

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y
PETROQUÍMICA**



**“SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO
DE TEREFALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO”**

PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS PROPIOS
Resolución HCC N° 130/2020

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

M.Sc. Ing. Steffi Laura Usquiano Marquez
Univ. Leydi Quispe Alejo
Univ. Raquel Siñani Chavez

EL ALTO – BOLIVIA
2021

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico
RECTOR

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph. D.
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Wily Ricardo Luque Acho
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUÍMICA

M.Sc. Ing. Elma Rocío Córdova Quispe
COORDINADORA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA

CONVENIOS INTERINSTITUCIONALES

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO – EMPACAR S.A.
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO – RED INTERNACIONAL DE
PROMOTORES ODS BOLIVIA

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa NRO. 1-3162/2021

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre 2021
El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

En la Constitución Política del Estado Artículo 299 se establece que las siguientes competencias se ejercerán de forma concurrente por el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, entre ellas: Preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y fauna silvestre manteniendo el equilibrio ecológico y el control de la contaminación ambiental, la Ciencia, tecnología e investigación, adicionalmente de Proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos. Es en éste sentido y ante el marco de coadyuvar a la gestiones en temáticas de economía circular que se presenta el proyecto denominado “SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO” como un proyecto que se proyecta como uno de los aportes al Desarrollo Sostenible habiéndose suscrito la Carta de Intención para Marco de Cooperación Interinstitucional entre la Universidad Pública de El Alto con la Red Internacional de Promotores ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) Bolivia con el Coordinador Nacional de dicha organización con el fin de promover acciones de sensibilización.

M.Sc. Ing. Elma Rocío Córdova Quispe
COORDINADORA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERA DE GAS Y PETROQUÍMICA

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

El presente proyecto de investigación tiene el principal objetivo de ser un aporte de utilidad a la sociedad, en lo académico y científico pero también en lo humano. El análisis objetivo muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte sería imposible sin la participación de personas e instituciones que facilitan las cosas para que este trabajo pueda cumplir con sus objetivos. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Agradezco de manera especial al equipo que conforma el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica, especialmente a la Coordinadora, Ing. Elma Córdova, por su guía constante. A Dirección de carrera, Ing. Ricardo Luque y a colegas docentes de la carrera de Gas y Petroquímica por su apoyo. Al Lic. Favio Valencia, coordinador nacional de la Red Internacional de Promotores ODS, organización con la cual se firmó un convenio de colaboración en apoyo y a quien debo agradecer su amabilidad y soporte profesional y logístico para alcanzar los objetivos perseguidos. Muchas gracias a todos ellos por permitir vivir una experiencia tan importante para todo el equipo de investigación que forma parte de este proyecto.

M.Sc. Ing. Steffi Laura Usquiano Marquez
DOCENTE INVESTIGADORA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERA DE GAS Y PETROQUÍMICA

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES	iv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.6.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	8
1.6.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	8
1.6.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	8
1.6.4. JUSTIFICACIÓN MEDIO AMBIENTAL.....	8
1.7. ALCANCE	9
1.7.1. ALCANCE TEMÁTICO.....	9
1.7.2. ALCANCE GEOGRÁFICO.....	9
1.8. ALCANCE LEGAL	10
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PLÁSTICO.....	12
2.2. GENERALIDADES DE LOS PLÁSTICOS.	13
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.	15
2.3.1. TERMOFIJOS O TERMOESTABLES	15
2.3.2. ELASTÓMEROS.....	16
2.3.3. TERMOPLÁSTICOS.....	16
2.4. TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	21

2.5. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PET.....	21
2.6. USOS DEL PET.....	24
2.7. OBTENCIÓN DEL PET	26
2.7.1. POLIMERIZACIÓN.....	26
2.7.2. CRISTALIZACIÓN.....	27
2.7.3. POLIMERIZACIÓN EN ESTADO SÓLIDO O POST POLIMERIZACIÓN.	27
2.8. PROCESOS DE RECICLADO DEL PET.....	28
2.8.1. RECICLADO MECÁNICO.....	29
2.8.2. RECICLADO QUÍMICO.	32
2.8.2.1. HIDRÓLISIS ALCALINA	34
2.8.3. RECICLADO ENERGÉTICO.	35
2.8.3.1. Combustión con Recuperación de Energía	37
2.8.3.2. Combustibles a partir de los residuos plásticos mixtos	39
2.9. RECICLAJE EN BOLIVIA.....	41
2.9.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS	42
2.9.2. RECICLAJE EN EL ALTO.....	43
2.9.3. RECICLADORES DE PLASTICOS EN BOLIVIA	45
2.9.3.1. NEGOCIO DEL RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN BOLIVIA – EMPACAR S.A.	46
2.10. AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.	51
2.11. NORMATIVA VIGENTE RELACIONADA AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS).....	53
CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....	57
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	57
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	58
3.4. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN Y MUESTRA.....	59
3.5. AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	62
CAPITULO 4. RESULTADOS.....	63

4.1. RECICLAJE DE PET EN LA ZONA VILLA INGENIO	66
4.1.1. ENCUESTA VIRTUAL SOBRE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	66
4.1.1.1. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	66
4.1.1.2. RESULTADOS ENCUESTA VIRTUAL.....	67
4.1.1.3. CONCLUSIONES DE LA ENCUESTA VIRTUAL.....	72
4.1.2. RECOPIACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	73
4.1.3. ENTREVISTA A PUNTOS DE ACOPIO Y RECOLECTORES SOBRE EL NEGOCIO DEL RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	74
4.1.3.1. DISEÑO DEL CUESTIONARIO PARA ENTREVISTADOS	75
4.1.3.2. VISITA Y ENTREVISTAS REALIZADAS A PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES EN VILLA INGENIO.....	76
4.1.3.3. CONCLUSIONES ENTREVISTAS REALIZADAS.....	81
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECICLAJE DE RESIDUOS POST CONSUMO DE PET EN LA ZONA DE VILLA INGENIO CON EL SOFTWARE Q-GIS.	81
4.2.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMPATIBLE CON EL SOFTWARE QGIS 3.18	82
4.2.2. DETERMINACIÓN DE PUNTOS TENTATIVOS DE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	84
4.2.3. DETERMINACIÓN DE TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE RECOLECCIÓN.....	86
4.2.4. CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE RECICLAJE - PUNTOS DE ACOPIO Y TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE RECOLECCION.....	88
4.2.5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS Y TRAYECTORIAS DEFINITIVAS DE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO.....	88
4.2.5.1. PUNTOS DE RECOLECCIÓN PROPUESTOS	89
4.2.5.2. TRAYECTORIAS DE RECOLECCIÓN PROPUESTAS.....	93
4.3. SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST CONSUMO DE PET EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	95
4.4. RECICLAJE QUIMICO DEL PET PARA PET DE COLOR QUE SE GENERA EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	97
4.4.1. RECICLAJE QUÍMICO POR HIDRÓLISIS ALCALINA.....	97

