se relacionan con la operación y

mantenimiento de las instalaciones de pirólisis, así como con la gestión y supervisión de los procesos de recolección y clasificación de los residuos plásticos.

Por otro lado, los empleos indirectos se derivan de la cadena de suministro y las actividades económicas asociadas, como la fabricación y venta de equipos de pirólisis, la logística de transporte de los residuos y la comercialización de los productos obtenidos de la pirólisis. (OIT, 2021)

El aumento en la generación de empleo contribuye al desarrollo socioeconómico al proporcionar oportunidades de trabajo, mejorar la calidad de vida de los individuos y reducir la tasa de desempleo en una determinada región o comunidad. Además, la generación de empleo puede fomentar la capacitación y el desarrollo de habilidades, lo que a su vez puede tener un efecto positivo en la empleabilidad y el crecimiento profesional de las personas involucradas en la industria de la pirólisis. (OIT, 2021)

2.5.2 Creación de oportunidades económicas:

Para (Mancheno, 2022) la implementación de tecnologías de pirólisis crea oportunidades económicas en diversos aspectos. En primer lugar, fomenta la aparición de nuevos sectores empresariales y emprendimientos relacionados con la pirólisis, como empresas dedicadas a la recolección y procesamiento de residuos plásticos, fabricación y venta de equipos de pirólisis, y comercialización de los productos obtenidos de la pirólisis, como combustibles, productos químicos o materiales reciclados.

Además, la creación de oportunidades económicas se relaciona con la demanda de servicios de logística y transporte de los residuos plásticos hacia las instalaciones de pirólisis, lo que puede impulsar el sector de transporte y logística. Asimismo, el aumento de la inversión en tecnologías de pirólisis puede generar un efecto multiplicador en la economía local, estimulando la demanda de insumos y servicios relacionados con la pirólisis, y beneficiando a proveedores y otras empresas involucradas en la cadena de valor. (Mancheno, 2022)

2.5.3 Reducción de la dependencia de recursos no renovables

La implementación de tecnologías de pirólisis permite reducir la dependencia de recursos no renovables al aprovechar los residuos plásticos como materia prima. Los plásticos son derivados principalmente del petróleo, un recurso no renovable y altamente

contaminante en su proceso de extracción y refinamiento. Al utilizar la pirólisis para descomponer los plásticos en sus componentes básicos, como combustibles líquidos o gases, se evita la necesidad de extraer y consumir más recursos no renovables. (Mancheno, 2022)

Esta reducción en la dependencia de recursos no renovables es relevante desde el punto de vista de la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente. Contribuye a la transición hacia una economía más circular y sostenible, al promover la reutilización y el aprovechamiento de los recursos existentes en lugar de depender únicamente de recursos no renovables. Además, al reducir la extracción y el consumo de recursos no renovables, se minimiza el impacto ambiental asociado, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire, agua y suelos. (Mancheno, 2022)

2.5.4 Impacto en el desarrollo económico local

Tal y como sostiene (OIT, 2021) La implementación de tecnologías de pirólisis puede tener un impacto significativo en el desarrollo económico local. Al promover el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos a través de la pirólisis, se fomenta la creación de una industria sostenible en la región, lo que puede generar un crecimiento económico sostenible a largo plazo.

La presencia de instalaciones de pirólisis en una determinada área puede atraer inversiones y generar un efecto de arrastre en otros sectores relacionados, como la construcción, el transporte y los servicios auxiliares. Esto puede resultar en la creación de empleo local, el aumento de la demanda de servicios y bienes locales, y el fortalecimiento de la economía regional. (OIT, 2021)

Además, el desarrollo de la industria de pirólisis puede impulsar la innovación tecnológica y la investigación científica en la región, generando oportunidades para la colaboración entre empresas, instituciones académicas y centros de investigación. Esto puede contribuir al avance tecnológico, la adquisición de conocimientos especializados y la mejora de la competitividad de la región en el contexto global. (OIT, 2021)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.0 Introducción

Este estudio estuvo basado en los principios del Reglamento de Trabajo de Post Grado de la UTECO, donde están plasmado todo lo relacionado al diseño metodológico. Con diseño se refiere al plan que se lleva a cabo para obtener los datos requeridos para la investigación, así como la manera en que fueron analizados (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014). Iniciando con el diseño metodológico para seguir con la descripción de las técnicas e instrumentos de investigación y las variables. Por último, se exponen a grandes rasgos los diferentes procedimientos que se realizaron en el proceso de la investigación.

3.1 Diseño y tipo de investigación (enfoque, tipo y método)

En esta investigación, se pretendió explicar los resultados obtenidos para comprobar las hipótesis planteadas con antelación. Los datos de la misma se expresaron en forma numéricas o cantidades, por lo que, su recolección se realizó a través de la medición. Al final del estudio se procedió una interpretación, la cual constituye una explicación de los resultados ajustado con el conocimiento previo.

3.1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque principal de la investigación cuantitativa está centrada en las mediciones numéricas que respaldan el proceso de investigación, la observación del proceso es la base y se usa en forma de recopilación de datos y análisis para responder las preguntas presentadas según afirma Armadas (2018). Este enfoque tiene como objetivo analizar todas las variables con el apoyo del laboratorio para obtener valores numéricos para proponer el proceso de pirólisis como método para el reciclaje de plásticos en beneficio del desarrollo sostenible del Municipio de Cotuí. Este enfoque está respaldado por herramientas que generan datos estadísticos, donde se formularon los objetivos, derivan hipótesis, se

seleccionan las variables del proceso, y se comparan hipótesis con la ayuda de un proceso informático.

El enfoque de esta investigación se centra en el análisis de las diferentes variables involucradas en el proceso de pirólisis, como la temperatura de operación, el tipo de reactor utilizado, el tiempo de residencia, el catalizador y la composición química de los residuos plásticos. También se estudiarán los productos de pirólisis generados y se analizarán las propiedades y características de estos productos.

3.1.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de carácter experimental, enmarcada dentro de la metodología cuantitativa y orientada hacia la investigación aplicada. La investigación aplicada tiene como objetivo principal la aplicación práctica de conocimientos existentes para resolver problemas o mejorar soluciones específicas. En este caso, el objetivo es diseñar un prototipo a pequeña escala de una máquina de pirólisis con el propósito de aprovechar y reciclar residuos plásticos, contribuyendo así a la calidad ambiental, al desarrollo sostenible y a la Agenda 2030. La metodología empleada se centra en la aplicación de principios científicos y técnicos para el desarrollo de un prototipo funcional, así como en la evaluación de su viabilidad y eficacia en términos de reciclaje de residuos plásticos y su impacto en la mejora ambiental según afirma Sampieri et al (2014).

En ese mismo orden, en relación al enfoque de la investigación, se llevó a cabo tanto una investigación documental como una investigación de campo, siguiendo la propuesta de Sampieri et al (2014). La investigación documental se basa en la recopilación y análisis de información escrita y grabada, utilizando fuentes bibliográficas como base. Por otro lado, de acuerdo con Santa Palella y Feliberto Martins (2019), la investigación de campo se caracteriza por la recopilación directa de datos de la realidad, sin manipulación de variables, y se enfoca en el estudio de fenómenos sociales en su entorno natural.

3.1.3 Método de investigación

Según Vargas (2012), "un método es una serie de pasos sucesivos que conducen a una meta". En este estudio se utilizaron los siguientes procedimientos metodológicos: inductivo, deductivo y analítico.

El método de esta investigación involucra varios pasos y técnicas, que incluyen: revisión bibliográfica, diseño experimental, identificación y selección de residuos plásticos, pretratamiento de los residuos plásticos, realización del proceso de pirólisis, análisis de los productos obtenidos, evaluación del impacto ambiental y económico. En resumen, el método de investigación del proceso de pirólisis como método de reciclaje de residuos plásticos en beneficio del desarrollo sostenible involucra una investigación exhaustiva y cuidadosa, así como la realización de experimentos y análisis para evaluar su efectividad y evaluar su impacto en el medio ambiente y la economía.

3.1.4 Ensayos para la determinación de las variables del proceso

Estos ensayos tuvieron como objetivo identificar y medir las diferentes variables que afectan al proceso en estudio. Para ello, se llevó a cabo pruebas y mediciones sistemáticas con el fin de recopilar datos relevantes y obtener información precisa sobre las variables involucradas.

Durante los ensayos, se manipularon de manera controlada y deliberada las diferentes variables para evaluar su efecto en el proceso. Se utilizaron técnicas y herramientas específicas para medir y registrar los resultados obtenidos. Esto permitió analizar y comprender cómo las variables influyen en el comportamiento del proceso, así como determinar los valores óptimos o los rangos aceptables para cada una de ellas.

Se llevó a cabo la adecuación del reactor a pequeña escala para la realización del proceso de pirólisis de los plásticos recolectados, además, se realizó la construcción del equipo auxiliar para la recolección de productos. Se construyó un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis, con un medidor y controlador de temperatura, ya que el reactor será calentando térmicamente, para el enfriamiento y colección de los productos de la pirólisis, se utilizó un condensador de plástico acoplado por un extremo a la salida del reactor, y por el otro, un recolector con salida lateral.

3.1.5 Tratamiento y análisis de los productos obtenidos

Una vez obtenidos los productos a través del proceso en estudio, se procedió al tratamiento y análisis de los mismos. Este proceso tiene como objetivo evaluar las características, propiedades y calidad de los productos obtenidos, así como determinar su viabilidad y potencial aplicación.

El tratamiento de los productos implica la realización de técnicas específicas para su purificación, separación o refinamiento, según sea necesario. Esto puede incluir procesos de filtración, destilación, extracción, entre otros, con el fin de eliminar impurezas o mejorar sus propiedades físicas y químicas.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los productos tratados. Esto implica la utilización de técnicas y métodos de análisis adecuados, como espectroscopía infrarroja, caracterizador de combustibles, ensayos físicos y químicos, entre otros, para determinar la composición química, estructura molecular y características físicas de los productos. Asimismo, se evaluarán sus propiedades funcionales y posibles aplicaciones.

Productos Líquidos

Para el tratamiento de los productos líquidos obtenidos mediante la pirólisis de residuos plásticos, se utilizó un sistema compuesto por varios elementos. Estos elementos incluyen un envase para el registro de temperatura, un condensador, un recolector y una fuente de calor.

En primer lugar, el producto líquido se recolectó en un envase adecuado que permitió realizar el registro de la temperatura durante el proceso. Esto es importante para monitorizar y controlar las condiciones de destilación.

A continuación, se empleó un condensador para enfriar el vapor generado a partir de la destilación. El condensador facilita la condensación del vapor, transformándolo nuevamente en líquido y permitiendo su recolección de manera más precisa.

El recolector se utilizó para almacenar y medir con precisión la cantidad de producto líquido obtenido. Este recipiente graduado es especialmente útil para determinar volúmenes exactos y realizar mediciones cuantitativas durante el proceso de destilación.

Por último, se utilizó una fuente de calor para proporcionar la energía necesaria durante el proceso de destilación. La fuente de calor aplicada al sistema permitió el calentamiento del producto líquido, lo cual generó el vapor que posteriormente se condensa.

La metodología de investigación experimental para desarrollar un prototipo de máquina de pirólisis a pequeña escala, destinado al reciclaje de residuos plásticos en beneficio del desarrollo sostenible, se puede dividir en las siguientes etapas:

1. Diseño y construcción de la máquina a pequeña escala de pirólisis: Se diseñó y construyó un prototipo de máquina a pequeña escala de pirólisis con materiales disponibles y de bajo costo (tanque de gas), utilizando planos y diagramas técnicos para asegurar la seguridad y eficiencia del proceso.
2. Obtención de la muestra de residuos plásticos: Se recolectó una muestra representativa de residuos plásticos de diferentes tipos y se clasificó según su composición química y características físicas.
3. Preparación de la muestra de residuos plásticos: La muestra de residuos plásticos se trituraron y se clasificaron según su tamaño de partícula. Luego se secó a una temperatura adecuada para eliminar la humedad y se almacenó en un lugar seco hasta su uso.
4. Experimentación de un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis: Se llevó a cabo la experimentación de la máquina a pequeña escala de pirólisis utilizando la muestra de residuos plásticos preparada. Se midieron y registraron las variables importantes, como la temperatura, el tiempo de procesamiento y las propiedades físicas y químicas de los productos obtenidos.
5. Análisis y caracterización de los productos obtenidos: Se analizaron y caracterizaron los productos obtenidos a través de técnicas analíticas como la espectroscopía infrarroja, y caracterizador de combustible. Se evaluaron la calidad de los productos obtenidos y se compararon con los estándares de la industria o norma existente del combustible.
6. Análisis de datos y presentación de resultados: Se analizaron los datos obtenidos de la experimentación y se presentaron en tablas, gráficos y diagramas. Se

interpretaron los resultados y se realizaron conclusiones sobre la eficiencia y viabilidad de la máquina a pequeña escala de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos en beneficio del desarrollo sostenible.

7. Conclusiones y recomendaciones: Se presentaron las conclusiones y recomendaciones para mejorar la eficiencia de la máquina a pequeña escala de pirólisis y su aplicación en la industria del reciclaje de residuos plásticos para el beneficio del desarrollo sostenible.

3.2 Población, muestra y muestreo (criterios de inclusión y exclusión)

Población objetivo: La población objetivo de estudio consiste en 356 habitantes de la comunidad de Cotuí, distribuidos en diferentes zonas, incluyendo Libertad, La Altagracia, El Hato y Los Tocones y 13 magíster en Química y áreas afines.

Muestra: Se planea tomar una muestra de 186 personas de la comunidad de Cotuí, utilizando un enfoque de muestreo aleatorio simple y estratificado. Además, se incluyeron a 13 Magister del área de Química y áreas afines en el estudio.

Identificación de puntos de muestreo: Se realizó un recorrido por el Municipio de Cotuí para identificar los puntos de muestreo, los cuales se designaron como punto A (Libertad), punto B (La Altagracia), punto C (El Hato) y punto D (Los Tocones).

Recolección y análisis de muestras: Las muestras de residuos plásticos fueron recolectadas en los puntos de muestreo definidos. Luego, se entregaron a Aduanas Laboratorios para su análisis, siguiendo las directrices de las normas aplicables a la caracterización de combustibles.

Procedimiento para extraer la muestra de los habitantes de la comunidad de Cotuí.

La fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra fue la planteada por Fisher y Navarro para poblaciones finitas.

$$n = \frac{Z^2 pq N}{e^2 N + Z^2 pq}$$

Sus elementos son:	Valores
n = Es el tamaño de la muestra	n = ?
z = Nivel de confianza	z = 1.96
p = Variabilidad positiva	p = 0.5
q = Variabilidad negativa	q = 0.5
N = Tamaño de la población	N = 356
e = Precisión del error permitido	e = 0.05

$$n = \frac{Z^2 pq N}{e^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)(356)}{(0.05)^2 (356 - 1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{(3.8416)(89)}{(0.0025)(355) + (3.8025)(0.25)}$$

$$n = \frac{341.9024}{(0.8875) + (0.9506)}$$

$$n = \frac{341.9024}{1.8381}$$

$$n = 186$$

Criterios de inclusión:

Los criterios de inclusión de la presente investigación implican la recolección de residuos plásticos generados en el Municipio de Cotuí, limitándose a tres tipos de plásticos debido a motivos económicos. Los tipos de plásticos seleccionados son el Polietileno (PE), el Polipropileno (PP) y el Poliestireno (PS).

Tipo de plástico: Se incluyeron únicamente los residuos plásticos compuestos por Polietileno, Polipropileno y Poliestireno.

Origen: Los residuos plásticos recolectados deben provenir exclusivamente del Municipio de Cotuí.

Estado de los residuos: Se aceptaron los residuos plásticos en cualquier condición, ya sea limpios, sucios o fragmentados, siempre y cuando sean identificables como Polietileno, Polipropileno y Poliestireno.

Criterios de exclusión:

Residuos plásticos que contengan sustancias tóxicas o peligrosas, residuos plásticos que estén mezclados con otros materiales, como vidrio o metal, residuos plásticos que no estén disponibles para su recolección y análisis en el momento de la investigación, residuos plásticos que ya hayan sido procesados por pirólisis o por otro método de reciclaje.

Polietileno de baja densidad (LDPE), Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad lineal (LLDPE), Poliuretano (PU), Policloruro de vinilo (PVC), Polimetilmetacrilato (PMMA o acrílico), Polietileno tereftalato (PET), Poliamida (PA o nylon), Policarbonato (PC), Polipropileno copolímero random (PPR), Poli(cloruro de vinilideno) (PVDF), Poli(tereftalato de butileno) (PBT), Poli(cloruro de vinilo) clorado (CPVC), Poli(etileno-clorotrifluoroetileno) (ECTFE), Poli(etileno-propileno-dieno) (EPDM), Poli(cloruro de vinilideno) clorado (CTFE), Poli(sulfuro de fenileno) (PPS) .

3.3 Técnica y recolección de datos (instrumentación)

Las técnicas cuantitativas utilizadas en la presente investigación estuvieron enfocadas en la recolección de datos obtenidos mediante la experimentación, la cual permitió realizar un análisis estadístico de registro de datos, ficha bibliográfica, ficha de

contenido, ficha de registro de observación, análisis de documentos, pruebas y bitácora de trabajo, pruebas secundarias de datos y fuentes de datos de archivo, las cuales fueron herramientas útiles para organizar, describir y analizar los datos recogidos con el instrumento de investigación; una vez recopilados, estos se procesaron y se tabularon. (Sampieri & F, 2014)

La técnica de recolección de datos en la investigación del proceso de pirólisis como método de reciclaje de residuos plásticos en beneficio del desarrollo sostenible puede incluir varias etapas, entre las cuales se encuentran: Identificación de los sitios de recolección de residuos plásticos, diseño de la hoja de registro de datos, recolección de los residuos plásticos, registro de datos en la hoja de registro, transporte y almacenamiento de los residuos plásticos, análisis de los residuos plásticos, procesamiento de los residuos plásticos por pirólisis.

Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en el estudio para la recolección de los datos, fueron dos cuestionarios; uno para los habitantes del Municipio de Cotuí y otro dirigido a la comunidad científica, los cuales estuvieron compuesto por 30 preguntas cerradas, relacionadas con los objetivos, variables e indicadores de la investigación.

Para la ejecución de esta investigación se requiso realizar modificaciones intencionales a las variables operativas de Pirólisis: innovación, reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos para la calidad ambiental sostenible en el marco de la agenda 2030, para determinar las condiciones del proceso más adecuadas. Por sus características de investigación, se hizo necesario el uso de un laboratorio para analizar los productos de las mezclas resultantes para un mejor control del proceso en estudio.

Analizar la literatura para determinar el estado técnico relacionado con la pirólisis de residuos plásticos, así como recuperar de manera eficiente información sobre métodos libres de errores de medición de las variables del proceso. El enfoque de sistemas estructural-funcional para modelar el proceso estudiado y determinar las mejores

condiciones para realizar un estudio experimental, así como para procesar los datos recopilados en el estudio.

El método causal puede establecer, con el enfoque del sistema estructural-funcional, las condiciones para el desarrollo de la investigación experimental. Medición, que ayuda a cuantificar las variables del proceso y luego de analizar los valores antes mencionados para llegar a una conclusión.

Se hizo necesario fabricar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis, reactores de recipiente cerrado y recolección de residuos plásticos, las informaciones obtenidas se recopilaron y fueron procesadas con el sistema informático SPSS y los datos se presentaron mediante cuadros de frecuencia y porcentaje.

Validación de los instrumentos

Para la validación de los 2 cuestionarios se sometieron a la consideración de especialistas en investigación científica y al jurado examinador, quienes están facultados para hacer las sugerencias y recomendaciones, que consideren pertinentes.

Método:

Selección de la muestra: Se seleccionaron una muestra representativa de la población objetivo, que puede incluir investigadores, expertos en medio ambiente, profesionales del sector industrial, académicos y otros actores relevantes en el campo de estudio.

Procedimiento de recolección de datos: Se utilizaron el instrumento de evaluación diseñado, que consistió en un cuestionario estructurado que aborda diferentes dimensiones, tales como conocimiento sobre la pirólisis, innovación y reciclaje de residuos plásticos, actitudes hacia la sostenibilidad ambiental y prácticas relacionadas con la gestión de residuos plásticos.

Análisis de datos: Se llevó a cabo un análisis estadístico de los datos recolectados para evaluar la confiabilidad y validez del instrumento. Esto incluyó el cálculo del sistema informático SPSS.

3.4 validez y confiabilidad

Después de realizar la recolección de las muestras por los técnicos-químicos de Aduanas Laboratorios, siguiendo el protocolo establecido por los mismos (Aduanas Laboratorios), quienes con su equipo de caracterización de combustibles analizaron las muestras, facilitando resultados confiables, que luego fueron presentados en gráficos, proporcionando datos cuantitativos que se plasmaron de acuerdo al nivel en el que se encuentran y haciendo comparación con los productos de hidrocarburos provenientes del petróleo.

A sus efectos, es una investigación aplicable, ya que se pretende contribuir con una solución práctica al problema de contaminación por residuos plásticos.