4.4.1.1.	MATERIALES Y REACTIVOS	98
4.4.1.2.	PROCEDIMIENTO DEL RECICLAJE QUIMICO PET	98
4.4.1.3.	CÁLCULOS DEL RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN.....	104
4.4.1.4.	OBSERVACIONES DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTADA	107
4.4.1.5.	CONCLUSIONES DE LA PRACTICA SOBRE RECICLAJE QUIMICO	108
4.5.	PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA	109
4.5.1.	PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL “1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMÉRICA” ..	110
4.5.2.	EJECUCIÓN DEL EVENTO Y PARTICIPACIÓN COMO PONENETES EN EL EVENTO “1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA”	115
4.5.3.	EVALUACIÓN DEL EVENTO “1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA”	117
4.5.4.	CONCLUSIONES DEL 1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA.....	119
4.6.	VALIDACIÓN DE LA HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.	120
CAPITULO 5. CONCLUSIONES		124
CAPITULO 6. RECOMENDACIONES.....		127
BIBLIOGRAFÍA		128
ANEXOS		132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa de la problemática del reciclaje de PET en Villa Ingenio	6
Figura 1.2 Mapa de Distritos Municipales de El Alto	10
Figura 2.1 Clasificación de los Plásticos.....	15
Figura 2.2 Código de Identificación de Resinas	16
Figura 2.3 PET (Tereftalato de Polietileno).....	17
Figura 2.4 Polietileno de alta densidad (PEHD)	18
Figura 2.5 PVC (Policloruro de Vinilo)	18
Figura 2.6 Polietileno de baja densidad (LDPE)	19
Figura 2.7 Polipropileno (PP)	19
Figura 2.8 Poliestireno (PS)	20
Figura 2.9 Distribución de los diferentes polímeros en una botella.....	20
Figura 2.10 Tereftalato de polietileno (PET, PETE), estructura química	22
Figura 2.11 Productos de PET grado textil.....	25
Figura 2.12 Productos de PET grado botella.....	25
Figura 2.13 Productos de PET grado film.....	26
Figura 2.14 Diagrama de flujo para la producción de PET.....	28
Figura 2.15 Proceso del reciclaje mecánico	30
Figura 2.16 Proceso de Metanolisis.....	33
Figura 2.17 Hidrolisis alcalina de PET	35
Figura 2.18 Poder calorífico de diversos materiales.....	36
Figura 2.19 Planta de combustión con recuperación de energía.....	37
Figura 2.20 Capacidad de reciclaje de sólidos en Bolivia (2010).....	42
Figura 2.21 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales y el alto (2006-2016)	44
Figura 2.22 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales y El Alto, 2016	44
Figura 2.23 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales 2016	45

Figura 2.24 Presentación sobre las Unidades de negocio que lleva EMPACAR S.A.....	46
Figura 2.25 Situación de residuos sólidos en Bolivia	47
Figura 2.26 Residuos no aprovechables, compostables y reciclables	48
Figura 2.27 Cifras de residuos en el departamento de Santa Cruz	49
Figura 2.28 Pasos para reciclar – Separador de residuos	49
Figura 2.29 Precio por Kilo al cual compra los envases PET EMPACAR S.A.....	50
Figura 2.30 Herramientas para acopiar PET	51
Figura 2.31 Objetivos de Desarrollo Sostenible – Agenda2030.....	52
Figura 2.32 Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible – Agenda2030 relacionados al proyecto	53
Figura 3.1 Esquema metodológico de la investigación	62
Figura 4.1 Mapa Distrito 5 de la ciudad de El Alto.....	63
Figura 4.2 Urbanizaciones que tienen en sus nombres la denominación de “Ingenio” dentro del Distrito 5 de la ciudad de El Alto.	64
Figura 4.3 Limites de la zona Villa Ingenio para el proyecto de investigación	65
Figura 4.4 Gráfico de edades promedio de los encuestados	67
Figura 4.5 Gráfico Sexo de personas encuestadas.....	67
Figura 4.6 Gráfico de frecuencia de uso de plásticos PET	68
Figura 4.7 Gráfico cuantas botellas PET desecha a la semana.....	68
Figura 4.8 Grafico que hace con sus botellas plásticas PET luego de usarlas.....	69
Figura 4.9 Gráfico sobre conciencia sobre el reciclaje	69
Figura 4.10 Grafico sobre el reciclaje de PET en los hogares	70
Figura 4.11 Gráfico como recicla las botellas PET luego de usarlas	70
Figura 4.12 Gráfico motivación para reciclar botellas PET	71
Figura 4.13 Gráfico por que reciclar PET es tan difícil	71
Figura 4.14 Grafico punto de recolección cerca de su casa como motivación para reciclar.....	72
Figura 4.15 Puntos de reciclaje de PET identificados en la zona de Villa Ingenio	74
Figura 4.16 Preguntas entrevista para los encargados de puntos de acopio de material reciclable como el PET.	76

Figura 4.17 Entrevista realizada a Don Julio, encargado del primer punto de acopio identificado en la zona de Villa Ingenio.....	77
Figura 4.18 . Entrevista realizada a Don Fernando, encargado del segundo punto de acopio identificado en la zona de Villa Ingenio.....	78
Figura 4.19 Entrevista realizada a Don Miguel, recolector entrevistado en su casa donde acopio el solo lo que recolecta en la zona de Villa Ingenio.....	79
Figura 4.20 Recolección de mapas digitalizados del área de investigación	82
Figura 4.21 Mapas de ríos, jurisdicción y distritos de la ciudad de El Alto disponibles en GeoBoliva	83
Figura 4.22 Puntos tentativos digitalizados en el programa QGIS 3.18.....	85
Figura 4.23 Sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET - Puntos tentativos de recolección en Villa Ingenio.....	86
Figura 4.24 Trayectorias tentativas digitalizadas en el programa QGIS 3.18.....	87
Figura 4.25 Sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET – Trayectorias tentativas en Villa Ingenio	88
Figura 4.26 Puntos de reciclaje de PET propuestos + Puntos ya existentes.....	90
Figura 4.27 Puntos y trayectorias definitivas propuestas para el sistema de reciclaje de PET	93
Figura 4.28 Sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona Villa Ingenio (versión 1)	95
Figura 4.29 Sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona Villa Ingenio (versión 2)	96
Figura 4.31 Tereftalato de Polietileno (PET) triturado para el procedimiento de laboratorio	99
Figura 4.32 PET triturado e hidróxido de sodio mezclados en un vaso precipitado	101
Figura 4.33 Casos 1, 2, 3 y 4 puestos a la hormilla hasta que la mezcla se evapore.	101
Figura 4.34 Tereftalato de sodio y etilenglicol productos de la hidrolisis alcalina	102
Figura 4.35 Filtrado de la solución para retirar los residuos de PET que no hayan reaccionado.....	102

Figura 4.36 Neutralización de la solución filtrada con ácido sulfúrico	103
Figura 4.37 Filtrado y obtención del ácido tereftálico en los papeles filtro	103
Figura 4.38 Ácido tereftálico obtenido posterior al filtrado (Caso 1 y Caso 4)	104
Figura 4.39 Sesiones de trabajo en el laboratorio de IGP.....	109
Figura 4.40 Arte del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”	111
Figura 4.41 Formulario de Inscripción al “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”	112
Figura 4.42 Cronograma del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”	113
Figura 4.43 Formulario de registro del 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica difundido en redes sociales al final del evento.	114
Figura 4.44 Certificado de Participación al 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica	114
Figura 4.45 Certificado de Reconocimiento otorgado a los ponentes y al equipo de organización y apoyo para el 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica.....	115
Figura 4.46 Transmisión del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica” realizada mediante ZOOM.....	116
Figura 4.47 Presentación de parte del equipo de investigación en el 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica	117
Figura 4.30 Matriz básica de Impactos ambientales relacionados al tratamiento de los residuos PET en la zona de Villa Ingenio	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades físicas del PET	23
Tabla 2.2 Propiedades físicas del PET	24
Tabla 3.1 Distribución de la población económicamente activa en las urbanizaciones que forman parte de la Zona Villa Ingenio.	60
Tabla 4.1 Respuestas recolectadas de puntos encuestados en la zona de Villa Ingenio	80
Tabla 4.2 Puntos tentativos de recolección de PET en Villa Ingenio	84
Tabla 4.3 Puntos de reciclaje propuestos para la zona de Villa Ingenio	89
Tabla 4.4 Puntos propuestos y existentes de recolección en cada urbanización .	92
Tabla 4.5 Puntos de recolección para cada trayectoria propuesta.....	94
Tabla 4.8 Materiales y Reactivos utilizados para la práctica de laboratorio	98
Tabla 4.9 Pesaje del PET triturado y del Hidróxido de sodio a utilizar	99
Tabla 4.10 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 1	105
Tabla 4.11 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 2	105
Tabla 4.12 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 3	106
Tabla 4.13 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 4	106
Tabla 4.14 Casos de reciclaje químico y sus respectivos rendimientos (%)	107
Tabla 4.15 Métricas de visualizaciones del “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica	118
Tabla 4.6 Escala de medición del impacto de las actividades relacionadas al tratamiento de residuos PET en la zona de Villa Ingenio.....	120
Tabla 4.7 Análisis de las actividades involucradas en el tratamiento de residuos PET y sus impactos	122

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 3.1 Cálculo de muestra finita	61
Ecuación 4.3 Calculo del rendimiento de la reacción del reciclaje químico.....	104
Ecuación 4.4 Calculo de los moles de ácido tereftalico	104
Ecuación 4.5 Calculo de moles de tereftalato de polietileno.....	104
Ecuación 4.6 Ecuación general para cálculo de rendimiento de reacción.....	105
Ecuación 4.1 Calculo del porcentaje de personas que vieron el evento	118
Ecuación 4.2 Calculo del porcentaje de personas que aprovecharon el evento	119

RESUMEN

El consumismo en constante aumento da como resultado el consiguiente incremento de la generación de residuos plásticos, que constituye una gran preocupación, no solo en sociedades que se ocupan de problemas medioambientales y de gestión de residuos, sino también en la política y en el dominio público. Entidades académicas como la Universidad Pública de El Alto y sus institutos de investigaciones, no escapan de este tipo de debates, ya que tienen como principio participar en el proceso de construcción, difusión y aplicación del conocimiento para aportar al desarrollo personal, social y tecnológico, con la aplicación de la ciencia, a través de investigaciones.

En Bolivia, durante los últimos 20 años se ha desarrollado el reciclaje como una actividad industrial, teniendo como centros más importantes las ciudades de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, cuyo crecimiento demográfico concentra en la actualidad aproximadamente más del 70% del total de la población, lo cual significa también mayor generación de residuos sólidos, y es por ello que en estas ciudades se asientan las fábricas más grandes del país que utilizan residuos reciclables, principalmente plásticos, papel, vidrios y metales, para sus propios procesos productivos y para la exportación como materia prima.

Por consiguiente, en el presente proyecto de investigación se analiza la situación actual y el tratamiento de residuos plásticos en zona de Villa Ingenio, teniéndose como objetivo principal diseñar un sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, con ayuda del software de información geográfica Q-GIS, para así facilitar la recolección de este material y contribuir con la protección del ser humano y el medio ambiente, la conservación de recursos y vertederos sin post-tratamiento, plasmados en la normativa nacional. Además se estudia el reciclaje químico del PET como opción para reciclar el PET de color que tiene problemas para ser reciclado mecánicamente.