La confiabilidad de esta investigación sostiene un factor crítico para la producción eficiente y sostenible de productos de pirólisis, en donde la materia prima, la tecnología utilizada, el control de los procesos y la habilidad del personal involucrado promueven la calidad y consistencia a presencia de impurezas o contaminantes que pueden afectar la calidad y pureza de los productos finales.

Por lo tanto, el control del proceso es esencial para garantizar la confiabilidad del proceso de pirólisis, los parámetros críticos como la temperatura del reactor, la presión del sistema y el tiempo de residencia, serán monitoreados y ajustados continuamente para garantizar la producción óptima de productos de pirólisis.

3.5 Procedimientos

Los procedimientos se pueden sintetizar en los siguientes pasos:

1. Selección del tema.

2. Elaboración del diseño del estudio. En esta ocasión se enlistaron las diferentes secciones de la investigación y se utilizó la técnica de “tormenta de ideas” para ir elaborando el problema, objetivos y las demás partes del estudio.
3. Elaboración del Marco Teórico.
4. Diseño de la metodología, selección de las técnicas de recogida de datos y elaboración de los instrumentos de investigación.
5. Recolección de datos
6. Análisis de datos y propuestas de conclusiones individuales.
7. Para la presentación del reporte.

3.6 Análisis de los datos

Para analizar los datos de esta investigación científica, se pueden utilizar diversas herramientas estadísticas y gráficas. Algunos de los análisis que se pueden realizar incluyen:

Análisis de varianza (ANOVA): Este análisis puede ser utilizado para comparar las diferencias en la calidad y cantidad de los productos de pirólisis en diferentes condiciones de proceso, como la temperatura y el tiempo de residencia.

Gráficas de control: Estas gráficas permiten monitorear y controlar el proceso de pirólisis, identificando cualquier variabilidad o tendencia que pueda afectar la calidad del producto final.

Análisis de correlación: Este análisis puede ser utilizado para identificar relaciones entre variables, como la relación entre la temperatura de la reacción y la calidad de los productos de pirólisis.

Análisis de regresión: Este análisis se utiliza para determinar la relación entre una variable independiente, como la temperatura de la reacción, y una variable dependiente, como la cantidad de productos de pirólisis producidos.

Análisis de componentes principales (PCA): Este análisis se utiliza para identificar patrones en los datos, como la relación entre diferentes componentes de los productos de pirólisis y las condiciones de proceso.

En general, el análisis de los datos de esta investigación científica se enfocará en identificar las condiciones óptimas para producir productos de pirólisis de alta calidad y pureza, maximizando la eficiencia y minimizando la generación de productos secundarios o deseados.

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

4.0 Introducción

En este capítulo se presentarán los resultados finales obtenidos a través de todo el estudio, realizado para diseñar un prototipo a pequeña escala de máquina de pirólisis para el aprovechamiento y reciclaje de residuos plásticos en beneficio de la calidad ambiental en el marco del desarrollo sostenible, Agenda 2030. Los mismos se presentaran en tablas de frecuencia y por ciento de acuerdo a las variables e indicadores ya vistos en la investigación.

4.1 Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible según los habitantes del Municipio de Cotuí.

Cuadro N° 1. Distribución de frecuencia y por ciento en relación a que sí, a los habitantes del Municipio de Cotuí están familiarizado con el concepto de pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Por ciento %
5 Muy familiarizado/a	3	1.6
4 Algo familiarizado/a	7	3.7
3 Poco familiarizado/a	27	14.6
2 No familiarizado	125	67.2
1 No estoy seguro/a	24	12.9
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 1. Se observa que la mayoría el 67.2% indicó no estar familiarizado/a con el concepto. Mientras tanto, el 14.6% está poco familiarizados, el 12.9% no está seguro/a, el 3.7% está algo familiarizados y solo el 1.6% está muy familiarizados.

Cuadro N° 2. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología innovadora en la gestión de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, definitivamente	52	27.9
4 Sí, en cierta medida	50	26.8
3 No, no lo creo	41	22.0
2 Quizás	16	8.7
1 No estoy seguro/a	27	14.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 2. El 27.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó sí, definitivamente consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología innovadora en la gestión de residuos, mientras que el 26.8% contestó que sí, en cierta medida, el 22% no, no lo cree, el 14.6% no está seguro/a y el 8.7% quizás.

Cuadro N° 3. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que si, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la máquina de pirólisis contribuye al reciclaje efectivo de los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, de manera significativa	46	24.8
4 Sí, en cierta medida	56	30.1
3 No, no lo creo	13	6.9
2 Quizás	48	25.9
1 No estoy seguro/a	23	12.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 3. El 30.1% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que creen que la máquina de pirólisis contribuye al reciclaje efectivo de los residuos plásticos, el 25.9% contestó que quizás, el 24.8% sí, de manera significativa el 12.3% no está seguro/a, mientras que el 6.9% no, no lo cree.

Cuadro N° 4. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que es uno de los principales beneficios de utilizar una máquina de pirólisis para el aprovechamiento de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Conversión de residuos plásticos en productos de valor agregado	26	14.0
4 Reducción de la producción de residuos plásticos en general	28	15.1
3 Eliminación completa de residuos plásticos	38	20.4
2 No lo sé	52	27.9
1 No estoy seguro/a	42	22.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 4. El 27.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que creen que es uno de los principales beneficios de utilizar una máquina de pirólisis para el aprovechamiento de residuos plásticos, el 22.6% casi siempre, el 20.4% casi nunca, el 15% siempre, mientras que el 14% nunca.

Cuadro N° 5. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la implementación de máquinas de pirólisis puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Sí, definitivamente	45	24.1
4 Sí, en cierta medida	48	25.9
3 No, no lo creo	25	13.4
2 Quizás	41	22.0
1 No estoy seguro/a	27	14.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 5. El 25.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, en cierta medida cree que la implementación de máquinas de pirólisis puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, el 24.1% sí, definitivamente, el 22% quizás el 14.6% no está seguro/a y el 13.4% no, no lo cree.

Cuadro N° 6. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí tienen conocimiento sobre el concepto de desarrollo sostenible y su relación con la pirólisis y el reciclaje de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Tengo un amplio conocimiento al respecto	10	5.3
4 Tengo un conocimiento básico	10	5.3
3 Tengo conocimiento limitado	21	11.3
2 No tengo conocimiento sobre este tema	33	17.9
1 No estoy seguro/a	112	60.2
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 6. El 60.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que no está seguro/a que tiene conocimiento sobre el concepto de desarrollo sostenible y su relación con la pirólisis y el reciclaje de residuos plásticos, el 17.9% no tiene conocimiento sobre ese tema, el 11.3% tiene conocimiento limitado, el 5.3% tiene un amplio conocimiento al respecto y el 5.3% tiene un conocimiento básico.

Cuadro N° 7. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que la pirólisis y el aprovechamiento de residuos plásticos son prácticas alineadas con el desarrollo sostenible.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, definitivamente	48	25.9
4 Sí, en cierta medida	52	27.9
3 No, no lo creo	23	12.3
2 Quizás	51	27.4
1 No estoy seguro/a	12	6.5
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 7. El 27.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, en cierta medida considera que la pirólisis y el aprovechamiento de residuos plásticos son prácticas alineadas con el desarrollo sostenible, el 27.4% contestaron que quizás, el 25.9% sí, definitivamente, el 12.3% no, no lo cree, mientras que el 6.5% no está seguro/a.

Cuadro N° 8. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí saben cuál de las siguientes opciones describe mejor los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Crecimiento económico, igualdad social y conservación del medio ambiente	37	19.9
4 Innovación tecnológica, reducción de emisiones y justicia climática.	40	21.6
3 Eficiencia energética, cooperación internacional y desarrollo humano	55	29.6
2 no lo sé	25	13.4
1 No estoy seguro/a.	29	15.5
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 8. El 29.6% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que eficiencia energética, cooperación internacional y desarrollo humano describe mejor los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible, el 21.6% contestó que innovación tecnológica, reducción de emisiones y justicia climática, el 19.9% crecimiento económico, igualdad social y conservación del medio ambiente, el 15.5% no está seguro y el 13.4% no lo sabe.

Cuadro N° 9. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que el reciclaje y el aprovechamiento de residuos plásticos pueden contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Sí, definitivamente	62	33.3
4 Sí, en cierta medida	33	17.9
3 No, no lo creo	35	18.8
2 Quizás	25	13.4
1 No estoy seguro/a	31	16.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 9. El 33.3% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, definitivamente cree que el reciclaje y el aprovechamiento de residuos plásticos pueden contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, el 18.8% contestó que no, no lo cree, el 17.9% sí, en cierta medida, el 16.6% no está seguro/a y el 13.4% quizás.

Cuadro N° 10. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí les dan importancia al desarrollo sostenible para asegurar un futuro equitativo y próspero para las generaciones venideras.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Es de suma importancia	27	14.6
4 Es importante, pero hay prioridades	41	22.0
3 No considero que sea tan relevante	16	8.7
2 Realmente no lo sé	52	27.9
1 No estoy seguro/a	50	26.8
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 10. El 27.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que realmente no sabe si les dan importancia al desarrollo sostenible, para asegurar un futuro equitativo y próspero para las generaciones venideras, el 26.8% no está seguro/a, el 22.0% es importante, pero hay prioridades, el 14.6% es de suma importancia y el 8.7% no considera que sea tan relevante.

4.2 Residuos plásticos según los habitantes del Municipio de Cotuí.

Cuadro N° 11. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí están consciente sobre la problemática de los residuos plásticos en su comunidad.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Muy consiente	186	100
4 Algo consiente	0	0
3 Poco consiente	0	0
2 Realmente no lo sé	0	0
1 No consiente	0	0
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 11. El 100% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que está consciente sobre la problemática de los residuos plásticos en su comunidad.

Cuadro N° 12. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que si, los habitantes del Municipio de Cotuí conocen cuál de las siguientes acciones consideran más efectiva para reducir los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Promover el uso de alternativas biodegradables y compostables	21	11.3
4 Implementar sistemas de reciclaje eficientes	58	31.2
3 Fomentar la reutilización de productos y envases de plásticos	49	26.3
2 Realmente no lo sé	31	16.6
1 No estoy seguro/a	27	14.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 12. El 31.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que implementar sistemas de reciclaje eficientes es una de las acciones que consideran más efectiva para reducir los residuos plásticos, el 26.3% fomentar la reutilización de productos y envases de plásticos, el 16.6% realmente no lo sabe, el 14.6% no está seguro/a y el 11.3% promover el uso de alternativas biodegradables y compostables.

Cuadro N° 13. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la pirólisis es una solución viable para el aprovechamiento de los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, definitivamente	44	23.6
4 Sí, en cierta medida	50	26.9
3 No, no lo creo	42	22.6
2 Quizás	28	15.0
1 No estoy seguro/a	22	11.9
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 13. El 26.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, en cierta medida cree que la pirólisis es una solución viable para el aprovechamiento de los residuos plásticos, el 23.6% sí, definitivamente, 22.9% no, no lo cree, el 15% quizás y el 11.9% no está seguro/a.

Cuadro N° 14. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que si los habitantes del Municipio de Cotuí les dan importancia a la gestión adecuada de los residuos plásticos para lograr una calidad ambiental sostenible.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Es de suma importancia	95	51.1
4 Es importante, pero hay otras prioridades ambientales	40	21.6
3 No considero que sea tan relevante	26	14.0
2 Realmente no lo sé	13	6.9
1 No estoy seguro/a	12	6.4
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 14. El 51.1 % de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que es de suma importancia la gestión adecuada de los residuos plásticos para lograr una calidad ambiental sostenible, el 21.6% es importante, pero hay otras

prioridades ambientales, el 14.0% no considera que sea tan relevante, el 6.9% realmente no lo saben y el 6.4% no está seguro/a.

Cuadro N° 15. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que es responsabilidad de todos los miembros de la comunidad participar en la reducción y gestión adecuada de los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, cada persona tiene un papel importante que desempeñar.	56	30.1
4 Solo algunos miembros de la comunidad deberían responsabilizarse.	40	21.6
3 No, esa responsabilidad recae únicamente en entidades gubernamentales.	49	26.3
2 Quizás	18	9.7
1 No estoy seguro/a	23	12.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 15. El 30.1% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, cada persona tiene un papel importante que desempeñar, cree que es responsabilidad de todos los miembros de la comunidad participar en la reducción y gestión adecuada de los residuos plásticos, el 26.3% con, esa responsabilidad recae únicamente en entidades gubernamentales, el 21.6% sólo algunos miembros de la comunidad deberían responsabilizarse, 12.3% no está seguro/a y el 9.7% quizás.

4.3 Pirólisis según los habitantes del Municipio de Cotuí.

Cuadro N° 16. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cuál es la principal aplicación de la pirolisis.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Producción de energía eléctrica	3	1.6
4 Reciclaje de plásticos	7	3.7
3 Tratamiento de residuos peligrosos	27	14.6
2 Fabricación de productos químicos	24	12.9
1 No estoy seguro/a	125	67.2
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (los habitantes del municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 16. El 67.2% de los habitantes del municipio de Cotuí, contestó que no está seguro de cuál sea la principal aplicación de la pirolisis, el 14.6% tratamiento de residuos peligrosos, el 12.9% fabricación de productos químicos, el 3.7% reciclaje de plásticos y el 1.6% producción de energía eléctrica.

Cuadro N° 17. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran qué impacto ambiental tiene la pirolisis.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Emisiones de gases de efecto invernadero	47	25.2
4 Contaminación de cuerpos de agua	40	21.6
3 Generación de residuos tóxicos	45	24.1
2 Deforestación	32	17.2
1 Ninguno, es un proceso limpio	22	11.9
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (los habitantes del municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 17. El 25.2 % de los habitantes del municipio de Cotuí, contestó que las emisiones de gases de efecto invernadero es el impacto ambiental que tiene la pirolisis, el 24.1% generación de residuos tóxicos, el 21.6% contaminación de cuerpos de agua, el 17.2% deforestación y el 11.9 % ninguno, es un proceso limpio.

Cuadro N° 18. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirolisis.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
1 Contenido de azufre	110	59.2
2 Viscosidad	29	15.5
3 Punto de fusión	30	16.1
4 Coloración	11	6
5 Densidad energética	6	3.2
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (los habitantes del municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 18. El 59.2% de los habitantes del municipio de Cotuí, contestó que el contenido de azufre es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirolisis, el 16.1% punto de fusión, el 15.5% viscosidad, el 6% coloración y el 3.2% densidad energética.

Cuadro N° 19. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del municipio de Cotuí consideran cual es uno de los beneficios económicos de la pirolisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
1 Reducción de costos de energía	97	52.2
2 Generación de empleo local	38	20.4
3 Aumento de las exportaciones	27	14.5
4 Incremento de la inversión extranjera	14	7.6
5 Disminución del precio de los productos químicos	10	5.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (los habitantes del municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 19. El 52.2% de los habitantes del municipio de Cotuí, contestó que la reducción de costos de energía es uno de los beneficios económicos de la pirolisis, el 20.4% generación de empleo local, el 14.5% aumento de las exportaciones, el 7.6% incremento de la inversión extranjera y el 5.3% disminución del precio de los productos químicos.

Cuadro N° 20. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí los habitantes del municipio de Cotuí consideran por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
1 Para reducir la dependencia de combustibles fósiles.	63	33.9
2 Para mejorar la calidad del aire.	35	18.8
3 Para minimizar la generación de residuos.	38	20.4
4 Para fomentar la innovación tecnológica	18	9.7
5 Todas las anteriores.	32	17.2
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (los habitantes del municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 20. El 33.9% de los habitantes del municipio de Cotuí, contestó que para reducir la dependencia de combustibles fósiles es importante promover la pirólisis en la comunidad, el 20.4% para minimizar la generación de residuos, el 18.8% para mejorar la calidad del aire, el 17.2% todas las anteriores y el 9.7% para fomentar la innovación tecnológica.

4.4 Mezclas de hidrocarburos según los habitantes del Municipio de Cotuí

Cuadro N° 21. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí tienen conocimiento sobre las mezclas de hidrocarburos y su relación con la pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Tengo un amplio conocimiento al respecto	18	9.7
4 Tengo un conocimiento básico	35	18.8
3 Tengo un conocimiento limitado	42	22.6
2 Realmente no lo sé	45	24.2
1 No tengo conocimiento sobre este tema	46	24.7
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 21. El 24.7% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que no tiene conocimiento sobre las mezclas de hidrocarburos y su relación con la pirólisis, el 24.2% realmente no lo sabe, el 22.6% tiene un conocimiento limitado, el 18.8% tiene un conocimiento básico y el 9.7% tiene un amplio conocimiento al respecto.

Cuadro N° 22. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis pueden ser utilizadas como una fuente de energía alternativa.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, definitivamente	30	16.1
4 Sí, en cierta medida	29	15.5
3 No, no lo creo	6	3.2
2 Quizás	110	59.2
1 No estoy seguro/a	110	6.0
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 22. El 59.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que quizás cree que las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis pueden ser utilizadas como una fuente de energía alternativa, el 16.1% sí, definitivamente, el 15.5% sí, en cierta medida, el 6% no está seguro/a y el 3.2% no, no lo cree.

Cuadro N° 23. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que el aprovechamiento de las mezclas de hidrocarburos generadas en la pirólisis contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, de manera significativa	47	25.2
4 Sí, en cierta medida	40	21.6
3 No, no lo creo	45	24.1
2 Quizás	32	17.2
1 No estoy seguro/a	22	11.9
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 23. El 25.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, de manera significativa considera que el aprovechamiento de las mezclas de hidrocarburos generadas en la pirólisis contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, el 24.1% no, no lo cree, el 21.6% sí, en cierta medida, el 17.2% quizás y el 11.9% no está seguro/a.

Cuadro N° 24. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que de las siguientes opciones describe mejor el potencial impacto ambiental de las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	97	52.2
4 Incremento de la contaminación del aire	38	20.4
3 Aumento de la deforestación	27	14.5
2 Realmente no lo sé	14	7.6
1 No estoy seguro/a	10	5.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 24. El 52.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que la reducción de gases de efecto invernadero describe mejor el potencial impacto ambiental de las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis, el 20.4% incremento de la contaminación del aire, el 14.5% aumento de la deforestación, el 7.6% realmente no lo saben y el 5.3% no está seguro/a.

Cuadro N° 25. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que la promoción y utilización de las mezclas de hidrocarburos como una fuente de energía alternativa está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Sí, definitivamente	63	33.9
4 Sí, en cierta medida	35	18.8
3 No, no lo creo	38	20.4
2 Quizás	18	9.7
1 No estoy seguro/a	32	17.2
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 25. El 33.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que sí, definitivamente cree que la promoción y utilización de las mezclas de hidrocarburos como una fuente de energía alternativa está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, el 20.4% no, no lo cree, el 18.8% sí, en cierta medida, el 17.2% no está seguro/a y el 9.7% quizás.

4.5 impacto socioeconómico según los habitantes del Municipio de Cotuí

Cuadro N° 26. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí consideran que en términos de generación de empleo, la medida percibida por la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis contribuye a la creación de nuevas oportunidades laborales.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	12	6.4
4 En desacuerdo	13	6.9
3 De acuerdo	26	14
2 Realmente no lo sé	40	21.6
1 Totalmente de acuerdo	95	51.1
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 26. El 51.1 % de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que está totalmente de acuerdo respecto que en términos de generación de empleo, la medida percibida por la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis contribuye a la creación de nuevas oportunidades laborales, el 21.6% realmente no lo sabe, el 14% de acuerdo, el 6.9% en desacuerdo y el 6.4% totalmente en desacuerdo.

Cuadro N° 27. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en las oportunidades económicas, la implementación de tecnologías de pirolisis impulsa el crecimiento económico y la diversificación de la economía local.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	28	15.0
4 En desacuerdo	22	11.9
3 De acuerdo	50	26.9
2 Realmente no lo sé	42	22.6
1 Totalmente de acuerdo	44	23.6
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 27. El 26.9% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que está de acuerdo en las oportunidades económicas, la implementación de tecnologías de pirolisis impulsa el crecimiento económico y la diversificación de la economía local, el 23.6% totalmente de acuerdo, 22.9% realmente no lo sabe, el 15% totalmente en desacuerdo y el 11.9% en desacuerdo.

Cuadro N° 28. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí creen que para la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis reducirá la dependencia de recursos no renovables y promover un enfoque más sostenible en la gestión de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	27	14.6
4 En desacuerdo	21	11.3
3 De acuerdo	58	31.2
2 Realmente no lo sé	31	16.6
1 Totalmente de acuerdo	49	26.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 28. El 31.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que está de acuerdo que cree que para la comunidad local la implementación de tecnologías de pirolisis reducirá la dependencia de recursos no renovables y promover un enfoque más sostenible en la gestión de residuos plásticos, el 26.3% totalmente de acuerdo, el 16.6% realmente no lo sabe, el 14.6% totalmente en desacuerdo y el 11.3% en desacuerdo.