ABSTRACT

Steadily increasing consumerism results in a consequent increase in the generation of plastic waste, which is a major concern, not only in societies dealing with environmental and waste management issues, but also in politics and in the public domain. . Academic entities such as the Public University of El Alto and its research institutes do not escape this type of debate, since their principle is to participate in the process of construction, dissemination and application of knowledge to contribute to personal, social and technological development, with the application of science, through research.

In Bolivia, during the last 20 years recycling has been developed as an industrial activity, with the most important centers of the cities of Santa Cruz, La Paz and Cochabamba, whose population growth currently concentrates approximately more than 70% of the total of the population, which also means greater generation of solid waste, and that is why the largest factories in the country are located in these cities that use recyclable waste, mainly plastics, paper, glass and metals, for their own production processes and for export as raw material.

Therefore, this research project analyzes the current situation and the treatment of plastic waste in the Villa Ingenio area, with the main objective of designing a recycling system based on waste from polyethylene terephthalate consumption in the Villa area. Ingenio, with the help of the geographic information software Q-GIS, in order to facilitate the collection of this material and contribute to the protection of human beings and the environment, the conservation of resources and landfills without post-treatment, reflected in the national regulations . In addition, the chemical recycling of PET is studied as an option to recycle colored PET that has problems to be recycled mechanically.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El uso de artículos de plástico en nuestra vida diaria parece indispensable, sin embargo, el consumismo en constante aumento, que da como resultado el consiguiente incremento de la generación de residuos plásticos, constituye una gran preocupación: lo que lleva a que el tema relacionado a la eliminación de estos residuos se haya debatido ampliamente en los últimos años, no solo en sociedades que se ocupan de problemas medioambientales y de gestión de residuos, sino también en la política y en el dominio público. Entidades académicas como la Universidad Pública de El Alto y sus institutos de investigaciones, no escapan de éste tipo de debates, ya que tienen como principio participar en el proceso de construcción, difusión y aplicación del conocimiento para aportar al desarrollo personal, social y tecnológico, con la aplicación de la ciencia, a través de investigaciones.

En Bolivia, durante los últimos 20 años se ha desarrollado el reciclaje como una actividad industrial, teniendo como centros más importantes las ciudades de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, cuyo crecimiento demográfico concentra en la actualidad aproximadamente más del 70% del total de la población, lo cual significa también mayor generación de residuos sólidos, y es por ello que en estas ciudades se asientan las fábricas más grandes del país que utilizan residuos reciclables, principalmente plásticos, papel, vidrios y metales, para sus propios procesos productivos y para la exportación como materia prima. Y es en este eje central donde un grupo poblacional se dedica de manera informal al reciclaje de envases plásticos para luego venderlos por mayor y así generar recursos económicos para sus familias. (Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2011).

Por consiguiente, en este estudio se analiza la situación actual y el tratamiento de residuos plásticos en la ciudad de El Alto, especialmente en la zona de Villa Ingenio, para luego orientarlo hacia el cumplimiento de los principales objetivos de la gestión de residuos, la protección del ser humano y el medio ambiente, la conservación de recursos y vertederos sin post-tratamiento, plasmados en la normativa nacional.

1.1. ANTECEDENTES

En las décadas anteriores, la gestión de residuos tenía como objetivo la eliminación de residuos de las zonas urbanas. Sin embargo, en los últimos 30 años, el enfoque ha cambiado drásticamente hacia la gestión integrada de residuos dirigida a prevenir la generación de residuos y aumentar la recuperación (Massarutto, 2008) en relación a ambas razones ambientales y económicas. La creciente conciencia de la necesidad del desarrollo de sistemas integrados modernos en el mundo ha sido causada por varios factores. (Korzeniowski, 1996)

- Cantidades crecientes de residuos generados
- Aumento de la conciencia de los impactos ambientales por una disposición inadecuada de los residuos
- Escasez de disponibilidad de vertederos y rellenos sanitarios
- La implementación de las normativas ambientales emergentes destinadas a prevenir y reducir la generación de residuos

La recuperación de material y energía de los residuos se considera una solución viable al problema del aumento de la cantidad de residuos, también como un paso hacia el desarrollo sostenible en las sociedades modernas. Sin embargo, la problemática del uso de sustancias peligrosas en los procesos de producción y manufactura, las limitaciones en cuanto a la recolección y la calidad diversificada de los residuos contribuyen a la complejidad del proceso de diseño de una adecuada gestión de residuos para plásticos.

Según el reporte del Banco Mundial, titulado “What a Waste 2.0” del 2018, el mundo genera 2010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales anualmente.

La situación en Bolivia también muestra un incremento considerable. Según informes del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia generaba de forma aproximada 2 millones de toneladas de residuos sólidos en el 2016, lo que equivale a 5400 toneladas por día. De ésta cifra, según datos del INE (2017), más del 70% provenían exclusivamente de las 9 ciudades capitales y El Alto. Comparado con los

datos de generación de basura de éstas 10 ciudades para el año 2010, según datos del Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia, del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, la misma tuvo un incremento de más del 20%.

Por otro parte, el Censo 2012 menciona que aproximadamente 43% de los hogares en el país no cuentan con ningún servicio de recolección de basura. Por este motivo, la población afectada por esta circunstancia busca maneras alternativas para la eliminación de su basura como botar la basura en vías públicas, terrenos baldíos, en los ríos, o sencillamente quemarla o enterrarla en cercanías a su hogar.

Por otro lado, según datos del Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos (2011), de los residuos sólidos generados a nivel nacional, la fracción orgánica representa el 55,2%, la fracción reciclable (papel, plástico y vidrio) el 22,1%, y el 22,7% se considera como residuos no aprovechables. Lo que significa que aproximadamente 75% de los residuos podrían ser aprovechados. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012).