Cuadro N° 29. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en su percepción sobre la participación y el involucramiento de la comunidad local en la cadena de valor de la pirolisis, en términos de generación de empleo y creación de oportunidades económicas.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Muy baja	0	0
4 Baja	93	50
3 Moderada	93	50
2 Realmente no lo sé	0	0
1 Muy alta	0	0
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 29. El 50% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que es baja su percepción sobre la participación y el involucramiento de la comunidad local en la cadena de valor de la pirolisis, en términos de generación de empleo y creación de oportunidades económicas y el 50% moderada.

Cuadro N° 30. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los habitantes del Municipio de Cotuí en evaluación de los desafíos y oportunidades asociados con el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirolisis en su comunidad en el marco de la agenda 2030.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Desafíos mayores que oportunidades	10	5.3
4 Desafíos ligeramente mayores que oportunidades	112	60.2
3 Equilibrio entre desafíos y oportunidades	33	17.9
2 Oportunidades ligeramente mayores que desafíos	21	11.3
1 Oportunidades mayores que desafíos	10	5.3
Total	186	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (habitantes del Municipio de Cotuí), 2023.

Según el cuadro N° 30. El 60.2% de los habitantes del Municipio de Cotuí, contestó que desafíos ligeramente mayores que oportunidades en evaluación de los desafíos y oportunidades asociados con el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis en su comunidad en el marco de la agenda 2030, el 17.9% equilibrio entre desafíos y oportunidades, el 11.3% oportunidades ligeramente mayores que desafíos, el 5.3% desafíos mayores que oportunidades y el 5.3% oportunidades mayores que desafíos.

4.6 Maquina de pirolisis y Desarrollo sostenible según Magíster de Química y áreas afines.

Cuadro N° 31. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magister de Química y áreas afines están familiarizados con el concepto de máquina de pirolisis

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Muy familiarizado/a.	0	0
4 Algo familiarizado/a.	6	46.1
3 Poco familiarizado/a.	7	53.9
2 No familiarizado/a.	0	0
1 No estoy seguro/a.	0	0
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 31. El 53.9% de los Magíster de Química y áreas afines, contestó que está poco familiarizado/a con el concepto de máquina de pirolisis, mientras que el 46.1% está algo familiarizado/a.

Cuadro N° 32. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirolisis es una tecnología prometedora para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 32. El 100% de los magister en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que la máquina de pirolisis es una tecnología prometedora para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos.

Cuadro N° 33. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis contribuye a la reducción de la contaminación ambiental causada por los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 33. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que la máquina de pirólisis contribuye a la reducción de la contaminación ambiental causada por los residuos plásticos.

Cuadro N° 34. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis puede contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de los residuos plásticos

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 34. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que la máquina de pirólisis puede contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de los residuos plásticos.

Cuadro N° 35. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la máquina de pirólisis es una tecnología que debería ser promovida e implementada a mayor escala en el futuro.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 35. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que la máquina de pirólisis es una tecnología que debería ser promovida e implementada a mayor escala en el futuro.

Cuadro N° 36. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que el uso de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 36. El 100% de los magister en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que el uso de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Cuadro N° 37. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el aprovechamiento de los residuos plásticos a través de la pirólisis puede promover la transición hacia una economía circular y sostenible

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 37. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que opinan que el aprovechamiento de los residuos plásticos a través de la pirólisis puede promover la transición hacia una economía circular y sostenible

Cuadro N° 38. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que si los magister de Química y áreas afines creen que la implementación de tecnologías de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos puede mejorar la gestión sostenible de los recursos naturales.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 38. El 100% de los magister en Química y áreas afines contestaron que está totalmente de acuerdo con que creen que la implementación de tecnologías de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos puede mejorar la gestión sostenible de los recursos naturales.

Cuadro N° 39. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que la pirólisis de residuos plásticos puede contribuir a reducir la huella ambiental y promover prácticas más sostenibles

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	8	60%
1 Totalmente de acuerdo	7	40%
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 39. El 60% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que considera que la pirólisis de residuos plásticos puede contribuir a reducir la huella ambiental y promover prácticas más sostenibles y el 40% expuso que está de acuerdo.

Cuadro N° 40. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines opinan que el fomento de la pirólisis como alternativa sostenible para el manejo de residuos plásticos puede tener un impacto positivo en el desarrollo sostenible a nivel global

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 40. El 100% de los magíster en Química y áreas afines dijo que está totalmente de acuerdo con que opinan que el fomento de la pirólisis como alternativa sostenible para el manejo de residuos plásticos puede tener un impacto positivo en el desarrollo sostenible a nivel global.

4.7 Residuos plásticos según Magíster de Química y áreas afines.

Cuadro N° 41. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que los residuos plásticos representan una seria amenaza para el medio ambiente y la salud humana

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 41. El 100% de los magíster en Química y áreas afines expresó que está totalmente de acuerdo con que considera que los residuos plásticos representan una seria amenaza para el medio ambiente y la salud humana.

Cuadro N° 42. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que sí, los magíster de Química y áreas afines consideran que el aumento en la producción y consumo de plásticos ha generado una crisis global de residuos

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 42. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que considera que el aumento en la producción y consumo de plásticos ha generado una crisis global de residuos.

Cuadro N° 43. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, sí los magíster de Química y áreas afines consideran que es necesario implementar estrategias efectivas para reducir la generación de residuos plásticos en la sociedad.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 43. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que están totalmente de acuerdo con que considera que es necesario implementar estrategias efectivas para reducir la generación de residuos plásticos en la sociedad.

Cuadro N° 44. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, sí los magíster de Química y áreas afines consideran que la investigación científica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo de residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 44. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que están totalmente de acuerdo con que considera que la investigación científica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo de residuos plásticos.

Cuadro N° 45. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran que la colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos es esencial para abordar eficazmente el problema de los residuos plásticos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 45. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que están totalmente de acuerdo con que considera que la colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos es esencial para abordar eficazmente el problema de los residuos plásticos.

4.8 Pirolisis según Magíster de Química y áreas afines.

Cuadro N° 46. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran cuál es la principal aplicación de la pirolisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Producción de energía eléctrica	0	0
4 Reciclaje de plásticos	13	100
3 Tratamiento de residuos peligrosos	0	0
2 Fabricación de productos químicos	0	0
1 No estoy seguro/a	0	0
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 46. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que el reciclaje de plásticos es la principal aplicación de la pirolisis.

Cuadro N° 47. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran qué impacto ambiental tiene la pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Emisiones de gases de efecto invernadero	0	0
4 Contaminación de cuerpos de agua	0	0
3 Generación de residuos tóxicos	0	0
2 Deforestación	0	0
1 Ninguno, es un proceso limpio	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 47. El 100% de los magíster en Química y áreas afines dijo que ninguno, es un proceso limpio, ya que consideran que impacto ambiental tiene la pirólisis.

Cuadro N° 48. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Contenido de azufre	0	0
4 Viscosidad	0	0
3 Punto de fusión	0	0
2 Coloración	0	0
1 Densidad energética	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 48. El 100% de los magíster en Química y áreas afines expresó que la densidad energética es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis.

Cuadro N° 49. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran cual es uno de los beneficios económicos de la pirólisis.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Reducción de costos de energía	0	0
4 Generación de empleo local	13	100
3 Aumento de las exportaciones	0	0
2 Incremento de la inversión extranjera	0	0
1 Disminución del precio de los productos químicos	0	0
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 49. El 100% de los magíster en Química y áreas afines afirma que la generación de empleo local es uno de los beneficios económicos de la pirólisis.

Cuadro N° 50. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Para reducir la dependencia de combustibles fósiles.	0	0
4 Para mejorar la calidad del aire.	0	0
3 Para minimizar la generación de residuos.	0	0
2 Para fomentar la innovación tecnológica	0	0
1 Todas las anteriores.	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 50. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que todas las anteriores el por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad.

4.9 Mezclas de Hidrocarburos según Magíster de Química y áreas afines.

Cuadro N° 51. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran que las mezclas de hidrocarburos son una fuente energética importante para diversas industrias y sectores económicos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 51. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que considera que las mezclas de hidrocarburos son una fuente energética importante para diversas industrias y sectores económicos.

Cuadro N° 52. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines opinan que el uso de mezclas de hidrocarburos tiene impactos significativos en el medio ambiente y la calidad del aire.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 52. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que opina que el uso de mezclas de hidrocarburos tiene impactos significativos en el medio ambiente y la calidad del aire.

Cuadro N° 53. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines creen que es importante investigar y desarrollar tecnologías más limpias y sostenibles para la producción y uso de mezclas de hidrocarburos

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 53. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que cree que es importante investigar y desarrollar tecnologías más limpias y sostenibles para la producción y uso de mezclas de hidrocarburos.

Cuadro N° 54. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran que la comunidad científica desempeña un papel fundamental en el avance de conocimientos y soluciones relacionadas con las mezclas de hidrocarburos

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 54. El 100% de los magíster en Química y áreas afines opinó que está totalmente de acuerdo con que considera que la comunidad científica desempeña un papel fundamental en el avance de conocimientos y soluciones relacionadas con las mezclas de hidrocarburos.

Cuadro N° 55. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines opinan que es necesaria una mayor colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos para abordar los desafíos asociados con el uso de mezclas de hidrocarburos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 55. El 100% de los magíster en Química y áreas afines expresó que está totalmente de acuerdo con que opina que es necesaria una mayor colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos para abordar los desafíos asociados con el uso de mezclas de hidrocarburos.

4.10 Impacto Socioeconómico según Magíster de Química y áreas afines.

Cuadro N° 56. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran que la implementación de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede generar oportunidades económicas y de empleo.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 56. El 100% de los magíster en Química y áreas afines consideró que está totalmente de acuerdo con que considera que la implementación de la máquina de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede generar oportunidades económicas y de empleo.

Cuadro N° 57. Distribución de frecuencia y porciento en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines opinan que la reducción de la dependencia de los recursos naturales a través del reciclaje de residuos plásticos mediante la pirólisis puede tener beneficios económicos a largo plazo.

Alternativa	Frecuencia	Porciento %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 57. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que están totalmente de acuerdo con que opina que la reducción de la dependencia de los recursos naturales a través del reciclaje de residuos plásticos mediante la pirólisis puede tener beneficios económicos a largo plazo.

Cuadro N° 58. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines creen que el aprovechamiento de los residuos plásticos mediante la pirólisis puede promover la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector industrial.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 58. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que cree que el aprovechamiento de los residuos plásticos mediante la pirólisis puede promover la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector industrial.

Cuadro N° 59. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines consideran que la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede reducir los costos asociados con la gestión de residuos y su impacto socioeconómico.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 59. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que están totalmente de acuerdo con que considera que la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos puede reducir los costos asociados con la gestión de residuos y su impacto socioeconómico.

Cuadro N° 60. Distribución de frecuencia y porcentaje en relación a que, si los magíster de Química y áreas afines opinan que el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos mediante la pirólisis puede contribuir a la construcción de una sociedad más sostenible y equitativa.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje %
5 Totalmente en desacuerdo	0	0
4 En desacuerdo	0	0
3 Neutro	0	0
2 De acuerdo	0	0
1 Totalmente de acuerdo	13	100
Total	13	100%

Fuente: Cuestionario aplicado a los participantes en el estudio (Magíster de Química y áreas afines), 2023.

Según el cuadro N° 60. El 100% de los magíster en Química y áreas afines contestó que está totalmente de acuerdo con que opina que el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos mediante la pirólisis puede contribuir a la construcción de una sociedad más sostenible y equitativa.

4.11 Muestra N°1 PE

Tiempo (Min)	T °C	Cantidad de Producto (Kg)	Rendimiento (L)	Descripción de propiedades/prueba organoléptica
0	28	2	1	Olor a plástico fundido, gas y combustible. Color amarillo turbio. Textura líquida aceitosa
10	277			
20	417			
30	440			
40	587			
50	590			
60	615			

Cuadro 61. Datos experimentales de la pirólisis PE

Resultados						
	ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)
MUESTRA NO.1 PE		Density @15 °C	ASTM D-1298	0.828	0.820 — 0.870	kg/L
		Flash Point	ASTM D-93	68.622	55 min	°C
		Cetane Index	ASTM D-976	56.939	45 min	---
		Cloud Point	ASTM D-2500	12.951	-----	°C
		Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.369	1.8 — 5.0	cSt
		Distill IBP	ASTM D-86	168.956	-----	°C
		Distill 10%	ASTM D-86	212.265	-----	°C
		Distill 20%	ASTM D-86	228.477	-----	°C
		Distill 50%	ASTM D-86	229.03	290 máx.	°C
		Distill 90%	ASTM D-86	315.63	370 máx.	°C
		Distill FBP	ASTM D-86	353.206	-----	°C
		Pour Point	ASTM D-5297	10.084	-----	°C
		Net Heat	ASTM D-4848	43.145	-----	MJ/kg
		Hydrogen	ASTM D-3709	18.082	-----	M%

Cuadro 62. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PE

Densidad a 15 °C: La densidad es la cantidad de masa contenida en un volumen específico. En este caso, la densidad del líquido pirolítico a 15 °C es de 0.828 kilogramos por litro. Esto significa que en un litro de este líquido, hay aproximadamente 0.828 kilogramos de sustancia. La norma de referencia para esta densidad se encuentra entre 0.820 y 0.870 kg/L.

Punto de Inflamación: El punto de inflamación es la temperatura a la cual un líquido emite suficientes vapores para que pueda encenderse en presencia de una llama o chispa. En este caso, el punto de inflamación es de 68.622 °C, lo que indica la temperatura mínima a la que este líquido puede encenderse en esas condiciones.

Índice de Cetano: El índice de cetano es una medida de la facilidad con la que un combustible diésel se enciende después de la compresión en un motor diésel. Un índice más alto sugiere una mejor calidad en términos de encendido. En este caso, el índice de cetano es de 56.939, indicando una buena calidad en términos de encendido.

Punto de Nublado: El punto de nublado es la temperatura a la cual un líquido comienza a formar cristales o turbidez a medida que se enfría. En este caso, el punto de nublado es de 12.951 °C, lo que sugiere la temperatura a la que se esperarías observar algún cambio en la apariencia del líquido.

Viscosidad a 40 °C: La viscosidad es la medida de la resistencia de un líquido a fluir. Una viscosidad baja significa que el líquido fluye fácilmente, mientras que una alta viscosidad indica que fluye más lentamente. En este caso, la viscosidad a 40 °C es de 2.369 centistokes (cSt), lo que sugiere que este líquido tiene una viscosidad moderada.

Destilación Fraccionada: Estos valores describen las temperaturas a las cuales diferentes porcentajes del líquido pirolítico se evaporan durante un proceso de destilación fraccionada. Los porcentajes se refieren a la cantidad de líquido evaporado a diferentes temperaturas, comenzando desde el inicio de la ebullición (IBP) hasta el punto de ebullición final (FBP).

Punto de Fluides: El punto de fluides es la temperatura más baja a la que un líquido aún puede fluir o verter. En este caso, el punto de fluides es de 10.084 °C, lo que indica la temperatura mínima a la que el líquido puede seguir fluyendo.

Calor Neto: El calor neto es la cantidad de energía liberada durante la combustión del líquido pirolítico. En este caso, el calor neto es de 43.145 MegaJulios por kilogramo (MJ/kg), lo que indica la energía liberada por unidad de masa durante la combustión.

Contenido de Hidrógeno: Este valor representa el porcentaje en masa de hidrógeno en el líquido pirolítico, que es un aspecto importante en términos de su composición química. En este caso, el líquido contiene un 18.082% en masa de hidrógeno.



Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #1 PE	19

Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.42	82.79	Alcanos	CH ₃
2	2922.91	61.97		CH ₂
3	2853.58	74.03		CH
4	1697.09	80.42	Cetona aromática	C=O
5	1641.79	95.18	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1605.82	96.36	Aromático	C-H
7	1455.41	85.95	aromático	Benceno mono sustituido
8	1416.86	90.47		
9	1377.69	91.97	alcano	CH ₃
10	1318.07	91.53	Ácidos carboxílico	C-O
11	1286.41	85.02	Ácidos carboxílico	C-O
12	1177.78	95.07	Esteres	C-O
13	1126.88	95.21		
14	992.04	93.50	Alqueno mono sustituido	C-H
15	909.07	83.71	vinilo	C=CH ₂
16	887.98	90.41	aromático	Meta di sustituido benceno
17	710.99	77.99	aromático	Benceno mono sustituido
18	662.98	92.67		
19	547.88	93.50	Cloro alcanos	C-X

Cuadro 63. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PE

En este análisis, se examinaron las propiedades moleculares y los grupos funcionales presentes en la muestra de líquido pirolítico, utilizando la técnica de espectroscopía infrarroja. Los resultados se presentan en forma de picos en un espectro, donde cada pico representa una vibración molecular característica que nos brinda información sobre los enlaces químicos presentes en la muestra.

Alcanos:

Los picos 1, 2 y 3 muestran vibraciones de grupos metilo (CH₃), metileno (CH₂) y metino (CH) respectivamente, indicativos de enlaces presentes en compuestos alifáticos conocidos como alcanos. Estos enlaces forman la base de moléculas orgánicas como el petróleo.

Cetona Aromática:

El pico 4 a 1697.09 cm⁻¹ señala la vibración del grupo carbonilo (C=O), característico de cetonas aromáticas. Esto sugiere la presencia de compuestos que combinan un anillo aromático con el grupo funcional cetona.

Alcano Mono Sustituido:

El pico 5 a 1641.79 cm⁻¹ sugiere la existencia de un enlace en un anillo aromático, indicando la presencia de un compuesto alifático unido a un anillo de carbono.

Aromático:

Los picos 6, 7, 8, 16, 17 y 18 a diferentes frecuencias (1605.82, 1455.41, 1416.86, 887.98, 710.99 y 662.98 cm⁻¹) corresponden a vibraciones en compuestos aromáticos. Esto apunta a la presencia de estructuras de anillo aromático y enlaces C-H característicos.

Ácido Carboxílico:

Los picos 10 y 11 a 1318.07 y 1286.41 cm⁻¹ respectivamente indican vibraciones de enlaces C-O en ácidos carboxílicos, señalando la posible presencia de estos compuestos en la muestra.

Ésteres:

Los picos 12 y 13 a 1177.78 y 1126.88 cm^{-1} respectivamente indican la vibración de enlaces C-O en ésteres, lo que sugiere la posible existencia de compuestos con esta estructura en la muestra.

Alqueno Mono Sustituido y Vinilo:

Los picos 14 y 15 a 992.04 y 909.07 cm^{-1} respectivamente sugieren vibraciones de enlaces C-H en alquenos mono sustituidos y vinilos. Esto indica la posible presencia de compuestos insaturados en la muestra.

Cloro Alcanos:

El pico 19 a 547.88 cm^{-1} señala la presencia de cloro en alcanos, indicando la posible existencia de compuestos clorados.

Espectro FT-IR MUE-4356-2023:

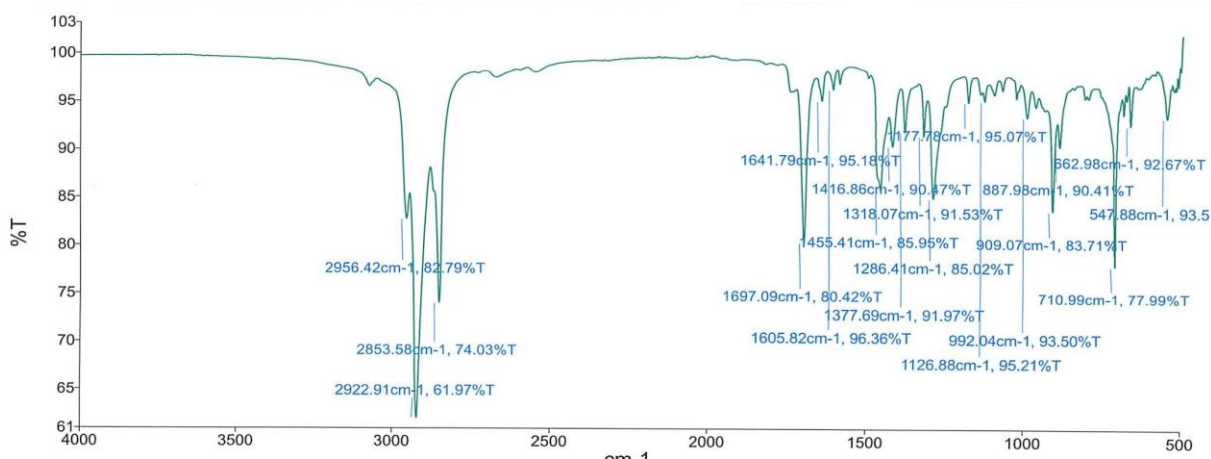


Figura 1. Líquido pirolítico de residuos plásticos PE

Este análisis FT-IR detalla una gama diversa de grupos funcionales y estructuras moleculares en la muestra. Cada pico representa una "huella digital" única de los enlaces químicos presentes en los componentes del líquido pirolítico, lo que ofrece una comprensión más profunda de su composición química.

4.12 Muestra N°2 PP

Tiempo (Min)	T °C	Cantidad de Producto (Kg)	Rendimiento (L)	Descripción de propiedades/ prueba organoléptica
0	30	2	1	Olor a plástico fundido, gas y combustible. Color marrón claro Textura líquida aceitosa
10	86			
20	110			
30	230			
40	452			
50	550			
60	590			

Cuadro 64. Datos experimentales de la pirolisis PP

Resultados						
ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)	
MUESTRA NO.2 PP	Density @15 °C	ASTM D-1298	0.829	0.820 — 0.870	kg/L	
	Flash Point	ASTM D-93	86.119	55 min	°C	
	Cetane Index	ASTM D-976	58.73	45 min	---	
	Cloud Point	ASTM D-2500	21.961	-----	°C	
	Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.827	1.8 — 5.0	cSt	
	Distill IBP	ASTM D-86	182.413	-----	°C	
	Distill 10%	ASTM D-86	230.03	-----	°C	
	Distill 20%	ASTM D-86	249.451	-----	°C	
	Distill 50%	ASTM D-86	234.782	290 máx.	°C	
	Distill 90%	ASTM D-86	311.743	370 máx.	°C	
	Distill FBP	ASTM D-86	349.278	-----	°C	
	Pour Point	ASTM D-5297	15.429	-----	°C	
	Net Heat	ASTM D-4848	43.171	-----	MJ/kg	
	Hydrogen	ASTM D-3709	18.188	-----	M%	

Cuadro 65. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP

En este cuadro se presentan los resultados de un análisis exhaustivo de una muestra denominada "MUESTRA NO.2 PP". Este análisis ha evaluado diversas características y propiedades de la muestra para comprender su composición y calidad.

Densidad a 15 °C:

La densidad de la muestra a una temperatura de 15 °C es de 0.829 kilogramos por litro. Esto nos indica cuánta masa está presente en un volumen determinado de la muestra. La densidad se encuentra dentro del rango esperado de 0.820 a 0.870 kg/L.

Punto de Inflamación:

El punto de inflamación, que es la temperatura mínima a la que la muestra puede encenderse, es de 86.119 °C. Este valor está por encima del mínimo requerido de 55 °C.

Índice de Cetano:

El índice de cetano, que mide la capacidad de autoencendido del combustible diésel, es de 58.73. Esto indica que la muestra tiene un buen potencial de encendido en motores diésel.

Punto de Nublado:

El punto de nublado, que señala la temperatura a la que la muestra comienza a volverse turbia, es de 21.961 °C.

Viscosidad a 40 °C:

La viscosidad de la muestra a 40 °C es de 2.827 centistokes (cSt). Esta medida indica qué tan fácilmente fluye la muestra; en este caso, se encuentra en el rango esperado de 1.8 a 5.0 cSt.

Destilación Fraccionada:

El análisis de destilación fraccionada muestra las temperaturas a las que diferentes porcentajes de la muestra se evaporan. Esto nos proporciona información sobre la composición de la muestra a diferentes rangos de temperatura.

Punto de Fluidez:

El punto de fluidez, que indica la temperatura más baja en la que la muestra puede fluir, es de 15.429 °C.

Calor Neto:

El calor neto, que representa la energía liberada durante la combustión, es de 43.171 MegaJulios por kilogramo (MJ/kg).

Contenido de Hidrógeno:

La muestra contiene un 18.188% de hidrógeno en términos de masa.

Descripción de picos FT-IR MUE-4357-2023

Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #2 PP	12

Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.03	83.88	Alcanos	CH ₃
2	2922.36	58.45		CH ₂
3	2853.19	70.98		CH
4	1697.64	90.20	Cetona aromática	C=O
5	1641.50	96.10	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1457.04	86.66	aromático	Benceno mono sustituido
7	1377.64	93.28	alcano	CH ₃
8	1286.52	92.37	Ácidos carboxílico	C-O
9	991.79	94.04	Alqueno mono sustituido	C-H
10	909.00	84.51	vinilo	C=CH ₂
11	711.13	87.19	aromático	Benceno mono sustituido
12	548.03	95.84	Cloro alcanos	C-X

Cuadro 66. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP

Este cuadro presenta los resultados de un análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) realizado en la muestra "Muestra #2 PP". La espectroscopía infrarroja es una técnica que se utiliza para identificar los enlaces químicos presentes en una muestra, y los picos en el espectro representan diferentes vibraciones moleculares que indican la presencia de grupos funcionales específicos.

Descripción de cada uno de los picos:

Alcanos:

El primer pico a 2956.03 cm⁻¹ corresponde a la vibración de grupos metilo (CH₃), presentes en los alcanos. Este grupo es una firma característica de compuestos alifáticos.

El segundo pico a 2922.36 cm^{-1} señala la vibración de grupos metileno (CH_2) también presentes en los alcanos.

El tercer pico a 2853.19 cm^{-1} indica la vibración de grupos metino (CH) en los alcanos.

Cetona Aromática:

El cuarto pico a 1697.64 cm^{-1} señala la vibración del grupo carbonilo (C=O), indicativo de una cetona aromática.

Alcano Mono Sustituido:

El quinto pico a 1641.50 cm^{-1} sugiere la presencia de un alcano con un grupo funcional adicional en un anillo cíclico.

Aromático:

El sexto pico a 1457.04 cm^{-1} indica vibraciones en un benceno mono sustituido, que tiene un grupo adicional unido al anillo aromático.

Alcanos:

El séptimo pico a 1377.64 cm^{-1} señala nuevamente la vibración de grupos metilo (CH_3), comunes en los alcanos.

Ácido Carboxílico:

El octavo pico a 1286.52 cm^{-1} sugiere la presencia de un grupo funcional carboxilo (C-O), característico de ácidos carboxílicos.

Alqueno Mono Sustituido:

El noveno pico a 991.04 cm^{-1} indica la vibración de enlaces C-H en alquenos mono sustituidos.

Vinilo:

El décimo pico a 909.00 cm^{-1} señala la vibración característica del grupo vinilo (C=CH_2).

Aromático:

El undécimo pico a 711.13 cm^{-1} señala la presencia de un benceno mono sustituido.

Cloro Alcano:

El último pico a 548.03 cm^{-1} indica la presencia de cloro en compuestos alifáticos.

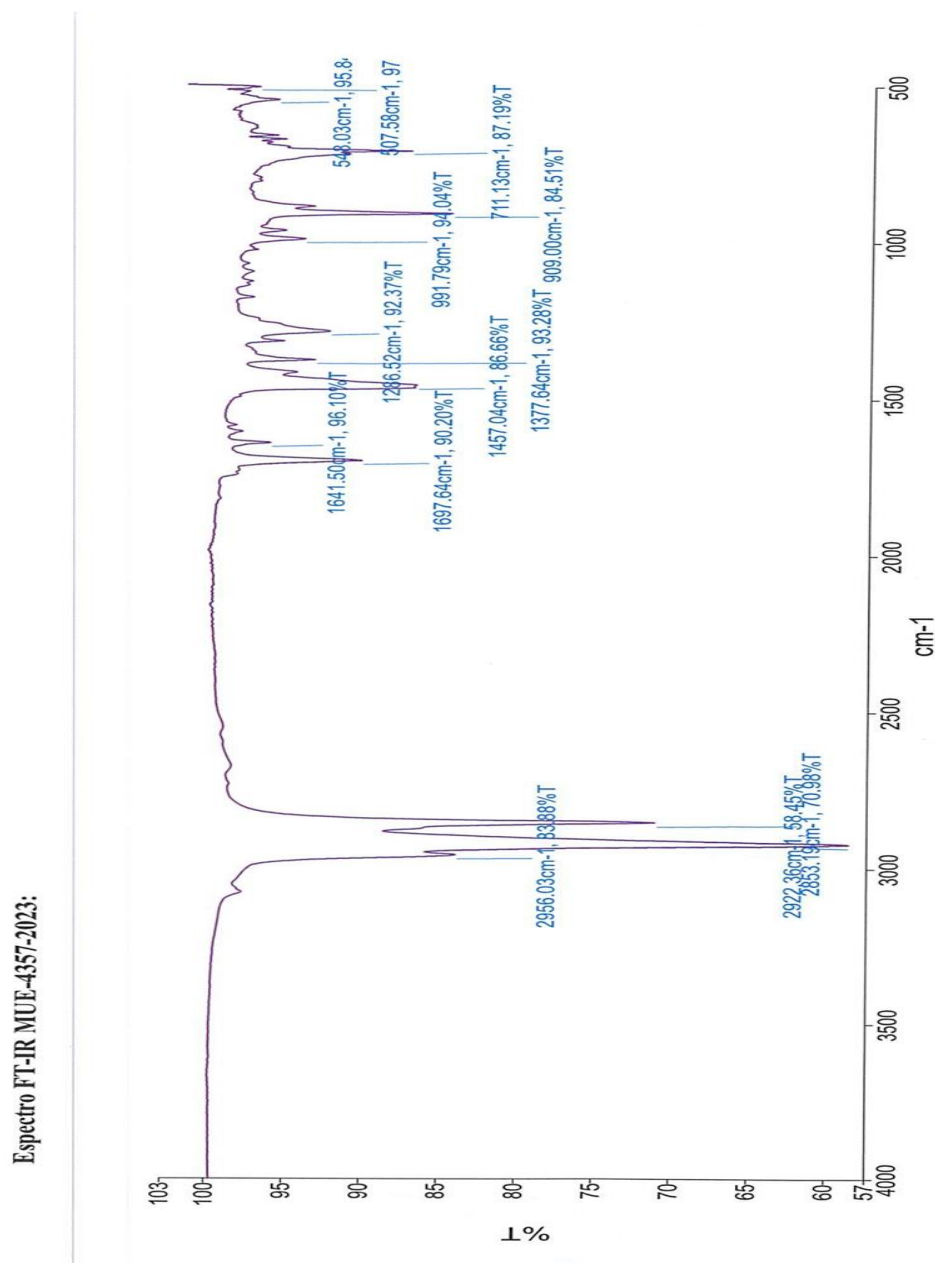


Figura 2. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PP

Este análisis FT-IR proporciona información sobre la composición química de la muestra "Muestra #2 PP", permitiéndonos identificar diversos grupos funcionales y enlaces presentes en los componentes de la muestra.

4.13 Muestra N°3 PS

Tiempo (Min)	T °C	Cantidad de Producto (Kg)	Rendimiento (L)	Descripción de propiedades/ prueba organoléptica
0	29	2	1	Olor a plástico fundido, gas y combustible. Color marrón turbio Textura líquida aceitosa
10	134			
20	220			
30	304			
40	436			
50	515			
60	551			

Cuadro 67. Datos experimentales de la pirolisis PS.

Resultados						
ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)	
MUESTRA NO.3 PS	Density @15 °C	ASTM D-1298	0.832	0.820 — 0.870	kg/L	
	Flash Point	ASTM D-93	79.201	55 mín.	°C	
	Cetane Index	ASTM D-976	57.944	45 mín.	---	
	Cloud Point	ASTM D-2500	18.087	-----	°C	
	Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.712	1.8 — 5.0	cSt	
	Distill IBP	ASTM D-86	177.919	-----	°C	
	Distill 10%	ASTM D-86	228.205	-----	°C	
	Distill 20%	ASTM D-86	246.756	-----	°C	
	Distill 50%	ASTM D-86	239.003	290 máx.	°C	
	Distill 90%	ASTM D-86	317.243	370 máx.	°C	
	Distill FBP	ASTM D-86	353.084	-----	°C	
	Pour Point	ASTM D-5297	15.221	-----	°C	
	Net Heat	ASTM D-4848	43.134	-----	MJ/kg	
	Hydrogen	ASTM D-3709	18.246	-----	M%	

Cuadro 68. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS

Este cuadro proporciona información sobre una muestra denominada "MUESTRA NO.2 PS". En él, se detallan los resultados de un análisis exhaustivo realizado para comprender las propiedades y características de la muestra. Estos resultados son comparados con normas o valores de referencia establecidos para evaluar la calidad y las características de la muestra en relación con ciertos estándares.

Densidad a 15 °C:

Se midió la densidad de la muestra a una temperatura de 15 °C, y el valor obtenido fue de 0.832 kilogramos por litro. Esto nos dice cuánta masa tiene la muestra

en relación con su volumen. Esta densidad se encuentra dentro del rango esperado de 0.820 a 0.870 kg/L.

Punto de Inflamación:

El punto de inflamación es la temperatura mínima a la que la muestra puede encenderse. En este caso, se determinó que es de 79.201 °C. Dado que este valor supera el mínimo requerido de 55 °C, la muestra es relativamente segura en términos de inflamabilidad.

Índice de Cetano:

El índice de cetano es un indicador de la calidad del encendido en motores diésel. Aquí, se obtuvo un valor de 57.944. Aunque no se proporciona una norma específica, valores más altos de este índice sugieren un mejor rendimiento en motores diésel.

Punto de Nublado:

El punto de nublado indica la temperatura a la que la muestra comienza a volverse turbia. Para esta muestra, se determinó que es de 18.087 °C. Esto puede ser útil para comprender cómo la muestra se comporta en condiciones más frías.

Viscosidad a 40 °C:

La viscosidad mide la fluidez de la muestra a 40 °C, y se obtuvo un valor de 2.712 centistokes (cSt). Este valor está dentro del rango esperado de 1.8 a 5.0 cSt, lo que sugiere que la muestra fluye adecuadamente en esta temperatura.

Destilación Fraccionada:

Se midieron las temperaturas en las que diferentes porcentajes de la muestra se evaporan durante la destilación, lo que ofrece una idea de su composición a diferentes rangos de temperatura.

Punto de Fluidez:

El punto de fluidez, que indica la temperatura más baja a la que la muestra puede fluir, es de 15.221 °C. Esto es importante para entender cómo se comporta la muestra en climas fríos.

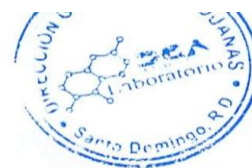
Calor Neto:

El calor neto, que representa la energía liberada durante la combustión, es de 43.134 MegaJulios por kilogramo (MJ/kg). Este valor es útil para evaluar la eficiencia de combustión de la muestra.

Contenido de Hidrógeno:

La muestra contiene un 18.246% de hidrógeno en términos de masa.

Descripción de picos FT-IR MUE-4358-2023



Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #3 PS	19

Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.23	83.20	Alcanos	CH ₃
2	2922.70	60.87		CH ₂
3	2853.38	72.86		CH
4	1696.93	80.95	Cetona aromática	C=O
5	1641.74	95.44	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1605.70	96.33	Aromático	C-H
7	1455.34	86.04	aromático	Benceno mono sustituido
8	1416.78	90.80		
9	1377.68	92.19	alcano	CH ₃
10	1318.05	91.66	Ácidos carboxílico	C-O
11	1286.43	85.44	Ácidos carboxílico	C-O
12	1177.64	95.03	Esteres	C-O
13	1126.92	95.14		
14	991.99	93.80	Alqueno mono sustituido	C-H
15	909.05	84.62	vinilo	C=CH ₂
16	887.96	91.44	aromático	Meta di sustituido benceno
17	711.01	78.01	aromático	Benceno mono sustituido
18	663.02	92.72		
19	546.84	93.70	Cloro alcanos	C-X

Cuadro 69. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS

Alcano:

El primer pico, a una frecuencia de 2956.23 cm⁻¹, representa la vibración de grupos metilo (CH₃) presentes en compuestos alifáticos como los alcanos.

Alcano:

El segundo pico, a 2922.70 cm^{-1} , corresponde a la vibración de grupos metileno (CH_2) también encontrados en compuestos alifáticos.

Alcano:

El tercer pico, a 2853.38 cm^{-1} , indica la vibración de grupos metino (CH) en compuestos alifáticos.

Cetona Aromática:

El cuarto pico, a 1696.93 cm^{-1} , refleja la vibración del grupo carbonilo (C=O) en cetonas aromáticas.

Alcano Mono Sustituido:

El quinto pico, a 1641.74 cm^{-1} , sugiere la presencia de un alcano con un grupo adicional en un anillo cíclico.

Aromático:

El sexto pico, a 1605.70 cm^{-1} , señala la vibración característica del grupo C-H en compuestos aromáticos.

Aromático:

El séptimo pico, a 1455.34 cm^{-1} , indica la existencia de un benceno mono sustituido.

Aromático:

El octavo pico, a 1416.78 cm^{-1} , muestra la vibración de otro benceno mono sustituido.

Alcano:

El noveno pico, a 1377.68 cm^{-1} , vuelve a indicar la vibración de grupos metilo (CH_3) en compuestos alifáticos.

Ácidos Carboxílicos:

El décimo pico, a 1318.05 cm^{-1} , revela la presencia del grupo funcional C-O en ácidos carboxílicos.

Ácidos Carboxílicos:

El undécimo pico, a 1286.43 cm^{-1} , sugiere la existencia de ácidos carboxílicos.

Esteres:

El duodécimo pico, a 1177.64 cm^{-1} , muestra la vibración del grupo C-O en esterres.

Esteres:

El decimotercer pico, a 1126.92 cm^{-1} , indica la vibración de otro grupo C-O en esterres.

Alqueno Mono Sustituido:

El decimocuarto pico, a 991.99 cm^{-1} , señala la vibración de enlaces C-H en alquenos mono sustituidos.

Vinilo:

El decimoquinto pico, a 909.05 cm^{-1} , indica la vibración característica del grupo vinilo ($\text{C}=\text{CH}_2$).

Aromático:

El decimosexto pico, a 887.96 cm^{-1} , sugiere la presencia de un benceno meta di sustituido.

Aromático:

El decimoséptimo pico, a 711.01 cm^{-1} , indica otro benceno mono sustituido.

Aromático:

El decimoctavo pico, a 663.02 cm^{-1} , muestra otro benceno mono sustituido.

Cloro Alcano:

El decimonoveno pico, a 546.84 cm^{-1} , señala la presencia de cloro en compuestos alifáticos.

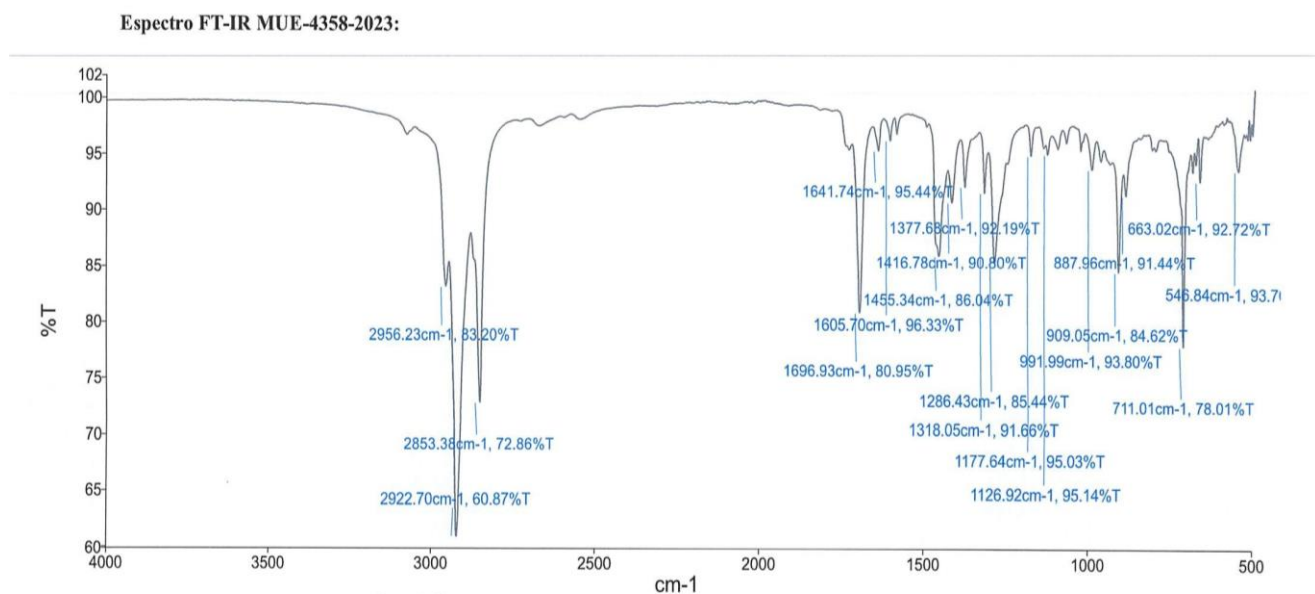


Figura 3. Líquido pirolíticos de residuos plásticos PS

Esta descripción proporciona una comprensión más profunda de los grupos químicos presentes en la muestra "Muestra #2 PS" a través de las vibraciones detectadas en el espectro infrarrojo.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.0 Introducción

En el presente capítulo, se exponen detalladamente los resultados derivados del análisis de Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030. Estos análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio de Aduanas, con el propósito de abordar de manera efectiva las preguntas de investigación planteadas y llegar a conclusiones fundamentadas.