Además, según datos del INE (2017), 83% de los residuos sólidos provienen de los hogares, 10% de los mercados, 4% de la industria y mataderos, 2% de áreas públicas y 1% de hospitales. Lo que quiere decir que el cambio se encuentra principalmente en los hábitos y decisiones de los hogares, además de políticas que promuevan la reducción, re uso y reciclaje.

Por los antecedentes mencionados anteriormente, es que se han desarrollado diferentes trabajos de investigación relacionados al reciclaje de PET desde distintas perspectivas, entre ellos se puede mencionar los siguientes:

En 2014, se elabora un proyecto de grado en la carrera de Electromecánica de la Universidad Mayor de San Andrés, denominado “Diseño de una maquina extrusora de plásticos PET”, el cual tiene un enfoque más técnico referido a uno de los equipos para obtener los pellets como producto final de reciclaje del PET. (Morales Salgueiro, 2014)

También en el 2014, se elabora un proyecto de grado en la carrera de Arquitectura de la Universidad Mayor de San Andrés titulado “Modelo de planta recicladora de botellas PET ciudad de El Alto”, el cual pretende crear un modelo de infraestructura de una planta recicladora de PET con un enfoque más arquitectónico de diseño de instalaciones de planta que en el proceso de reciclaje en sí. (Tarqui Zabala, 2014)

En 2015, se elabora un proyecto de grado de la carrera de Química Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés titulado “Estudio de un proceso tecnológico para el reciclaje de botellas PET”, el cual tiene un enfoque más relacionado al reciclaje mecánico de botellas PET. (Patzí Canaza, 2015)

El reciclaje PET no solo ha servido para inspirar diversos trabajos de investigación, sino también como sustento de varias familias, un gran número de personas que debido a la contracción de la economía han perdido sus precarias fuentes de trabajo, en la mayoría de los casos que provienen del sector informal, han fracasado en diferentes intentos de empleo y no tienen la capacidad económica ni educativa para generarse uno propio, no han tenido las oportunidades de acceso a un empleo digno, son mujeres que optan por la flexibilidad horaria y atender el cuidado de la familia, y que como última opción posible para sobrevivir en la ciudad, se dedican a recoger residuos de las calles para venderlos mayormente a intermediarios de la cadena productiva del reciclaje. (Andrade Caceres, Prado Zanini, & Moreno Velasco, 2014)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema relacionado al manejo y disposición final de los residuos sólidos en las distintas urbes del país es una de las temáticas ambientales que genera más preocupación en la actualidad, y esto sucede debido al incremento en el uso de productos elaborados de materiales desechables no degradables que genera la industria del plástico.

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los materiales más comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas y del embalaje debido a las

grandes ventajas que implica su uso, sin embargo una realidad es que este material se acumula de manera alarmante en los rellenos sanitarios, botaderos y en algunos casos en vías públicas en distintas partes del país.

Una gran parte de la población entiende la importancia y los beneficios económicos y ambientales que implica el reciclaje, sin embargo, no realizan la clasificación y separación entre diferentes categorías de residuos sólidos en sus hogares. Si bien existen normativas y ordenanzas municipales en algunas regiones que promueven el reciclaje, aún hace falta difundirlas, aplicarlas y que la población misma exija su cumplimiento.

La disposición inadecuada de los residuos de tereftalato de polietileno genera los siguientes impactos.

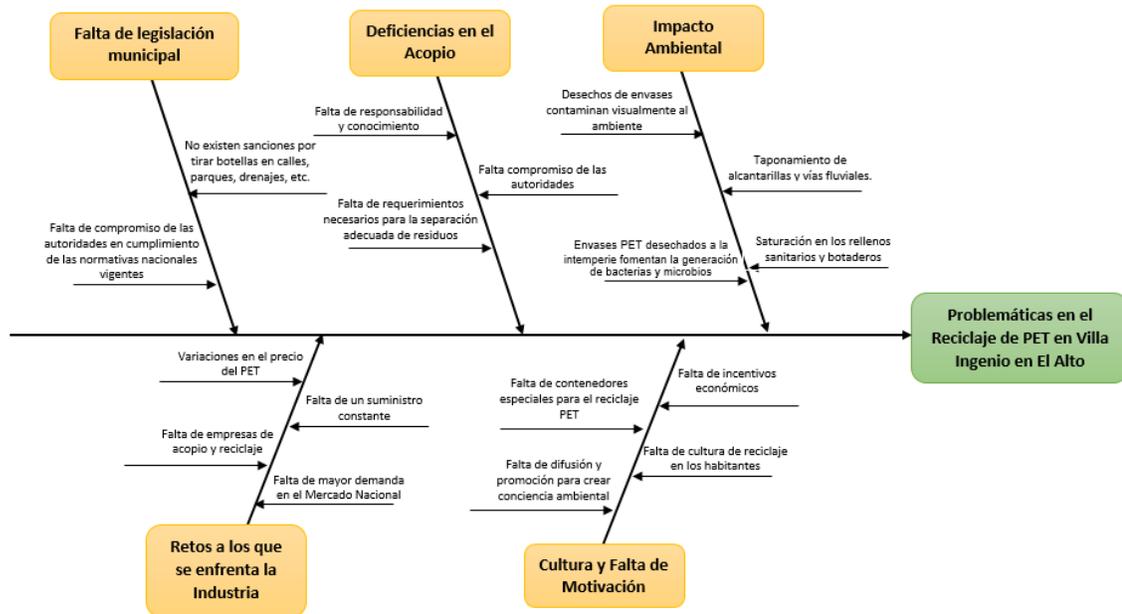
1. Contaminación visual del medio ambiente, por envases desechados en pocas o grandes cantidades en lugares públicos.
2. Riesgos en la salud, ya que los envases PET luego de ser desechados a la intemperie pueden fomentar la generación de bacterias y microbios.
3. Taponamiento de alcantarillas y vías fluviales, provocando inundaciones en época de lluvias.
4. Saturación en los rellenos sanitarios y botaderos, por ocupar amplio espacio y además por su lenta degradabilidad que permite que el material se acumule con facilidad en estos recintos.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental por los envases de post consumo de tereftalato de polietileno (PET) se debe a la falta de cultura de reciclaje de la gran mayoría de los habitantes de las distintas urbes del país, los cuales disponen de este tipo de desechos de manera inapropiada, a esto se suma, el servicio insuficiente que realizan los gobiernos municipales en la recolección de materiales reciclables y la falta de compromiso en el cumplimiento de la normativa nacional vigente respecto al manejo y disposición de residuos sólidos

.A continuación, se realiza un resumen de las causas se presenta el planteamiento de problema.

Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa de la problemática del reciclaje de PET en Villa Ingenio



Fuente: Elaboración propia, 2021

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de reciclaje de residuos post-consumo de tereftalato de polietileno (PET) en la Zona de Villa Ingenio para facilitar su posterior procesamiento en plantas recicladoras de la ciudad de El Alto.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el estado del arte referente al tereftalato de polietileno en sus formas de reciclaje y la gestión de su disposición en Bolivia.

- Delimitar el área de estudio que involucra la zona de Villa Ingenio para el diseño del sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno.
- Estudiar la percepción de los habitantes de la zona de Villa Ingenio sobre la cultura del reciclaje, así como de los involucrados en la recolección, comercialización, clasificación, y almacenamiento de residuos post-consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.
- Elaborar un sistema de reciclaje con puntos de acopio y trayectorias para la recolección de los residuos de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio mediante el software Q-GIS.
- Desarrollar la practica en laboratorio del reciclaje químico del PET como opción para reciclar los envases PET de color que se generen en la zona de Villa Ingenio.
- Socializar la temática del reciclaje de PET a través de eventos organizados y promovidos por el equipo de investigación.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El municipio de El Alto, al igual que muchos municipios del país, cuenta con una precaria e informal recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno. Ésta debería ser aprovechada y apoyada para un manejo efectivo que permita una mayor recolección que sea atractiva para los recicladores. La gestión integral de este tipo de residuos, constituye una fuente de oportunidades para generar mercados y cadenas productivas formales que proporcionen empleos y beneficios a todas las zonas de esta ciudad. Es por ello que la hipótesis del presente proyecto de investigación es la siguiente:

Hi: El diseño de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno para la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto, se involucra positivamente con el modelo de desarrollo sustentable y genera oportunidades e impactos socio económicos y ambientales favorables para los habitantes de la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto.

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El diseño de un sistema de reciclaje de residuos post-consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio se basa en las estadísticas de reciclaje de este tipo de material en nuestro país y la ciudad de El Alto, así como en los antecedentes del negocio del reciclaje en la zona de Villa Ingenio, con el propósito de sistematizar y fomentar su recuperación determinando puntos y trayectorias estratégicas de recolección dentro de la zona con la ayuda de un software de sistemas de información geográfica, así como la ejecución de estudios de laboratorio para evaluar la aplicabilidad del reciclaje químico del PET.

1.6.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno (PET) es importante también en aspectos económicos, ya que se ahorra materia prima y se pueden generar nuevas fuentes de negocio. En Bolivia, aún más por la coyuntura sufrida por el Covid 19, más de 10000 familias trabajan recuperando y reciclando residuos sólidos, y el 60% de ellas son mujeres que sustentan a su familia mediante la recolección de materiales reciclables. Poder sistematizar y facilitar la recolección de residuos post consumo de PET para estas personas, fomentaría el reciclaje y haría más atractivo del negocio del reciclaje.

1.6.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La mala disposición de los residuos sólidos en la ciudad de El Alto, que es reflejo en lo que pasa en diversas ciudades de Bolivia, es la representación de la falta de la cultura del reciclaje en la población, para ello es necesario fomentar el reciclaje, orientando a jóvenes y adultos para que con el tiempo ellos puedan demostrar actitudes responsables que contribuyan al cuidado del medio ambiente.

1.6.4. JUSTIFICACIÓN MEDIO AMBIENTAL

La problemática que representa la mala disposición de los plásticos, entre ellos el PET, genera un impacto directo en el medio ambiente, sin embargo considerar la opción de dejar de producir y utilizar plásticos como una solución no es realista. El tereftalato de polietileno (PET) es un material que facilita la vida del ser humano en varios aspectos, así que la intención es encontrar alternativas y opciones que permitan mitigar el impacto negativo que el residuo post consumo de PET genera en el medio ambiente y así coadyuvar a la disminución de la acumulación de plástico en la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto.

1.7. ALCANCE

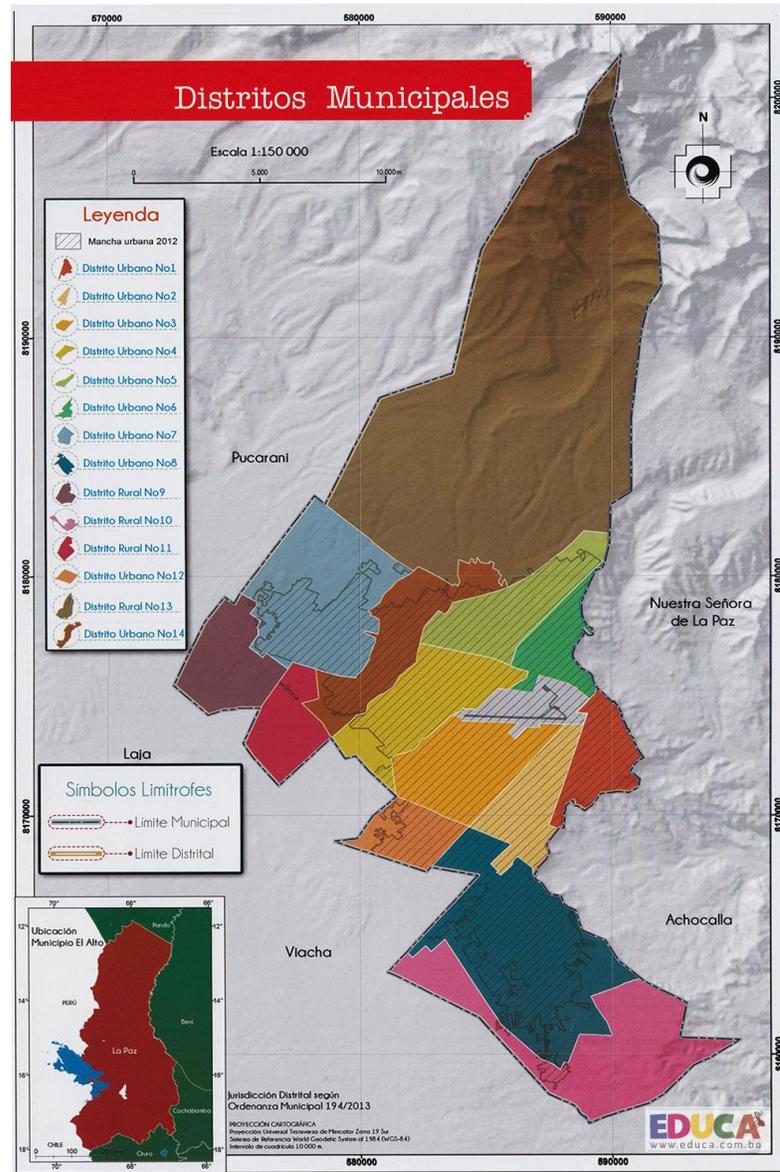
1.7.1. ALCANCE TEMÁTICO

El objetivo de la investigación es elaborar un diseño de sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio que ayude a facilitar la recolección y su posterior procesamiento en plantas de reciclaje en la ciudad de El Alto, proporcionando una visión sobre la problemática existente relacionada con la disposición de este tipo de desechos y de la necesidad de tener un enfoque hacia un desarrollo sustentable para proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de los habitantes, dicha tarea requiere tener como bases la educación, tecnología y el desarrollo sostenible.

1.7.2. ALCANCE GEOGRÁFICO

El diseño de sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET, será planteado y diseñado para la zona de Villa Ingenio, ubicada en el Distrito 5 al norte de la ciudad de El Alto, en el Departamento de La Paz. En esta zona se planea establecer los puntos tentativos de recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Figura 1.2 Mapa de Distritos Municipales de El Alto



Fuente: Extraído de www.educa.com.bo (Atlas geográfico del El Alto, 2015)

1.8. ALCANCE LEGAL

En la Constitución Política del Estado promulgada el 7 de febrero del 2009, en el artículo 299, menciona que los residuos industriales y tóxicos, así como proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos son competencias que se ejercen de forma concurrente por el nivel central de Estado y las entidades territoriales autónomas. En el artículo 302, indica que el aseo urbano, manejo y tratamiento de

residuos sólidos en el marco de las políticas del Estado son competencias exclusivas de los gobiernos municipales autónomos en su jurisdicción. La ley 755 promulgada el 28 de octubre del 2015, establece la política general y el régimen jurídico de la Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia, priorizando la prevención para la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, así como el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

El municipio autónomo de la ciudad de El Alto debe regirse en base a la Constitución Política del Estado Plurinacional, así como de la leyes anteriormente citadas, sin embargo, hasta este momento no se cuenta con capacitaciones continuas e incentivos para fomentar exclusivamente una adecuada gestión de residuos en la ciudad de El Alto.

El presente proyecto de investigación respetara las normativas vigentes existentes relacionadas al tema de investigación y se basara en las mismas para su desarrollo.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PLÁSTICO.

Las primeras investigaciones y estudios realizados del plástico se iniciaron el año de 1860, cuando el estadounidense Wesley Hyatt desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol al que llamó “celuloide”. El celuloide, sirvió para la fabricación de algunos objetos de índole domésticos como mangos de cuchillos o armazones de lentes. (Bellis, 2020)

Ya en el año de 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland, sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este material presentaba gran resistencia mecánica, aislamiento eléctrico y resistencia a altas temperaturas. Le dieron el nombre de “Baquelita”, considerado como el primer plástico totalmente sintético de la historia.

Para la década de los años 30, se descubrió en Inglaterra el gas etileno que polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). También fueron desarrollados en Alemania el poliestireno (PS), un material muy transparente utilizado comúnmente para vasos y transparencias; el poliestireno expandido (EPS), que es una espuma blanca y rígida, usado en la mayoría de los casos para embalaje y como aislante térmico. (Bellis, 2020)

Durante este mismo periodo, el químico Wallace Carothers creó la primera fibra artificial, el nylon, el primer uso que le dieron a este material fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses utilizados durante la Segunda Guerra Mundial, rápidamente se extendió a la industria textil para la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana.

En décadas posteriores, surgen otros tipos de plásticos de diferentes mezclas de elementos como el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, utilizado para cañerías de todo tipo; y un plástico parecido al PVC llamado

politetrafluoretileno (PTFE), que se conoce popularmente como teflón y es usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

En el año de 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, estos dos materiales en la actualidad son los dos plásticos más utilizados. (Bellis, 2020)

2.2. GENERALIDADES DE LOS PLÁSTICOS.

Los plásticos son derivados del petróleo que se producen a partir de resinas muy variadas y producidas de materia cruda por industrias químicas. Las resinas se pueden obtener de diferentes formas: granuladas, en polvo, líquidas o en pasta. La industria del plástico normalmente moldea estas resinas por medio de calor para lograr el producto terminado. Los plásticos son materiales sintéticos denominados polímeros, formados por moléculas, cuyo principal componente es el carbono. (Bellis, 2020)

Los polímeros se clasifican en tres grupos: los termoestables, termoplásticos y elastómeros. Los termoplásticos poseen gran ductilidad y conformidad al ser calentados, asimismo están formados por grandes cadenas moleculares lineales y ramificadas; los polímeros termoestables son más resistentes pero a su vez son frágiles ya que poseen cadenas moleculares rígidas fuertemente enlazadas; el elastómero es una palabra que significa simplemente "caucho"; entre los elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el poli butadieno, el poliisobutileno, y los poliuretanos. Lo particular de los elastómeros es que pueden ser expandidos hasta muchas veces de su longitud original, para luego recuperar su forma inicial sin una deformación permanente. (Sanchez Gallo, 2015)

Algunas características de los plásticos en general son:

- Bajo peso
- Aislante térmico
- Flexibilidad
- Transparencia

- Resistencia a químicos
- Insolubilidad
- Impermeabilización
- Resistencia al envejecimiento
- Estabilidad térmica
- Adherencia

Los Plásticos son más livianos que otros materiales por lo que se reduce el consumo de combustibles para su transporte. Su poder aislante ahorra energía en calefacción y en refrigeración. Es un material de alta durabilidad y versatilidad y son más económicos de producir y procesar que otros materiales. Asimismo tienen la característica de poder cambiar de forma y conservar ésta de modo permanente, a diferencia de los materiales elásticos. Además, la mayoría de los materiales plásticos son transparentes, incoloros y frágiles; y si se les añade determinadas sustancias, sus propiedades cambian, y se los puede hacer ligeros, flexibles, de colores, aislantes, etc.