Asimismo, se presentan las recomendaciones pertinentes, alineadas con los objetivos previamente establecidos para esta investigación. Los objetivos específicos que guían este estudio son cuidadosamente delineados, con el fin de brindar un enfoque claro y orientado hacia el logro de resultados significativos. Esta investigación está orientada a alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- 1- Crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y evaluar las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible.
- 2-Clasificar y evaluar la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.
- 3-Aplicar el proceso de pirólisis en residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.
- 4-Valorar los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.
- 5-Analizar el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la agenda 2030.

5.1 Interrogantes de la investigación

5.1.1 ¿Cómo se puede crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y cuáles son las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible?

Primero, se profundizó en la comprensión de los principios fundamentales de la pirólisis y se procedió a la concepción de un reactor de pirólisis a pequeña escala. Este reactor se construyó utilizando un tanque de gas de 50 libras, y se diseñó con la capacidad de almacenar hasta 2 kilogramos de residuos plásticos. Para garantizar un rendimiento óptimo, se implementó un sistema de control de temperatura y otros parámetros clave.

Posteriormente, se llevó a cabo una rigurosa selección de materiales que fueron altamente resistentes tanto al calor como a la corrosión, los cuales fueron empleados en la construcción del reactor y sus componentes. A medida que se avanzaba el proceso, se integraron elementos cruciales para la eficiencia del sistema, como una tecnología de calentamiento apropiada que permita el procesamiento eficiente de los residuos plásticos. Además, se estableció sistemas de control y monitoreo precisos para supervisar y ajustar el proceso según sea necesario.

La recolección de los productos volátiles resultantes de la pirólisis fue facilitada a través de la implementación de sistemas de enfriamiento y condensación. En este punto, es esencial destacar que solo se está describiendo la segunda máquina que se creó, porque fue la que nos funcionó a la perfección, ya que la primera tenía muchos escapes, el reactor diseñado tiene la capacidad de almacenar hasta 2 kilogramos de residuos plásticos, lo que demuestra su capacidad para gestionar un flujo adecuado de materiales. Para asegurar la sostenibilidad ambiental del proceso, se incorporará un sistema de tratamiento de gases diseñado para eliminar de manera efectiva las emisiones nocivas generadas durante la pirólisis.

En última instancia, se diseñó un sistema especializado para la recolección y separación de los productos resultantes de la pirólisis. Este sistema permitió la recuperación eficiente de productos reutilizables, como aceites y gases, para su posterior aplicación. En conjunto, estos pasos forman un proceso integral que busca la

creación de un prototipo funcional de máquina de pirólisis capaz de convertir residuos plásticos en productos reutilizables de manera eficiente y sostenible.

Balseca et al (2021), presenta un enfoque similar. El diseño involucra el establecimiento de parámetros del reactor, el uso de tecnología de calentamiento adecuada y sistemas de condensación. La simulación de comportamiento térmico y estructural también es abordada, garantizando la seguridad y eficacia del prototipo. Para el diseño se establecieron los parámetros requeridos por el reactor, haciendo uso del método de análisis de alternativas que permitieron encontrar la mejor solución, la cual garantice una degradación eficiente de los residuos plásticos.

El prototipo con capacidad 1kg posee; un recipiente a presión, diseñado según la norma ASME VIII División I; una resistencia de tipo banda cerámica la cual otorga la temperatura necesaria para el proceso, misma que oscila entre 450 y 550 °C; instrumentos de media para presión y temperatura; y un sistema de condensación de gases. El modelado del prototipo se lo realizó mediante el Software SolidWorks. Para la simulación se usó el software ANSYS, el mismo que permitió verificar el comportamiento térmico, estructural, así como también de flujo de gases; además se analizó mediante el Software SAP 2000, deformaciones y esfuerzos presentes en la estructura metálica para soporte del equipo; La temperatura óptima para el proceso de pirólisis es de 550°C, además se recubrió el recipiente del reactor con una manta aislante de fibra de cerámica que garantice una temperatura segura al exterior, entre 40 y 50 °C según especifica el reglamento de permiso de trabajo.

La convergencia de datos propios de la investigación actual y los hallazgos de Balseca et al enfatiza la importancia de la investigación detallada, el diseño preciso del reactor y la selección de materiales resistentes al calor y la corrosión. Los aportes de Balseca et al sobre la capacidad y diseño del reactor, respaldados por la simulación y el análisis estructural, enriquecen la comprensión de cómo construir un prototipo eficiente.

En conjunto, el proceso de creación del prototipo se basa en la investigación sólida y la implementación cuidadosa de los principios de la pirólisis. La integración de sistemas de control, monitoreo, enfriamiento, condensación y tratamiento de gases

subraya un enfoque holístico hacia la eficiencia y la sostenibilidad. La capacidad del reactor y el diseño respaldado por Balseca et.al refuerzan la viabilidad y el potencial de éxito del prototipo.

5.1.2 ¿Cuál es la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí?

La proporción de residuos plásticos recolectados en el Municipio de Cotuí se puede calcular mediante la suma de los kilogramos de residuos plásticos recolectados en cada sondeo. Según los datos obtenidos en los sondeos tenemos que:

En el primer sondeo se realizó en el barrio Libertad y se recogieron 103 kilogramos de residuos plásticos. En el segundo sondeo se realizó en el barrio la Altagracia y se recogieron 80 kilogramos de residuos plásticos. En el tercer sondeo se realizó en el barrio el Hato recogieron 75 kilogramos de residuos plásticos. En el cuarto sondeo se realizó en el barrio los Tocones recogieron 58 kilogramos de residuos plásticos.

La proporción total de kilogramos de residuos plásticos es la suma de estos valores, es decir, $103 + 80 + 75 + 58 = 316$ kilogramos de residuos plásticos recolectados en el Municipio de Cotuí.

(Nicodemo, 2015), Sánchez Ramírez posee deficiencias en cuanto al manejo de los desechos. En ese sentido, la problemática del manejo adecuado de la basura en la provincia afecta tanto la calidad del medio ambiente circundante como la salud de las personas que habitan en él. De acuerdo al Plan Estratégico de Desarrollo Sánchez Ramírez (2003-2018), se estima que esta provincia genera alrededor de 100.55 toneladas de basura por día. En el caso de Cotuí, el 65% de los residuos es orgánico mientras que el 35%, inorgánico.

Es importante resaltar que la cantidad de residuos plásticos en el Municipio de Cotuí podría ser aún mayor que la evidenciada en los datos presentados por Nicodemo en 2015, ya que no se disponen de registros más actualizados. Dado el crecimiento demográfico y el aumento en los hábitos de consumo, es razonable suponer que la generación de residuos plásticos haya incrementado en los últimos años. Aunque los datos proporcionados en los sondeos actuales ofrecen una visión parcial de la situación, es necesario considerar la posibilidad de que la magnitud del problema sea más

significativa de lo que los datos anteriores sugieren. Por ende, abordar la gestión de residuos plásticos en el marco de la pirólisis y otras soluciones sostenibles podría ser una estrategia crítica para mitigar la acumulación de desechos plásticos y sus impactos ambientales en la región.

5.1.3 ¿Cómo es el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?

En el Municipio de Cotuí, la pirólisis de residuos plásticos se efectúa mediante un prototipo funcional a pequeña escala construido específicamente para esta investigación. Es importante subrayar que en esta localidad, ni en el país, existe actualmente una máquina dedicada a la transformación de residuos plásticos mediante pirólisis. El proceso del prototipo comprende varias etapas cruciales:

En primer lugar, los residuos plásticos recolectados son preparados al clasificarlos y eliminar contaminantes. Los plásticos son fragmentados para facilitar su procesamiento en el prototipo. A continuación, los trozos de plástico se cargan en el reactor del prototipo, que simula las condiciones de la pirólisis y cuenta con sistemas de control de temperatura y gases. Se aplica un calor controlado al reactor (el cual fue creado con un tanque de gas) utilizando una fuente de calor ajustable (una estufa de una hornilla y gas como combustible), lo que desencadena la descomposición térmica de los plásticos sin llegar a la combustión. A medida que los plásticos se calientan, se descomponen en sus componentes básicos, generando vapores y gases que se separan en el proceso.

Esta descomposición produce productos pirolíticos, como aceites y gases. Los aceites pirolíticos se condensan a partir de los vapores generados y pueden ser utilizados como combustibles o materias primas químicas. Los gases liberados incluyen hidrocarburos gaseosos, que pueden ser aprovechados para generación de energía o como fuente de calor adicional. La recolección y separación de los productos obtenidos es seguida por pruebas y análisis para evaluar su calidad y utilidad. Se implementan sistemas básicos de control de emisiones para capturar los gases liberados durante la pirólisis. Aunque los análisis de los productos líquidos obtenidos son prioritarios, no se

llevaron a cabo evaluaciones exhaustivas de todos los subproductos debido a consideraciones económicas dígase a los subproductos como gases y sólidos.

(Rejas Luis, 2015), en su investigación inició con el diseño y construcción del equipo experimental, un reactor herméticamente sellado necesario para la pirolisis. La hermeticidad es esencial debido a dos razones principales: en la pirolisis, se requiere altas temperaturas y ausencia de oxígeno para evitar la combustión y obtener los resultados deseados; además, para prevenir fugas de gases inflamables que podrían causar incendios y explosiones. Tras el diseño, se construyó el equipo y se sometió a una prueba hidráulica para garantizar la estanqueidad de las conexiones. Durante este proceso, se recolectó la materia prima para las pruebas y se caracterizaron los residuos sólidos generados por los habitantes de Sucre.

En paralelo, en la investigación realizada por Rejas Luis en 2015, se observa una similitud en el enfoque inicial. Su estudio también comenzó con el diseño y construcción de un equipo experimental, un reactor herméticamente sellado, crucial para la pirolisis. La impermeabilidad es esencial debido a la necesidad de altas temperaturas y ausencia de oxígeno para la pirolisis y para evitar fugas de gases inflamables que podrían causar peligros. Su proceso involucra la recolección de materia prima y la caracterización de los residuos sólidos generados por los habitantes de Sucre. Aunque los contextos son diferentes, ambas investigaciones enfocan la importancia de la seguridad y el manejo adecuado en el proceso de pirolisis y destacan la necesidad de evaluaciones exhaustivas de los subproductos obtenidos.

5.1.4 ¿Cuáles son los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos que se encuentran en el Municipio de Cotuí?

Dentro del marco de la pirólisis de residuos plásticos en el contexto de Cotuí, se engendra una variedad de productos de hidrocarburos como fruto de la reacción de descomposición térmica. Los productos primordiales abarcan los aceites pirolíticos, el carbono pirolítico y los gases no condensados. Los aceites pirolíticos, que conforman el componente líquido fundamental, han sido sometidos a un examen en términos de sus propiedades físicas y químicas (espectroscopía infrarroja y caracterización de

combustibles), no obstante, no se sometieron a análisis los productos tales como: los gases y los sólidos debido a consideraciones de índole económica.

Otro subproducto relevante es el carbono pirolítico, que se manifiesta en estado sólido y potencialmente puede ser aplicado en diversas ramas industriales. La reacción de pirólisis también genera gases no condensados, los cuales no fueron objeto de análisis, pero podrían poseer aplicaciones en los ámbitos industrial o energético. Adicionalmente, se lograron obtener otros productos como: alcanos, cetona aromática, alcano mono sustituido, compuestos aromáticos, benceno mono sustituido, ácidos carboxílicos, ésteres, alquenos mono sustituido, vinilo y cloro alcano.

(Bravo, 2023), los productos resultantes de la pirólisis del plástico se dividen en fracciones líquida, sólida y gaseosa, cada una con aplicaciones específicas. La fracción líquida, rica en poder calorífico, se asemeja al diésel en términos energéticos y puede ser utilizada como fuente de energía. La fracción sólida consiste en una masa de carbón proveniente de los plásticos no degradados, con potencial para ser empleado como absorbente. Por su parte, la fracción gaseosa genera hidrocarburos de bajo peso molecular que pueden ser reciclados para generar el calor necesario para la pirólisis, creando un ciclo cerrado. Entre los productos obtenidos se encuentran gases y aceites ligeros, estireno y sus oligómeros, benceno, ácido benzoico, formaldehído, acetaldehído, CO₂, CO, metano, CO aromáticos y tolueno.

El proceso de pirólisis del plástico se ve influido por diversos factores como la temperatura, el tiempo de residencia, la presión, el tipo de reactor, el gas fluidizante y el catalizador. Temperaturas superiores a 500 °C favorecen la formación de gas y carbón, mientras que el rango de 300 a 500 °C es propicio para obtener mayor eficiencia líquida. La presión y el tiempo de residencia, relacionados con la temperatura, afectan la distribución de productos, siendo que una mayor presión resulta en una mayor fase gaseosa y modifica el peso molecular de las fracciones líquida y gaseosa.

5.1.5 ¿Cuál es el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en términos de generación de empleo, creación de oportunidades económicas y reducción de la dependencia de recursos no renovables, en el contexto de la agenda 2030 y su contribución a la calidad ambiental sostenible?

La adopción de tecnologías de pirólisis, como la que se implementó en esta investigación a través de un prototipo funcional a pequeña escala de una máquina de pirólisis, engendra un impacto económico y ambiental significativo. En términos de generación de empleo, desde la recolección y clasificación de residuos plásticos hasta la operación de instalaciones de pirólisis a gran escala, se crearía una fuerza laboral variada, beneficiando a comunidades locales y mejorando la calidad de vida a través de oportunidades de empleo de diversa índole. Además, la pirólisis no sólo conlleva la generación de empleo directo, sino también la creación de oportunidades económicas a través de la innovación y el emprendimiento en torno a la investigación, desarrollo y comercialización de tecnologías relacionadas con la pirólisis, fomentando la economía circular y atrayendo inversiones.

La implementación de la pirólisis en una escala mayor va más allá de lo económico y contribuye a la reducción de la dependencia de recursos no renovables, como el petróleo crudo, al transformar residuos plásticos en productos valiosos como aceites pirolíticos y carbono pirolítico. Esto concuerda con los objetivos de descarbonización y conservación de recursos, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU. La adopción de esta tecnología no sólo se enmarca en la gestión responsable de residuos y producción sostenible, sino que también tiene un impacto en la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de plásticos y recursos fósiles. En última instancia, la pirólisis a gran escala contribuiría al desarrollo socioeconómico sostenible de la región al fortalecer la economía local y crear oportunidades equitativas de empleo.

Gil (2019) et al, la implementación de una planta de pirólisis a gran escala conlleva una serie de beneficios sustanciales. En primer lugar, ofrece una solución eficaz para el manejo de residuos plásticos, reduciendo su acumulación en vertederos y contribuyendo a la preservación del medio ambiente. Además, la generación de empleo en diversas etapas del proceso, desde la recolección hasta la operación y mantenimiento de la planta, impulsaría el desarrollo económico local y la mejora de la calidad de vida de la comunidad. La planta también promueve la producción sostenible al reciclar residuos plásticos en valiosos productos como aceites pirolíticos y carbono pirolítico, disminuyendo la dependencia de recursos no renovables.

Al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, la implementación de esta planta contribuiría a la mitigación del cambio climático y a la promoción de una economía circular, estableciendo una base para el desarrollo socioeconómico y ambientalmente sostenible de la región. Gil (2019) et al.

La adopción de tecnologías de pirólisis, como demostrado a través del prototipo funcional a pequeña escala de una máquina de pirólisis en esta investigación, promete un impacto económico y ambiental de gran envergadura. La implementación a gran escala de la pirólisis no solo generaría empleo diversificado, desde la recolección hasta la operación de instalaciones, mejorando la calidad de vida en comunidades locales, sino también fomentaría oportunidades económicas a través de la innovación y emprendimiento en tecnologías relacionadas. La pirólisis, al reciclar residuos plásticos en productos valiosos como aceites pirolíticos y carbono pirolítico, reduciría la dependencia de recursos no renovables, en sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Más allá de su impacto económico, esta implementación contribuiría a la mitigación del cambio climático, alineándose con la producción sostenible y el desarrollo socioeconómico equitativo en la región.

5.2 Conclusiones

Basándose en las interrogantes planteadas en relación al problema, la contemplación de los objetivos específicos delineados en esta investigación y la consideración de los resultados alcanzados, se derivan las siguientes conclusiones respecto a:

5.2.1 Crear un prototipo funcional de máquina de pirólisis que convierta eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables, y evaluar las ventajas ambientales y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible.

Respecto al primer objetivo, las conclusiones extraídas de esta investigación validan la exitosa creación de un prototipo funcional de máquina de pirólisis a pequeña escala, destacando su capacidad para convertir eficientemente residuos plásticos en productos reutilizables. Los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los habitantes del municipio de Cotuí y entre magísteres en Química y áreas afines subrayan la percepción positiva acerca de la innovación de esta tecnología en la gestión de residuos plásticos, así como su contribución al desarrollo de soluciones sostenibles para su manejo.

Destacándose que el 100% de los magísteres de química y áreas afines consideran que una máquina de pirólisis es una tecnología innovadora en la gestión de residuos plásticos, los cuales están totalmente de acuerdo con que la máquina de pirólisis puede contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de los residuos plásticos.

La meticulosa inmersión en los principios fundamentales de la pirólisis resultó fundamental para la conceptualización y desarrollo del reactor de pirólisis a pequeña escala. La adaptación del tanque de gas de 50 libras como base para el diseño del reactor demostró su capacidad para procesar hasta 2 kilogramos de residuos plásticos, con un énfasis en el control preciso de la temperatura y otros parámetros esenciales para su óptimo rendimiento. La selección rigurosa de materiales resistentes al calor y a la corrosión en la construcción tanto del reactor como de sus componentes fortaleció la integridad del prototipo.

La incorporación de una tecnología de calentamiento adecuada, sistemas de enfriamiento y condensación, junto con un sistema de tratamiento de gases, garantizó una eficiente recuperación de los productos volátiles generados durante la pirólisis. Estos pasos subrayan un enfoque global hacia la eficiencia y sostenibilidad. En última instancia, el exitoso desarrollo del prototipo valida el potencial de la pirólisis como solución en la gestión de residuos plásticos y en la promoción de prácticas sostenibles, en consonancia con los objetivos del desarrollo sostenible.

5.2.2 Clasificar y evaluar la proporción de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

Respecto al segundo objetivo, se concluye con la detallada clasificación y evaluación de la proporción de residuos plásticos recolectados en el Municipio de Cotuí. Los resultados obtenidos a través de los sondeos realizados en distintos sectores han arrojado un total de 316 kilogramos de residuos plásticos, evidenciando una marcada presencia de estos desechos en la localidad. Este hallazgo resalta la importancia de abordar de manera urgente la gestión de estos materiales.

En respuesta a este panorama, surge la necesidad imperante de adoptar enfoques sostenibles para enfrentar la problemática. La aplicación de tecnologías como la pirólisis se posiciona como una solución efectiva para mitigar la acumulación de plásticos y sus implicaciones ambientales en la región. Estos resultados subrayan la relevancia de implementar estrategias de manejo de residuos plásticos que vayan más allá de la recolección y que permitan una gestión integral y responsable de los mismos, en línea con los objetivos de sostenibilidad y conservación del entorno.

5.2.3 Aplicar el proceso de pirólisis en residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

Con respecto al tercer objetivo de investigación, se abordó de manera integral el mismo. El desarrollo del prototipo involucró una serie de etapas fundamentales que garantizaron un proceso eficiente y controlado. Desde la fase inicial de preparación de los residuos, que incluyó su selección y descontaminación, hasta la etapa de descomposición térmica en el reactor del prototipo, cada paso se diseñó para maximizar la obtención de productos pirolíticos valiosos.

La implementación de un riguroso control de temperatura y gases permitió iniciar la descomposición térmica de los plásticos, resultando en la generación de subproductos como aceites y gases. Estos productos poseen un potencial significativo, ya sea como combustibles o como materias primas para la industria química. Para garantizar la seguridad y la sostenibilidad del proceso, se incorporaron sistemas básicos de control de emisiones. Un aspecto relevante es que tanto a nivel local como a nivel nacional, no existe actualmente una máquina dedicada a la transformación de residuos plásticos mediante la pirólisis, lo que resalta la innovación y la necesidad de esta investigación.

En conjunto, este proceso de pirólisis adaptado a los residuos plásticos de Cotuí presenta un enfoque prometedor para la gestión responsable y sostenible de estos desechos. La aplicación exitosa del prototipo demuestra su viabilidad y potencial para generar productos útiles a partir de materiales previamente considerados como desperdicios. Esta contribución no sólo responde a la problemática local, sino que también apunta a una solución más amplia en la gestión de residuos plásticos en el país, estableciendo las bases para una alternativa innovadora y beneficiosa para el entorno y la economía.

5.2.4 Valorar los productos de las mezclas de hidrocarburos resultantes en el proceso de pirólisis de residuos plásticos recolectados que se encuentran en el Municipio de Cotuí.

En relación al cuarto objetivo planteado en esta investigación, se ha logrado una comprensión profunda y detallada de los diversos productos de hidrocarburos generados durante el proceso de pirólisis de los residuos plásticos recolectados en el Municipio de Cotuí. Entre estos productos, se destacan los valiosos aceites pirolíticos, el carbono pirolítico y los gases no condensados. Si bien se ha realizado un análisis exhaustivo de las propiedades físicas y químicas de los aceites pirolíticos, es importante reconocer que debido a limitaciones económicas, no se pudo llevar a cabo un análisis completo de otros productos como los gases y sólidos resultantes.

Particular énfasis se ha puesto en la relevancia del carbono pirolítico, un subproducto en estado sólido que ofrece posibles aplicaciones en diversas ramas industriales. Aunque la investigación actual no profundizó en los gases no condensados, se sugiere su potencial utilidad en los sectores industrial y energético. Además, se han identificado otros compuestos como alcanos, cetona aromática, compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos, enriqueciendo la diversidad de productos obtenidos a través del proceso de pirólisis. Estos descubrimientos subrayan la complejidad y versatilidad de los productos generados por la pirólisis de residuos plásticos en Cotuí.

La amplia gama de productos identificados a través de este estudio destaca la importancia de continuar investigando y explorando las posibles aplicaciones de la pirólisis en la gestión de residuos y en la obtención de valiosos recursos. Estos hallazgos no sólo enriquecen el conocimiento sobre la transformación de residuos plásticos, sino que también pueden impulsar futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos para abordar los desafíos de sostenibilidad y gestión de residuos en el Municipio de Cotuí y más allá.

En conclusión, los resultados obtenidos de la caracterización del hidrocarburo derivado del proceso de pirólisis arrojan información valiosa sobre su composición y propiedades clave. La comparación de los datos con las normas de referencia proporciona una visión más clara de la calidad y las posibles aplicaciones de este hidrocarburo.

En primer lugar, se observó que el punto de inflamación (Flash Point) del hidrocarburo fue de 66.622 °C, lo que indica que el mismo tiene una tendencia relativamente inflamable. Además, el Ceane Index obtenido de 56.939, superando el mínimo de 45, sugiere que este combustible podría tener una buena capacidad de autoencendido en motores diésel.

La viscosidad a 40 °C (Viscosity @40oC) registrada en 2.369 cSt se encuentra dentro del rango esperado de 1.8 a 5.0 cSt, lo que indica una adecuada fluidez a esta temperatura. El análisis de destilación fraccionada reveló que el hidrocarburo tiene puntos de ebullición que se ajustan a los estándares, desde el punto inicial hasta los valores correspondientes al 10%, 20%, 50% y 90% de destilación, así como el punto

final de ebullición (Distill IBP, Distill 10%, Distill 20%, Distill 50%, Distill 90%, Distill FBP).

El punto de fluidez (Pour Point) registrado en 10.084 °C indica que el hidrocarburo mantiene una fluidez adecuada incluso en condiciones frías. Además, el poder calorífico neto (Net Heat) de 43.145 MJ/kg refuerza la eficiencia energética potencial de este combustible.

El contenido de hidrógeno (Hydrogen) registrado en 18.082% es esencial para la calidad de la combustión y puede influir en su eficiencia.

Estos resultados subrayan la importancia de la pirólisis como un proceso que puede convertir los residuos plásticos en productos útiles y valiosos, como el hidrocarburo analizado. Este hidrocarburo puede tener aplicaciones como combustible y en otras industrias, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y energética. La comparación con las normas de referencia refuerza su potencial y respalda la importancia de continuar investigando y desarrollando tecnologías de reciclaje innovadoras para abordar los desafíos actuales de los residuos plásticos.

5.2.5 Analizar el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la agenda 2030.

Respecto al quinto objetivo de investigación, se concluye que el análisis detallado del impacto socioeconómico derivado de la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos en el marco de la Agenda 2030 ha proporcionado una visión integral y alentadora. A través del exitoso desarrollo de un prototipo funcional de máquina de pirólisis a pequeña escala en el transcurso de esta investigación, se ha destacado su capacidad potencial para generar efectos transformadores tanto en el ámbito económico como en el ambiental.

La trayectoria que abarca desde la recolección y clasificación de residuos plásticos hasta la posible operación a gran escala refleja la prometedora oportunidad de

crear empleos y fomentar la actividad económica en diversos niveles. Esta generación de empleo no sólo revitaliza las comunidades locales, sino que también incide positivamente en la calidad de vida mediante una amplia gama de oportunidades laborales. Además del impacto ocupacional directo, la tecnología de pirólisis estimula una esfera más amplia de oportunidades económicas al impulsar la innovación y el emprendimiento en el ámbito de la investigación, desarrollo y comercialización de tecnologías relacionadas, promoviendo de esta manera la economía circular y atrayendo inversiones a la región.

Este impacto económico se ve reforzado por su concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030. La pirólisis no sólo contribuye a reducir la dependencia de recursos no renovables, sino que también se alinea con la visión de descarbonización y preservación de recursos. Asimismo, al abordar las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a la producción de plásticos y recursos fósiles, la tecnología de pirólisis coadyuva a los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

En vista de los resultados, está justificada la investigación, dado que la pirólisis de residuos plásticos surge como una solución prometedora y adaptable para afrontar los actuales desafíos en la gestión de desechos y la sostenibilidad. A través de un proceso de descomposición térmica meticulosamente controlado, se logra la conversión efectiva de estos residuos en recursos valiosos, como los aceites pirolíticos y el carbono pirolítico, presentando perspectivas concretas de disminuir la dependencia en recursos no renovables y mitigar el impacto ambiental.

Más allá de sus beneficios medioambientales, la adopción de tecnologías de pirólisis también genera notables efectos socioeconómicos al impulsar la creación de empleo en diversos ámbitos y catalizar la innovación en la economía circular. En conjunto, la pirolisis de residuos plásticos promete aportes significativos a la agenda global de desarrollo sostenible, mientras guía la transformación hacia una economía más equitativa, circular y responsable.

5.3 Comprobación de hipótesis

En relación con la primera hipótesis (Hipótesis nula: H0) “no existe una relación significativa entre la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos y la calidad ambiental sostenible en el marco de la Agenda 2030”, la misma se rechaza. Los resultados demuestran de manera concluyente que existe una relación altamente significativa entre la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos, y la promoción de una calidad ambiental sostenible en concordancia con los objetivos delineados en la Agenda 2030.

A través del proceso controlado de descomposición térmica, se logra una transformación eficaz de los residuos plásticos en productos valiosos, como los aceites pirolíticos y el carbono pirolítico, contribuyendo directamente a la reducción de la dependencia de recursos no renovables y al alivio del impacto ambiental. La incorporación de tecnologías de pirólisis, junto con sus beneficios medioambientales, conlleva también un impacto socioeconómico positivo al impulsar la creación de empleo en distintos ámbitos y estimular la innovación en la economía circular. En conjunto, estos hallazgos ratifican la estrecha relación entre la implementación de tecnologías de pirólisis y la promoción de la calidad ambiental sostenible, validando así la hipótesis alternativa propuesta.

En relación con la segunda hipótesis (alternativa: H1) “La implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos tiene un impacto significativo en la calidad ambiental sostenible en el marco de la Agenda 2030, promoviendo la reducción de la contaminación plástica y fomentando prácticas de economía circular” los resultados obtenidos respaldan de manera contundente la misma.

A través del proceso controlado de descomposición térmica, se logra la conversión efectiva de los residuos plásticos en recursos valiosos como los aceites pirolíticos y el carbono pirolítico, contribuyendo de manera directa a la reducción de la contaminación plástica y al fomento de prácticas de economía circular. La adopción de estas tecnologías no sólo reduce la acumulación de residuos plásticos, sino que también estimula la innovación en el ámbito de la economía circular, impulsando así la sostenibilidad ambiental.

5.4 Recomendaciones

Al Gobierno de la República Dominicana

Se les recomienda:

Que adopte una estrategia integral para abordar la problemática de la acumulación de residuos plásticos en el país. En este sentido, es crucial promover la investigación, desarrollo y aplicación de tecnologías de pirólisis, como una medida efectiva para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos.

La creación de políticas y regulaciones que fomenten la inversión en estas tecnologías, así como la colaboración entre el sector público y privado.

Además, se les sugiere establecer programas de sensibilización y educación ciudadana que destaquen la importancia de reducir la contaminación plástica y promuevan prácticas de consumo responsable.

La implementación de incentivos fiscales y financieros para empresas y emprendedores que se involucren en soluciones sostenibles de gestión de residuos plásticos.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Se les recomienda:

Fortalecer y promover políticas públicas que fomenten la investigación y aplicación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos como una estrategia clave para la sostenibilidad ambiental.

Establecer incentivos y apoyos económicos para proyectos piloto y emprendimientos que utilicen la pirólisis como herramienta de gestión de residuos plásticos.

Promover la concienciación y educación ambiental a nivel nacional sobre los beneficios de la pirólisis y su contribución a la Agenda 2030.

Ayuntamiento Municipal del Municipio de Cotuí

Se les recomienda:

Considerar la implementación progresiva de tecnologías de pirólisis en su estrategia de gestión de residuos plásticos.

Se sugiere establecer alianzas estratégicas con entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y actores privados para asegurar la inversión y el apoyo necesario en esta transición hacia una gestión de residuos más sostenible.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO):**Se les recomienda:**

Fomentar la investigación interdisciplinaria que aborde la temática de la pirólisis y su aplicación en el contexto de la Agenda 2030, promoviendo proyectos de investigación y desarrollo en esta área.

Ofrecer programas de formación y capacitación sobre pirólisis y tecnologías de reciclaje de residuos plásticos, involucrando a estudiantes y docentes en la búsqueda de soluciones sostenibles para el medio ambiente.

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT)**Se les recomienda:**

Establecer becas y ayudas de investigación para estudiantes y profesionales interesados en profundizar en el estudio de la pirólisis y su potencial como herramienta de sostenibilidad ambiental.

Fomentar la colaboración entre universidades e instituciones de investigación para la ejecución de proyectos conjuntos relacionados con la pirólisis y su impacto en la calidad ambiental.

A la Cooperativa Vega Real**Se les recomienda:**

Continuar su apoyo económico a jóvenes emprendedores con iniciativas sostenibles, como la implementación de tecnologías de pirólisis para el reciclaje de residuos plásticos.

A seguir proporcionando recursos financieros a proyectos que promuevan la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente,

Se les sugiere establecer programas de mentoría y capacitación para estos jóvenes emprendedores, para que puedan desarrollar sus ideas de manera efectiva y sostenible.

Invertir en el talento y la creatividad de la juventud, promoviendo así un impacto positivo en la comunidad y la calidad de vida de sus habitantes.

A los estudiantes de la Maestría en Química**Se les recomienda:**

Continuar explorando e investigando en el campo de la pirólisis y su aplicación en el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos, como una forma de contribuir activamente a la sostenibilidad ambiental.

Compartir los hallazgos y conocimientos adquiridos en la investigación con la comunidad académica y la sociedad en general, promoviendo la difusión de información relevante sobre la pirólisis y sus beneficios para la calidad ambiental sostenible.

Integrar el enfoque de la Agenda 2030 en futuros proyectos y actividades de investigación relacionadas con la pirólisis, buscando siempre contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por las Naciones Unidas.

Referencias

- Álvarez, D. O. (15 de Julio de 2021). Obtenido de <https://concepto.de/producto-en-quimica/>
- Álvarez, D. O. (30 de Septiembre de 2021). *Enciclopedia Humanidades*. Obtenido de Enciclopedia Humanidades.: <https://humanidades.com/hidrocarburos/>
- Álvarez, D. O. (2023). *Polímeros*. Obtenido de Lic. en Radioquímica (Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. La Habana, Cuba). Dra. en Ciencia y Tecnología (Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, Argentina).: <https://humanidades.com/polimeros/>
- Álvarez, S. M. (25 de Mayo de 2023). *Guía sobre el PET: propiedades, producción y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.plastico.com/es/noticias/guia-sobre-el-pet-propiedades-produccion-y-aplicaciones>
- Andagua, J. G. (2020). *Obtención de combustibles a partir de residuos de polipropileno reciclado, mediante*. Latacunga.
- Armadas. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 66-.
- Arteaga, P. M. (2020). *Composición química*. Obtenido de Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/composicion-hidrocarburos.html#:~:text=La%20base%20at%C3%B3mica%20de%20los,6H12O6>.
- Balseca-Sampedro, O. F., Stalin Wladimir Chela-Hinojosa , Sócrates Miguel Aquino-Arroba, & Juan Daniel Figueroa-Moreno. (2021). *Diseño de un prototipo de reactor de pirólisis térmica para la descomposición y provechamiento de residuos plásticos fabricados a partir de: PP, PE, Y PS*. Ecuador: Ciencias técnicas y aplicadas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Bercero, R. G. (5 de Enero de 2021). *Universidad Nacional Autónoma De México*. Obtenido de <https://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- Beston. (2023). *BESTON*. Obtenido de BESTON: <https://bestoncompany.com/es/small-pyrolysis-plant/amp/>
- BESTON. (2023). *BESTON*. Obtenido de BESTON: <https://www.bestoneco.com/maquina-para-pirolisis-de-plasticos/#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20de%20pir%C3%B3lisis%20de,bien%20recibida%20en%20muchos%20pa%C3%ADses>.
- Beston. (2023). *Ventajas de la máquina de pirólisis*. Obtenido de BESTON: <https://www.bestoneco.com/maquina-para-pirolisis-de-plasticos/>
- Bravo, L. D. (2023). *OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS MEDIANTE EL PROCESO DE PIRÓLISIS*. Catelca: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ. Obtenido de https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/2085/1/TIC_IA39D.pdf
- Briceño, G. (2018). *Euston96*. Obtenido de Euston96: <https://www.euston96.com/pirolisis/>

- Briceño, G. (15 de Mayo de 2022). *Euston96*. Obtenido de Euston96: <https://www.euston96.com/pirolisis/>
- CAIRPLAS. (2018). *CAIRPLAS*. Obtenido de CAIRPLAS: <https://cairplas.org.ar/plasticos/>
- Cajal, A. (2019). *Investigación de Campo: Características, Tipos, Técnicas y Etapas*. Obtenido de file:///C:/Users/Merichel/Downloads/Investigaci%C3%B3n%20de%20Campo.pdf
- Caleño, F. D. (2020). *EVALUACIÓN DE LA PIRÓLISIS COMO UN MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS A PARTIR DE LOS PLÁSTICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE*. Santiago de Cali. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluaci%C3%B3n-de-la-pir%C3%B3lisis-como-un-m%C3%A9todo-para-la-a-Cale%C3%B1o/e62fd675e7eadfeb44c1d9d6e8a44addba9efc3a>
- Campos, M. (15 de Abril de 2018). *academia.utp*. Obtenido de academia.utp: <https://academia.utp.edu.co/quimica2/2018/04/15/inicios-historicos-de-la-cinetica-quimica/>
- Canarias, G. d. (2023). *Gobierno de Canarias*. Obtenido de Gobierno de Canarias: <https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/calidad/contaminantes-atmosfericos/hidrocarburos/#:~:text=La%20emisi%C3%B3n%20de%20hidrocarburos%20proviene,petr%C3%B3leo%2C%20alimentaci%C3%B3n%20y%20qu%C3%ADmica%20org%C3%A1nica.>
- Cano, G. A. (2017). *ESTUDIO PRELIMINAR DE LA PIRÓLISIS CATALÍTICA DE DESECHOS PLÁSTICOS PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES*. Mexico.
- Cecchini, S. (2019). *estudios estadísticos y prospectivos*. Obtenido de Impacto socioeconómico: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4735/S05707_es.pdf
- Chimin, Y. H. (2016). *Obtención de gasolina y gasóleo, a partir de la pirólisis de materiales plásticos de desechos*. *Revista Tecnológica*.
- Cid, M. d. (2017). *Cotuí, República Dominicana*. Obtenido de <https://www.visitarepublicadominicana.org/cotui>
- Coluccio, E. (15 de julio de 2021). *Termodinámica*. Obtenido de <https://cuestionessocial.com.ar/que-estudia-la-termodinamica/>
- Coviello, M. F. (05 de Mayo de 2023). *BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA TRANSPORTE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3638/S2008449_es.pdf
- Custodio, Á. (2023). *Química analítica*. Obtenido de IQS: <https://www.iqs.edu/es/que-estudia-quimica-analitica#:~:text=La%20Qu%C3%ADmica%20Anal%C3%ADtica%20estudia%20los,naturaleza%20qu%C3%ADmica%20de%20la%20materia.>
- DURAN, J. (17 de Mayo de 2023). *Listin Diario*. Obtenido de Listin Diario: https://listindiario.com/la-republica/20230517/estudiantes-dominicanos-crean-reactor-convertir-sargazo-plastico-combustible_753785/amp.html

- Ecoembes. (26 de 11 de 2021). *Ecoembes*. Obtenido de Ecoembes: <https://ecoembesdudasreciclaje.es/que-es-exactamente-el-pet/>
- Ensinger. (2022). *Ensinger*. Obtenido de Ensinger: <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plasticos-industriales/pp>
- Envaselia. (2018). *Envaselia*. Obtenido de Envaselia: <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>
- Envaselia. (2018). *Envaselia*. Obtenido de Envaselia: <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-o-pebd-id19.htm>
- Espinosa, A. (2023). *docsity*. Obtenido de docsity: <https://www.docsity.com/es/clasificacion-de-los-plasticos/9625349/>
- et.al, M. (2014). *ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA PRELIMINAR PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES MEDIANTE LA PIRÓLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. . Cuenca.
- Fornaris, P. (19 de Agosto de 2022). *Tiempo*. Obtenido de ¿Qué es una línea de tiempo y cómo se organizan?: <https://www.portaleducativo.net/quinto-basico/507/Que-es-una-linea-de-tiempo-como-se-organizan>
- Frías, J. G. (2020). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de acciona: https://www.acciona.com/es/desarrollo-sostenible/?_adin=02021864894
- García Astillero, A. (10 de Julio de 2019). *Contaminación por plásticos: causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-plasticos-causas-consecuencias-y-soluciones-2114.html>
- Gil, S. A. (julio/diciembre de 2019). *scielo*. Obtenido de scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000200306
- Gil, S. A., Alba N Ardila Arias, & Rolando Barrera Zapata. (2019). *Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos*. Scielo. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000200306
- Gil, S. A., Alba N Ardila Arias, & Rolando Barrera Zapata. (2019). *Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos* (Vol. Ing. Desarro. vol.37 no.2 Barranquilla July/Dec. 2019). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000200306
- Gómez, J. J. (Septiembre de 2019). *ecoplas*. Obtenido de ecoplas: <http://ecoplas.org.ar/pdf/3.pdf>
- Guillermo, M. Á. (2023). *Química Orgánica*. Obtenido de <https://www.com/es/stem/quimica-organica/>
- Henar. (22 de Mayo de 2023). *PS*. Obtenido de <https://www.ecovidasolar.es/blog/tipos-de-plasticos-toxicidad-y-usos/>

- Henar, P. D. (12 de 12 de 2019). *20minutos*. Obtenido de 20minutos: <https://www.20minutos.es/noticia/4085684/0/que-tipos-plastico-pueden-reciclar/>
- Hernandez, O. A. (16 de Junio de 2017). *revistas*. Obtenido de revistas: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1147/1486>
- ILBAY, O. G. (2018). *dspace.esepoch*. Obtenido de dspace.esepoch: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10427/1/96T00480.PDF>
- Ivana, E. (2022). *PP - Polipropileno*. Obtenido de <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plasticos-industriales/pp>
- Jiménez, D. C. (2022). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS APLICADO AL MATERIAL LIGNOCELULOSICO RESIDUAL PROVENIENTE DEL PINO PATULA EN ATMOSFERA DE DIOXIDO DE CARBONO*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20DIANA%20CATHERINE%20CASTRO%20JIM%20C3%89NEZ%20.pdf?sequence=1>
- Jubedi. (2022). *LDPE (POLIETILENO BAJA DENSIDAD)*. Obtenido de <https://jubedi.com/comercializacion-de-plasticos/ldpe-polietileno-baja-densidad/>
- L., R. (2015). *Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos*. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- Lehn, J.-M. (2021). *UNESCO*. Obtenido de UNESCO: <https://es.unesco.org/courier/yanvar-mart-2011-g/quimica-ciencia-y-arte-materia>
- Leskow, E. C. (13 de Junio de 2022). *concepto*. Obtenido de concepto: <https://concepto.de/temperatura/>
- LinkedIn. (2023). *LinkedIn*. Obtenido de LinkedIn: https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-exactamente-una-planta-de-pir%C3%B3lisis-residuos-y-c%C3%B3mo?trk=articles_directory#:~:text=El%20principio%20principal%20asociado%20con,de%20aceite%20en%20aceite%20l%C3%ADquido.
- Lucin, J. C. (Mayo de 2017). *repositorio*. Obtenido de repositorio: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18340/1/401-1230%20-%20Obtenci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20combustible%20a%20partir%20de%20desechos%20termopl%C3%A1sticos.pdf>
- M. Crotti, S. B. (12 de Septiembre de 2021). *inlab*. Obtenido de inlab: http://www.inlab.com.ar/Compos_HC.htm
- M. Crotti, S. B. (2021). *inlab*. Obtenido de inlab: http://www.inlab.com.ar/Compos_HC.htm
- Mancheno, M. (2022). *APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS PLÁSTICOS OBTENIENDO COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, POR MEDIO DE PIRÓLISIS*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051461008/html/>
- Merck. (2022). Obtenido de Merck: <https://www.sigmaaldrich.com/DO/es/applications/analytical-chemistry/gas-chromatography>

- Monds. (24 de Julio de 2023). *¿Qué es el Desarrollo Sostenible y cuál es su origen?* Obtenido de <https://municipiods.com/desarrollo-sostenible/>
- Neysi. (2023). *conceptos*. Obtenido de conceptos: <https://10conceptos.com/concepto-de-analisis-quimico/>
- Nicodemo, A. D. (2015). *PERFIL SOCIO-ECONÓMICO Y MEDIO AMBIENTAL*. Cotuí, Sánchez Ramírez, República Dominicana: Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Obtenido de https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/do/pnud_do_perfsanchezramirez.pdf
- Núñez, C. (2023). *Ferrovial*. Obtenido de Los Hidrocarburos: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/hidrocarburos/>
- O.Flores. (2023). *El petroleo*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos100/monografia-petroleo/monografia-petroleo>
- OIT. (2021). *OIT*. Obtenido de OIT: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-lima/documents/publication/wcms_827562.pdf
- Ojeda, J. P. (10 de Septiembre de 2019). Generación de residuos de plástico: la importancia de la prevención. *PiPP*. Obtenido de <http://www.politicaspublicas.uncu.edu.ar/articulos/index/generacion-de-residuos-de-plastico-la-importancia-de-la-prevencion#:~:text=Se%20genera%20un%20residuo%20de,pl%C3%A1sticos%20es%20su%20larga%20duraci%C3%B3n.>
- Ojeda, J. P. (10 de Septiembre de 2019). *Residuos Plásticos*. Obtenido de Clasificación: <http://www.politicaspublicas.uncu.edu.ar/articulos/index/generacion-de-residuos-de-plastico-la-importancia-de-la-prevencion#:~:text=Se%20genera%20un%20residuo%20de,pl%C3%A1sticos%20es%20su%20larga%20duraci%C3%B3n.>
- ONU. (2023). *undp*. Obtenido de undp: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/alianza-para-lograr-los-objetivos>
- Palmay, P. (05 de Abril de 2021). *ciencialatina*. Obtenido de ciencialatina: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/464/570>
- Peláez, J. (2023). *Química ambiental*. Obtenido de EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001413.pdf>
- Pinos, V. (13 de Septiembre de 2019). *UCUENCA*. Obtenido de UCUENCA: <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1289-quimica?Itemid=437#:~:text=Un%20catalizador%20es%20una%20sustancia,desacele%20la%20velocidad%20de%20reacci%C3%B3n.>

- Portillo, G. (2019). *RenovablesVerdes*. Obtenido de RenovablesVerdes: <https://www.renovablesverdes.com/pirolisis/>
- RAE. (2023). *RAE*. Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/residencia>
- Ramírez, H. (16 de Diciembre de 2021). *La sustitución del plástico de un solo uso en la industria dominicana*. Obtenido de <http://revistacontactord.com/la-sustitucion-del-plastico-de-un-solo-uso-en-la-industria-dominicana/#:~:text=Datos%20de%202020%2C%20del%20Banco,se%20gestionan%20unas%2022%20mil>
- Ramos, W. (Enero de 2020). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/344968247_Calidad_de_los_Combustibles_Liquidos_Piroliticos_Obtenidos_por_Pirolisis_de_Residuos_Plasticos
- Razo, C. (31 de Octubre de 2018). *residuosprofesional*. Obtenido de residuosprofesional: <https://www.residuosprofesional.com/calidad-plastico-reciclado-obstaculo-uso/>
- Rejas Luis, C. B.-M. (2015). *Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos*. Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología, Carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Petróleo y Gas Natural, Calle Regimiento Campos Nro. 180, teléfono 591-4-53488, Sucre - Bolivia. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872015000100005
- Rejas, L., Carreón, B., Ortiz, M., Llanes, L., & Copa, M. (08 de Octubre de 2019). Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. (591-4-53488), Rev. Cien. Tec. In. vol.10 no.11 Chuquisaca.
- Rodríguez, A. G. (2022). *GOV.CO*. Obtenido de El plástico, ¿un problema ambiental?: <https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/biodiversidad/el-plastico-un-problema-ambiental>
- Rojas, A. E. (2016). *Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis*. Salamanca.
- Rojas, M. (2023). *La contaminación por plásticos*. Obtenido de <https://circulaelplastico.cl/noticias/dia-internacional-contra-el-cambio-climatico/>
- RUIZ, I. G. (2021). *uv.mx*. Obtenido de uv.mx: https://www.uv.mx/veracruz/miaplicada/files/2021/07/Tesis_Gerardo-Huerta-Ruiz.pdf
- Sampieri, R. H., & F, C. (2014). *Metodología de la investigación científica*. México: McGraw-Hill. Obtenido de [file:///C:/Users/Merichel/Downloads/SAMPERI%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%202018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Merichel/Downloads/SAMPERI%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%202018%20(1).pdf)
- Scoot, I. (2020). *Soliciones medio ambientales para el tratamiento de residuos*. Obtenido de ENC ENERGY: <https://www.encenergy.com/es/tecnologias-y-soluciones/gasificacion-y-pirolisis-de-residuos/>

- Themoney. (2023). *Rentabilidad económica*. Obtenido de <https://themoney.co/es/is-pyrolysis-plant-profitable/>
- Tosoni, G. A. (02 de Mayo de 2023). *scielo*. Obtenido de scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362007000300007#:~:text=El%20nivel%20de%20empleo%20del,y%20externo%20de%20la%20econom%C3%ADa.
- UNDP. (2023). *UNDP*. Obtenido de UNDP: <https://stories.undp.org/plasticos-y-cambio-climatico#:~:text=Los%20pl%C3%A1sticos%20generan%20emisiones%20de,pl%C3%A1sticos%20o%20las%20fugas%20ambientales.>
- Urios, M. I. (2021). *Reactor*. Obtenido de <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33262/1/APUNTES%20RM.pdf>
- Vargas, K. (2012). *Métodos de enseñanza del área de estudios sociales en el rendimiento*. Obtenido de <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1657/1/m%c3%89todos%20>
- VARGAS, M. P. (2022). *repository.uamerica*. Obtenido de repository.uamerica.: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8972/1/4171223-2022-2-IM.pdf>
- William, S. (2019). *International Energy Outlook 2019*. Information Administration Sitio web: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf).

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para prueba diagnóstica.

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

**Anteproyecto de Investigación para Optar por el Título de Magister
en Química**

**Instrumento de Recolección de Datos dirigido a los habitantes del
Municipio de Cotuí**

El instrumento que a continuación se presenta está diseñado para brindar apoyo a una investigación que se llevará a cabo como trabajo de postgrado, con el objetivo de obtener el título de Magister en Química con mención en el tema de "Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030".

El instrumento consta de 30 preguntas cerradas y se ha diseñado de manera confidencial y anónima para preservar la privacidad de los participantes. El enfoque principal de la investigación se centra en la aplicación de la pirólisis como una técnica innovadora para el reciclaje y aprovechamiento de los residuos plásticos, en línea con los objetivos de la Agenda 2030 para lograr una calidad ambiental sostenible.

Los participantes pueden estar seguros de que todas las respuestas proporcionadas son tratadas de manera confidencial y anónima, asegurando así la privacidad y el respeto a su identidad personal. Se garantiza que la información recopilada se utilizará exclusivamente para fines académicos y de investigación.

La colaboración y dedicación de los participantes son fundamentales para el éxito de este trabajo de postgrado y para avanzar hacia un enfoque más sostenible en el

tratamiento de los residuos plásticos, en consonancia con los objetivos establecidos en la Agenda 2030.

Se agradece de antemano la participación y el tiempo dedicado a completar este instrumento de recolección de datos, y se valora el compromiso con la investigación científica en beneficio del medio ambiente y de la sociedad en general.

Nº	ÍTEMS
Variable I. Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible	
1	¿Qué tan familiarizado/a estás con el concepto de máquina de pirólisis? a) Muy familiarizado/a. b) Algo familiarizado/a. c) Poco familiarizado/a. d) No familiarizado/a. e) No estoy seguro/a.
2	¿Consideras que la máquina de pirólisis es una tecnología innovadora en la gestión de residuos plásticos? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
3	¿Crees que la máquina de pirólisis contribuye al reciclaje efectivo de los residuos plásticos? a) Sí, de manera significativa. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
4	¿Cuál crees que es uno de los principales beneficios de utilizar una máquina de pirólisis para el aprovechamiento de residuos plásticos? a) Conversión de residuos plásticos en productos de valor agregado. b) Reducción de la producción de residuos plásticos en general. c) Eliminación completa de los residuos plásticos. d) No lo sé e) No estoy seguro/a.

5	¿Crees que la implementación de máquinas de pirólisis puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
6	¿Qué tanto conocimiento tienes sobre el concepto de desarrollo sostenible y su relación con la pirólisis y el reciclaje de residuos plásticos? a) Tengo un amplio conocimiento al respecto. b) Tengo un conocimiento básico. c) Tengo un conocimiento limitado. d) No tengo conocimiento sobre este tema. e) No estoy seguro/a.
7	¿Consideras que la pirólisis y el aprovechamiento de residuos plásticos son prácticas alineadas con el desarrollo sostenible? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
8	¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible? a) Crecimiento económico, igualdad social y conservación del medio ambiente. b) Innovación tecnológica, reducción de emisiones y justicia climática. c) Eficiencia energética, cooperación internacional y desarrollo humano. d) no lo sé e) No estoy seguro/a.
9	¿Crees que el reciclaje y el aprovechamiento de residuos plásticos pueden contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
10	¿Qué importancia le das al desarrollo sostenible para asegurar un futuro equitativo y próspero para las generaciones venideras?

	a) Es de suma importancia. b) Es importante, pero hay otras prioridades. c) No considero que sea tan relevante. d) Realmente no lo sé e) No estoy seguro/a.
Variable II. Residuos plásticos	
11	¿Qué tan consciente estás sobre la problemática de los residuos plásticos en tu comunidad? a) Muy consciente. b) Algo consciente. c) Poco consciente. d) Realmente no lo sé e) No consciente.
12	¿Cuál de las siguientes acciones consideras más efectiva para reducir los residuos plásticos? a) Promover el uso de alternativas biodegradables y compostables. b) Implementar sistemas de reciclaje eficientes. c) Fomentar la reutilización de productos y envases de plástico. d) Realmente no lo sé e) No estoy seguro/a.
13	¿Crees que la pirólisis es una solución viable para el aprovechamiento de los residuos plásticos? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
14	¿Qué importancia le das a la gestión adecuada de los residuos plásticos para lograr una calidad ambiental sostenible? a) Es de suma importancia. b) Es importante, pero hay otras prioridades ambientales. c) No considero que sea tan relevante. d) Realmente no lo sé e) No estoy seguro/a.
15	¿Crees que es responsabilidad de todos los miembros de la comunidad participar en la reducción y gestión adecuada de los residuos plásticos? a) Sí, cada persona tiene un papel importante que desempeñar. b) Solo algunos miembros de la comunidad deberían responsabilizarse. c) No, esa responsabilidad recae únicamente en entidades gubernamentales. d) Quizás e) No estoy seguro/a
Variable III. Pirólisis	
16	¿Cuál es la principal aplicación de la pirólisis?

	a) Producción de energía eléctrica. b) Reciclaje de plásticos. c) Tratamiento de residuos peligrosos. d) Fabricación de productos químicos. e) No estoy seguro/a.
17	¿Qué impacto ambiental tiene la pirólisis? a) Emisiones de gases de efecto invernadero. b) Contaminación de cuerpos de agua. c) Generación de residuos tóxicos. d) Deforestación. e) Ninguno, es un proceso limpio.
18	¿Cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis? a) Contenido de azufre. b) Viscosidad. c) Punto de fusión. d) Coloración. e) Densidad energética.
19	¿Cuál es uno de los beneficios económicos de la pirólisis? a) Reducción de costos de energía. b) Generación de empleo local. c) Aumento de las exportaciones. d) Incremento de la inversión extranjera. e) Disminución del precio de los productos químicos.
20	¿Por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad? a) Para reducir la dependencia de combustibles fósiles. b) Para mejorar la calidad del aire. c) Para minimizar la generación de residuos. d) Para fomentar la innovación tecnológica. e) Todas las anteriores.
Variable IV. Mezclas de hidrocarburos	
21	¿Qué tanto conocimiento tienes sobre las mezclas de hidrocarburos y su relación con la pirólisis?

	a) Tengo un amplio conocimiento al respecto. b) Tengo un conocimiento básico. c) Tengo un conocimiento limitado. d) Realmente no lo sé e) No tengo conocimiento sobre este tema.
22	¿Crees que las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis pueden ser utilizadas como una fuente de energía alternativa? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
23	¿Consideras que el aprovechamiento de las mezclas de hidrocarburos generadas en la pirólisis contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles? a) Sí, de manera significativa. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
24	¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor el potencial impacto ambiental de las mezclas de hidrocarburos obtenidas mediante la pirólisis? a) Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. b) Incremento de la contaminación del aire. c) Aumento de la deforestación. d) Realmente no lo sé e) No estoy seguro/a.
25	¿Crees que la promoción y utilización de las mezclas de hidrocarburos como una fuente de energía alternativa está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030? a) Sí, definitivamente. b) Sí, en cierta medida. c) No, no lo creo. d) Quizás e) No estoy seguro/a.
Variable V. impacto socioeconómico	

26	En términos de generación de empleo, ¿en qué medida percibe la comunidad local que la implementación de tecnologías de pirolisis ha contribuido a la creación de nuevas oportunidades laborales? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) De acuerdo d) Realmente no lo sé e) Totalmente de acuerdo
27	En relación con las oportunidades económicas, ¿en qué medida considera la comunidad local que la implementación de tecnologías de pirolisis ha impulsado el crecimiento económico y la diversificación de la economía local? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) De acuerdo d) Realmente no lo sé e) Totalmente de acuerdo
28	¿En qué medida cree la comunidad local que la implementación de tecnologías de pirolisis ha reducido la dependencia de recursos no renovables y ha promovido un enfoque más sostenible en la gestión de residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) De acuerdo d) Realmente no lo sé e) Totalmente de acuerdo
29	¿Cuál es su percepción sobre la participación y el involucramiento de la comunidad local en la cadena de valor de la pirolisis, en términos de generación de empleo y creación de oportunidades económicas? a) Muy baja b) Baja c) Moderada d) Realmente no lo sé e) Muy alta
30	¿Cuál es su evaluación de los desafíos y oportunidades asociados con el impacto socioeconómico de la implementación de tecnologías de pirolisis en su comunidad en el marco de la agenda 2030? a) Desafíos mayores que oportunidades b) Desafíos ligeramente mayores que oportunidades c) Equilibrio entre desafíos y oportunidades d) Oportunidades ligeramente mayores que desafíos e) Oportunidades mayores que desafíos

Anexo 2. Instrumento para prueba diagnóstica.

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado
Instrumento de Recolección de Datos dirigido a Magister del área de
Química y áreas afines.

El instrumento que a continuación se presenta está diseñado para brindar apoyo a una investigación que se llevará a cabo como trabajo de postgrado, con el objetivo de obtener el título de Magister en Química con mención en el tema de "Pirólisis: Innovación, Reciclaje y Aprovechamiento de Residuos Plásticos para la Calidad Ambiental Sostenible en el Marco de la Agenda 2030".

El instrumento consta de 30 preguntas cerradas y se ha diseñado de manera confidencial y anónima para preservar la privacidad de los participantes. El enfoque principal de la investigación se centra en la aplicación de la pirólisis como una técnica innovadora para el reciclaje y aprovechamiento de los residuos plásticos, en línea con los objetivos de la Agenda 2030 para lograr una calidad ambiental sostenible.

Los participantes pueden estar seguros de que todas las respuestas proporcionadas son tratadas de manera confidencial y anónima, asegurando así la privacidad y el respeto a su identidad personal. Se garantiza que la información recopilada se utiliza exclusivamente para fines académicos y de investigación.

La colaboración y dedicación de los participantes fueron fundamentales para el éxito de este trabajo de postgrado y para avanzar hacia un enfoque más sostenible en el tratamiento de los residuos plásticos, en consonancia con los objetivos establecidos en la Agenda 2030.

Se agradece de antemano la participación y el tiempo dedicado a completar este instrumento de recolección de datos, y se valora el compromiso con la investigación científica en beneficio del medio ambiente y de la sociedad en general.

N°	ÍTEMS
Variable I. Máquina de pirólisis y Desarrollo sostenible	
1	¿Qué tan familiarizado/a estás con el concepto de máquina de pirólisis? a) Muy familiarizado/a. b) Algo familiarizado/a. c) Poco familiarizado/a. d) No familiarizado/a. e) No estoy seguro/a.
2	¿La máquina de pirolisis es una tecnología prometedora para el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
3	¿La máquina de pirolisis contribuye a la reducción de la contaminación ambiental causada por los residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
4	¿La máquina de pirolisis puede contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de los residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

5	¿La máquina de pirolisis es una tecnología que debería ser promovida e implementada a mayor escala en el futuro? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
6	¿Considera que el uso de la máquina de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
7	¿Opina que el aprovechamiento de los residuos plásticos a través de la pirolisis puede promover la transición hacia una economía circular y sostenible? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
8	¿Cree que la implementación de tecnologías de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos puede mejorar la gestión sostenible de los recursos naturales? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
9	¿Considera que la pirolisis de residuos plásticos puede contribuir a reducir la huella ambiental y promover prácticas más sostenibles? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

10	¿Opina que el fomento de la pirolisis como alternativa sostenible para el manejo de residuos plásticos puede tener un impacto positivo en el desarrollo sostenible a nivel global? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
Variable II. Residuos plásticos	
11	¿Los residuos plásticos representan una seria amenaza para el medio ambiente y la salud humana? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
12	¿El aumento en la producción y consumo de plásticos ha generado una crisis global de residuos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
13	¿Es necesario implementar estrategias efectivas para reducir la generación de residuos plásticos en la sociedad? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
14	¿La investigación científica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo de residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

15	¿La colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos es esencial para abordar eficazmente el problema de los residuos plásticos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
Variable III. Pirólisis	
16	¿Cuál es la principal aplicación de la pirólisis? a) Producción de energía eléctrica. b) Reciclaje de plásticos. c) Tratamiento de residuos peligrosos. d) Fabricación de productos químicos. e) No estoy seguro/a.
17	¿Qué impacto ambiental tiene la pirólisis? a) Emisiones de gases de efecto invernadero. b) Contaminación de cuerpos de agua. c) Generación de residuos tóxicos. d) Deforestación. e) Ninguno, es un proceso limpio.
18	¿Cuál es uno de los indicadores de calidad de los productos obtenidos por pirólisis? a) Contenido de azufre. b) Viscosidad. c) Punto de fusión. d) Coloración. e) Densidad energética.
19	¿Cuál es uno de los beneficios económicos de la pirólisis? a) Reducción de costos de energía. b) Generación de empleo local. c) Aumento de las exportaciones. d) Incremento de la inversión extranjera. e) Disminución del precio de los productos químicos.
20	¿Por qué es importante promover la pirólisis en la comunidad? a) Para reducir la dependencia de combustibles fósiles. b) Para mejorar la calidad del aire. c) Para minimizar la generación de residuos. d) Para fomentar la innovación tecnológica. e) Todas las anteriores.

Variable IV. Mezclas de hidrocarburos	
21	¿Considera que las mezclas de hidrocarburos son una fuente energética importante para diversas industrias y sectores económicos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
22	¿Opina que el uso de mezclas de hidrocarburos tiene impactos significativos en el medio ambiente y la calidad del aire? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
23	¿Cree que es importante investigar y desarrollar tecnologías más limpias y sostenibles para la producción y uso de mezclas de hidrocarburos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
24	¿Considera que la comunidad científica desempeña un papel fundamental en el avance de conocimientos y soluciones relacionadas con las mezclas de hidrocarburos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
25	¿Opina que es necesaria una mayor colaboración entre la comunidad científica, la industria y los gobiernos para abordar los desafíos asociados con el uso de mezclas de hidrocarburos? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

Variable IV. impacto socioeconómico	
26	¿Considera que la implementación de la máquina de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos puede generar oportunidades económicas y de empleo? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
27	¿Opina que la reducción de la dependencia de los recursos naturales a través del reciclaje de residuos plásticos mediante la pirolisis puede tener beneficios económicos a largo plazo? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
28	¿Cree que el aprovechamiento de los residuos plásticos mediante la pirolisis puede promover la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector industrial? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
29	¿Considera que la implementación de tecnologías de pirolisis para el reciclaje de residuos plásticos puede reducir los costos asociados con la gestión de residuos y su impacto socioeconómico? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo
30	¿Opina que el reciclaje y aprovechamiento de residuos plásticos mediante la pirolisis puede contribuir a la construcción de una sociedad más sostenible y equitativa? a) Totalmente en desacuerdo b) En desacuerdo c) Neutro d) De acuerdo e) Totalmente de acuerdo

Anexo 3. Resultados emitidos por Aduanas Laboratorio



Informe de Resultados

Formulario

Código de documento: GOR-FCGN-02

Datos del Cliente					
Cliente	Elivany Agramonte		Fecha de realización del informe	14 de agosto de 2023	
RNC/Cedula	402-2811856-4	Atención	Elivany Agramonte / Merichel Sosa	Cotización	2023-0157
Teléfono	829-692-0397	No. Factura	10000-CL11-2307-004779	No. Referencia	LDGA-2023-1294
Email	elivany1998@gmail.com / merichel314@gmail.com	Servicio	Análisis de pirolisis de plásticos	Código de Muestra	MUE-4356-2023
Dirección	N/A			Ubicación	B7-P75
Resultados					
ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)
MUESTRA NO.1 PE	Density @15 °C	ASTM D-1298	0.828	0.820 — 0.870	kg/L
	Flash Point	ASTM D-93	68.622	55 min	°C
	Cetane Index	ASTM D-976	56.939	45 min	---
	Cloud Point	ASTM D-2500	12.951	----	°C
	Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.369	1.8 — 5.0	cSt
	Distill IBP	ASTM D-86	168.956	----	°C
	Distill 10%	ASTM D-86	212.265	----	°C
	Distill 20%	ASTM D-86	228.477	----	°C
	Distill 50%	ASTM D-86	229.03	290 máx.	°C
	Distill 90%	ASTM D-86	315.63	370 máx.	°C
	Distill FBP	ASTM D-86	353.206	----	°C
	Pour Point	ASTM D-5297	10.084	----	°C
	Net Heat	ASTM D-4848	43.145	----	MJ/kg
Hydrogen	ASTM D-3709	18.082	----	M%	
Observación	Ver anexos.				
Notas	Los resultados del ensayo son exclusivos de la muestra suministrada por el cliente.				



Aris Mendis Gómez, M.Sc
Encargado del Laboratorio DGA

Generado por: Equipo del laboratorio
Aprobado por: Encargado del laboratorio

Fecha: Agosto 2023
Rev. 3

Calle Lic. Carlos Sánchez
Esq. Lope de Vega, Ensanche Naco,
Santo Domingo, Rep. Dom.
Tel.: 809-567-3500

Anexos

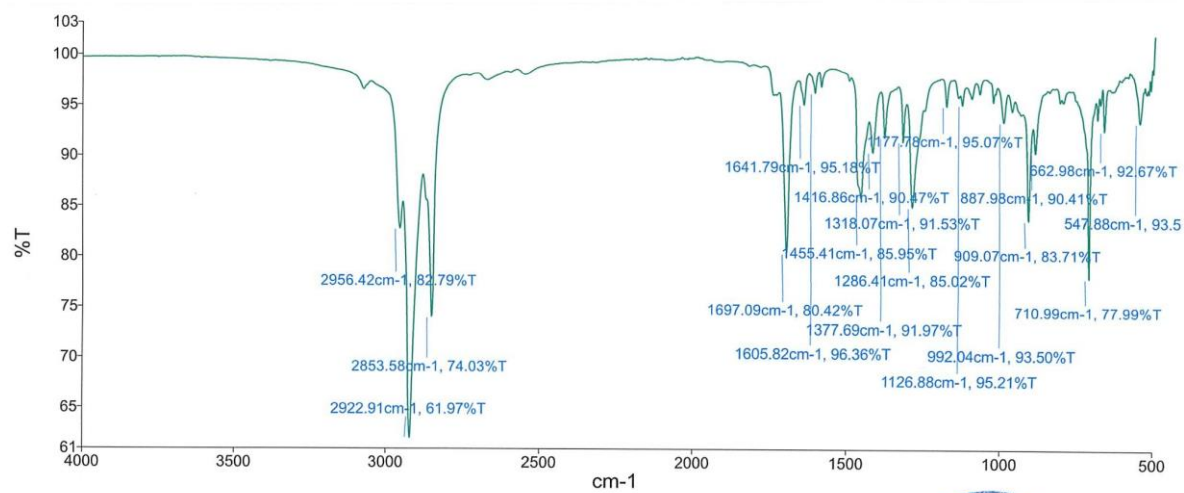
Descripción de picos FT-IR MUE-4356-2023

Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #1 PE	19



Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.42	82.79	Alcanos	CH3
2	2922.91	61.97		CH2
3	2853.58	74.03		CH
4	1697.09	80.42	Cetona aromática	C=O
5	1641.79	95.18	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1605.82	96.36	Aromático	C-H
7	1455.41	85.95	aromático	Benceno mono sustituido
8	1416.86	90.47		
9	1377.69	91.97	alcano	CH3
10	1318.07	91.53	Ácidos carboxílico	C-O
11	1286.41	85.02	Ácidos carboxílico	C-O
12	1177.78	95.07	Esteres	C-O
13	1126.88	95.21		
14	992.04	93.50	Alqueno mono sustituido	C-H
15	909.07	83.71	vinilo	C=CH2
16	887.98	90.41	aromático	Meta di sustituido benceno
17	710.99	77.99	aromático	Benceno mono sustituido
18	662.98	92.67		
19	547.88	93.50	Cloro alcanos	C-X

Espectro FT-IR MUE-4356-2023:





Informe de Resultados

Formulario

Código de documento: GOR-FCGN-02

Datos del Cliente						
Cliente	Elivany Agramonte		Fecha de realización del informe		14 de agosto de 2023	
RNC/Cedula	402-2811856-4		Atención	Elivany Agramonte / Merichel Sosa	Cotización	2023-0157
Teléfono	829-692-0397		No. Factura	10000-CL11-2307-004779	No. Referencia	LDGA-2023-1294
Email	elivany1998@gmail.com / merichel314@gmail.com		Servicio	Análisis de pirolisis de plásticos		Código de Muestra
Dirección	N/A				Ubicación	B7-P75
Resultados						
ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)	
MUESTRA NO.2 PP	Density @15 °C	ASTM D-1298	0.829	0.820 — 0.870	kg/L	
	Flash Point	ASTM D-93	86.119	55 min	°C	
	Cetane Index	ASTM D-976	58.73	45 min	---	
	Cloud Point	ASTM D-2500	21.961	-----	°C	
	Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.827	1.8 — 5.0	cSt	
	Distill IBP	ASTM D-86	182.413	-----	°C	
	Distill 10%	ASTM D-86	230.03	-----	°C	
	Distill 20%	ASTM D-86	249.451	-----	°C	
	Distill 50%	ASTM D-86	234.782	290 máx.	°C	
	Distill 90%	ASTM D-86	311.743	370 máx.	°C	
	Distill FBP	ASTM D-86	349.278	-----	°C	
	Pour Point	ASTM D-5297	15.429	-----	°C	
	Net Heat	ASTM D-4848	43.171	-----	MJ/kg	
Hydrogen	ASTM D-3709	18.188	-----	M%		
Observación	Ver anexos.					
Notas	El resultado del ensayo son exclusivos de la muestra suministrada por el cliente.					



Generado por: Equipo del laboratorio
Aprobado por: Encargado del laboratorio

Fecha: Agosto 2023
Rev. 3

Calle Lic. Carlos Sánchez
Esq. Lope de Vega, Ensanche Naco,
Santo Domingo, Rep. Dom.
Tel.: 809-567-3500

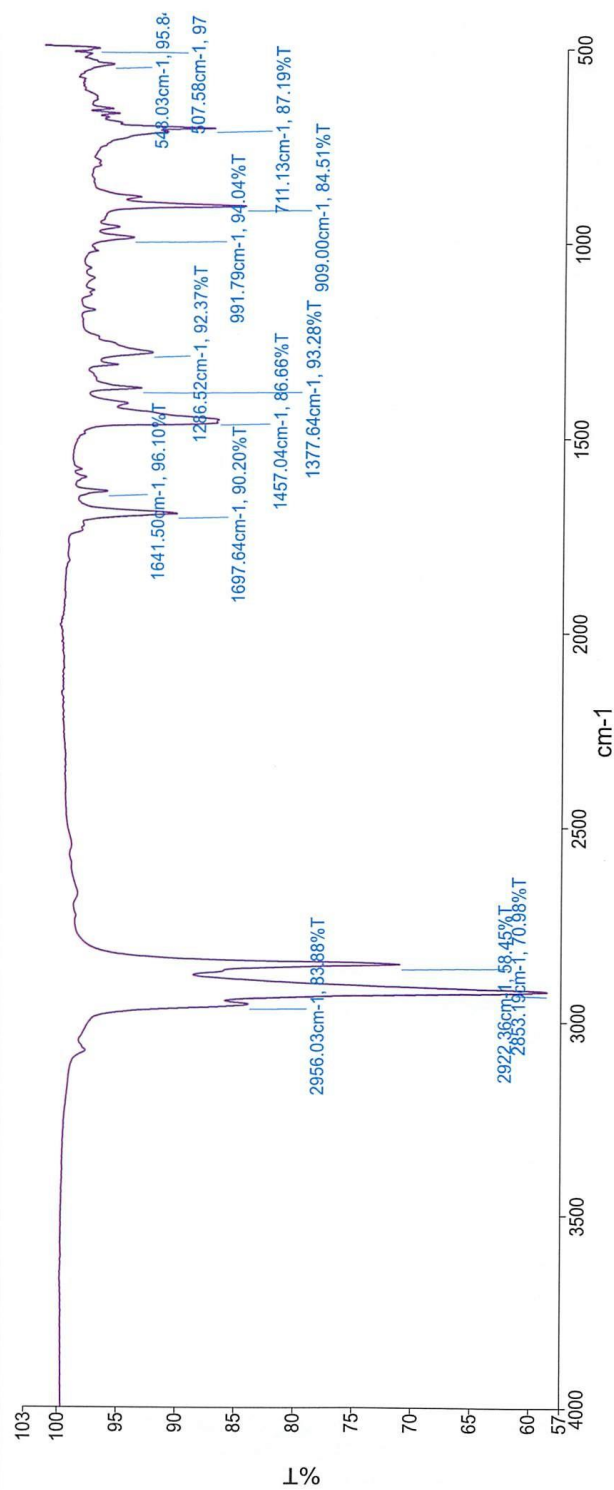
Descripción de picos FT-IR MUE-4357-2023

Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #2 PP	12

Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.03	83.88	Alcanos	CH ₃
2	2922.36	58.45		CH ₂
3	2853.19	70.98		CH
4	1697.64	90.20	Cetona aromática	C=O
5	1641.50	96.10	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1457.04	86.66	aromático	Benceno mono sustituido
7	1377.64	93.28	alcano	CH ₃
8	1286.52	92.37	Ácidos carboxílico	C-O
9	991.79	94.04	Alqueno mono sustituido	C-H
10	909.00	84.51	vinilo	C=CH ₂
11	711.13	87.19	aromático	Benceno mono sustituido
12	548.03	95.84	Cloro alcanos	C-X



Espectro FT-IR MUE-4357-2023:



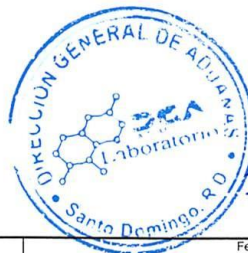


Informe de Resultados

Formulario

Código de documento: GOR-FCGN-02

Datos del Cliente					
Cliente	Elivany Agramonte		Fecha de realización del informe	14 de agosto de 2023	
RNC/Cedula	402-2811856-4	Atención	Elivany Agramonte / Merichel Sosa	Cotización	2023-0157
Teléfono	829-692-0397	No. Factura	10000-CL11-2307-004779	No. Referencia	LDGA-2023-1294
Email	elivany1998@gmail.com / merichel314@gmail.com		Servicio	Análisis de pirolisis de plásticos	Código de Muestra
Dirección	N/A		Ubicación	B7-P76	
Resultados					
ID	Parámetro(s)	Método de análisis / Equipo	Resultado(s)	Norma / Referencia	Unidad(es)
MUESTRA NO.3 PS	Density @15 °C	ASTM D-1298	0.832	0.820 — 0.870	kg/L
	Flash Point	ASTM D-93	79.201	55 min	°C
	Cetane Index	ASTM D-976	57.944	45 min	---
	Cloud Point	ASTM D-2500	18.087	-----	°C
	Viscosity @40°C	ASTM D-445	2.712	1.8 — 5.0	cSt
	Distill IBP	ASTM D-86	177.919	-----	°C
	Distill 10%	ASTM D-86	228.205	-----	°C
	Distill 20%	ASTM D-86	246.756	-----	°C
	Distill 50%	ASTM D-86	239.003	290 máx.	°C
	Distill 90%	ASTM D-86	317.243	370 máx.	°C
	Distill FBP	ASTM D-86	353.084	-----	°C
	Pour Point	ASTM D-5297	15.221	-----	°C
	Net Heat	ASTM D-4848	43.134	-----	MJ/kg
	Hydrogen	ASTM D-3709	18.246	-----	M%
Observación	Ver anexos.				
Notas	Los resultado del ensayo son exclusivos de la muestra suministrada por el cliente.				



Aris Mendis Gómez, M.Sc.
Encargado del Laboratorio DGA

Generado por: Equipo del laboratorio
Aprobado por: Encargado del laboratorio

Fecha: Agosto 2023
Rev. 3

Calle Lic. Carlos Sánchez
Esq. Lope de Vega, Ensanche Naco,
Santo Domingo, Rep. Dom.
Tel.: 809-567-3500

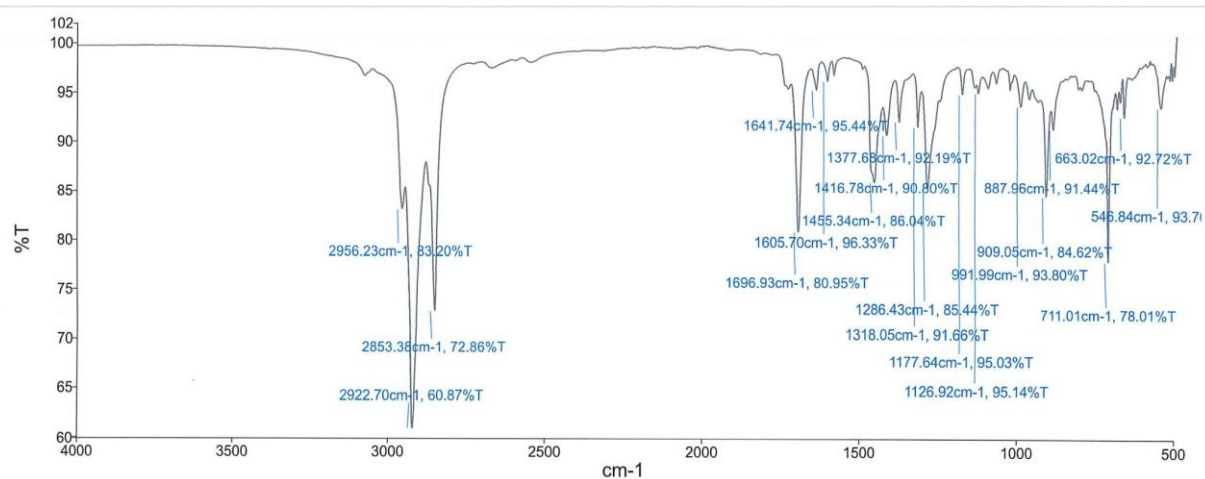
Descripción de picos FT-IR MUE-4358-2023



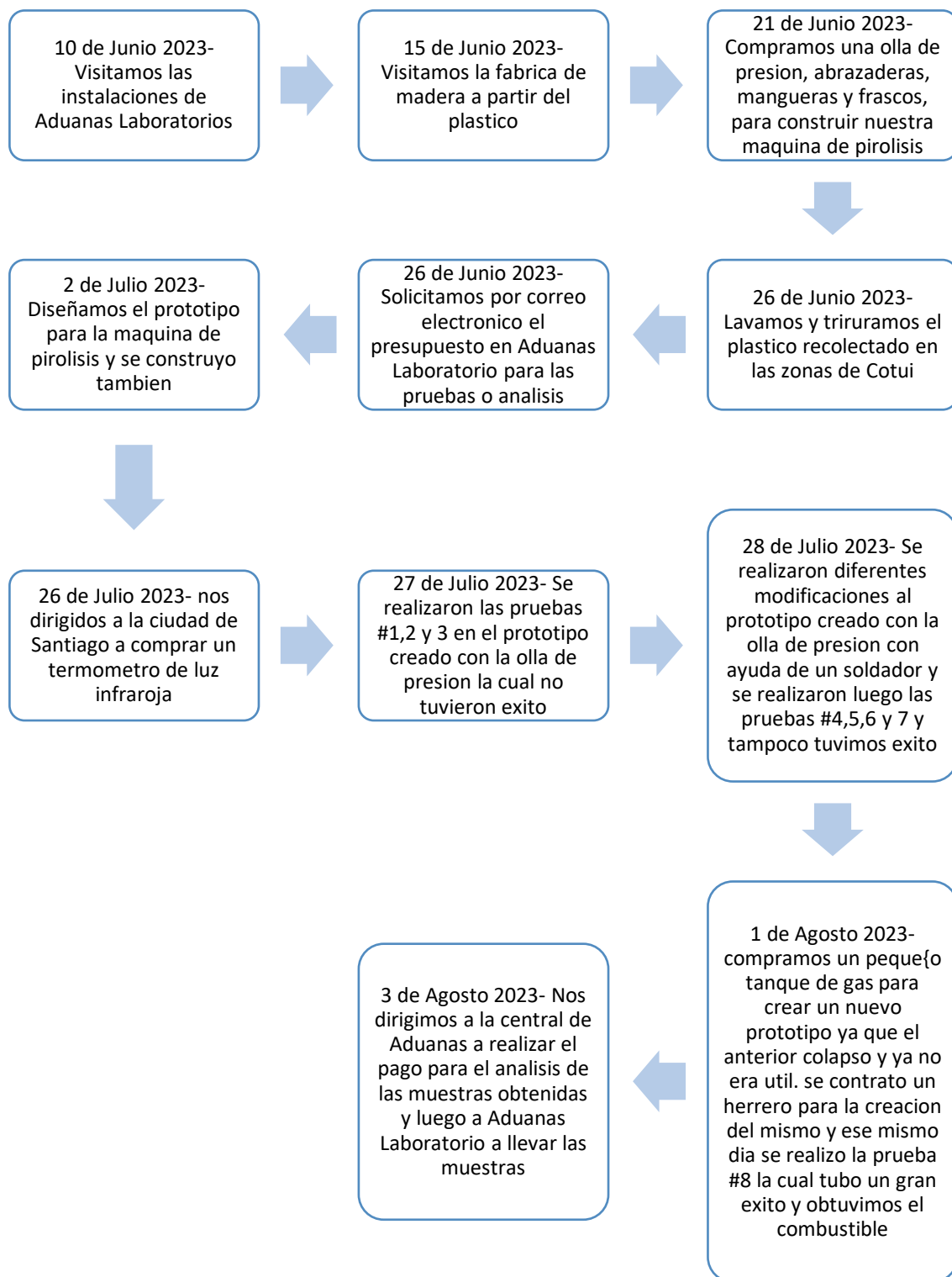
Nombre del espectro	Cantidad de picos
Muestra #3 PS	19

Número pico	Frecuencia	Transmitancia	Familia	Grupo Funcional
1	2956.23	83.20	Alcanos	CH3
2	2922.70	60.87		CH2
3	2853.38	72.86		CH
4	1696.93	80.95	Cetona aromática	C=O
5	1641.74	95.44	Alcano mono sustituido	A cíclico C-C
6	1605.70	96.33	Aromático	C-H
7	1455.34	86.04	aromático	Benceno mono sustituido
8	1416.78	90.80		
9	1377.68	92.19	alcano	CH3
10	1318.05	91.66	Ácidos carboxílico	C-O
11	1286.43	85.44	Ácidos carboxílico	C-O
12	1177.64	95.03	Esteres	C-O
13	1126.92	95.14		
14	991.99	93.80	Alqueno mono sustituido	C-H
15	909.05	84.62	vinilo	C=CH2
16	887.96	91.44	aromático	Meta di sustituido benceno
17	711.01	78.01	aromático	Benceno mono sustituido
18	663.02	92.72		
19	546.84	93.70	Cloro alcanos	C-X

Espectro FT-IR MUE-4358-2023:



Anexo 4. Cronograma de trabajo para la creación del prototipo



Anexo 5. Presupuesto

Ítem	Gastos
Impresión	\$4,500
Encuadernados	\$500
Transportes	\$8,020
Almuerzos	\$7,200
Imprevistos	\$3,050
Pago de muestras en Aduanas Laboratorios	\$47,436
Manos de obras externas (Herrero y soldador de aluminio)	\$5,300
Materiales para construir el prototipo	\$19,186
Total:	\$95,192

Anexo 6. Fotos