La mayoría de los plásticos comercializados se obtienen de la polimerización de compuestos derivados del petróleo crudo, el gas natural y el carbón. Primero se realiza la producción del petróleo y el gas natural. Posteriormente pasa a las industrias petroquímicas donde se transforman las materias primas en sustancias intermedias como el etileno, propileno, butileno y otros hidrocarburos ligeros. Por último, con la reacción química de polimerización se forman largas cadenas de pequeñas moléculas elementales repetidas, llamadas monómeros hasta formar los polímeros y posteriormente los plásticos. (Sanchez Gallo, 2015)

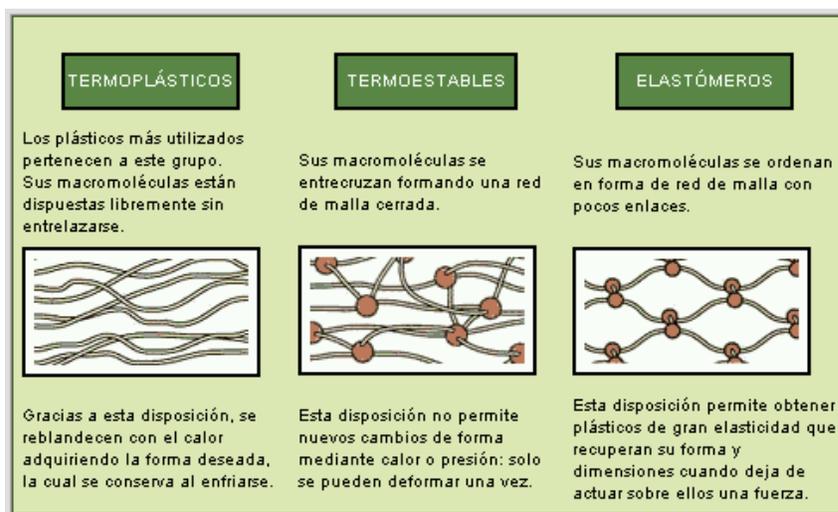
Los polímeros son materiales no naturales, obtenidos mediante reacciones de síntesis, lo que los convierte en materiales muy resistentes y prácticamente inalterables. Esto hace que la naturaleza no pueda por si misma hacerlos desaparecer y permanezcan en los vertederos por largos periodos de tiempo. Los plásticos son combinaciones de uno o varios polímeros que con aditivos apropiados

ofrecen como producto final materiales con las propiedades mencionadas anteriormente.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

Los plásticos son sustancias que carecen de un punto fijo de evaporación, los cuales durante algún intervalo de temperatura poseen propiedades de elasticidad y flexibilidad, donde pueden ser moldeados y adaptados a su forma final, y según su comportamiento frente a una fuente de calor los plásticos se pueden clasificar en las siguiente categorías: (Yustos, 2008).

Figura 2.1 Clasificación de los Plásticos



Fuente: Grupo Editorial SM, 2011

2.3.1. TERMOFIJOS O TERMOESTABLES

Están formados por cadenas macromoleculares unidas entre sí por fuertes enlaces covalentes. Sus macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada. Esta disposición no permite nuevos cambios de forma mediante calor o presión: solo se deforma una sola vez. No se ablandan ni fluyen por acción del calor, llegan a descomponerse si la temperatura aumenta. No se pueden moldear repetidas veces. Entre ellos encontramos: resinas fenólicas, amino-resinas, resinas de poliéster, resinas epoxi, poliuretanos, entre otros. (Yustos, 2008)

2.3.2. ELASTÓMEROS.

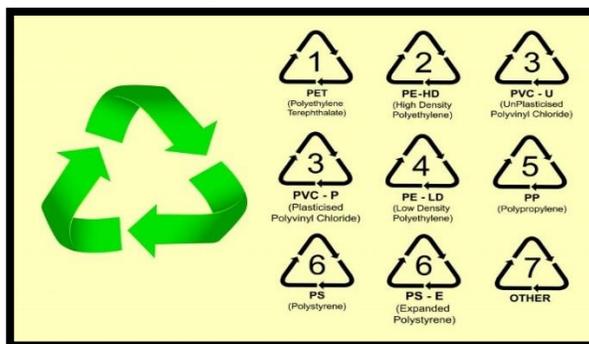
Sus cadenas están enlazadas por fuertes enlaces covalentes. Sus macromoléculas se ordenan en forma de red malla con pocos enlaces. Esta disposición permite obtener plásticos de gran facilidad de deformación por acción de una fuerza externa que recuperan inmediatamente su forma y dimensiones originales cuando deja de actuar sobre ellos una fuerza. Entre ellos encontramos los diferentes tipos de cauchos. (Yustos, 2008)

2.3.3. TERMOPLÁSTICOS.

Este tipo de plástico es el mayormente utilizado debido a que cuando se someten a temperatura y presión adecuada se funden y pueden ser moldeados nuevamente. Entre este tipo de plástico se puede mencionar el polietileno de baja densidad (PEBD), el polietileno de alta densidad (PEAD), el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno (PS), el polietileno expandido (EPS), el polipropileno (PP), el polietileno tereftalato (PET), las poliamidas (PA), entre otros. (Yustos, 2008)

Se puede decir que todos los termoplásticos son reciclables, teniendo como primer paso la separación por tipo de resina. Una fracción clasificada con mayor pureza significa mayor rendimiento y mayor precio por tonelada. Es así que la Sociedad de la Industria de Plásticos desarrolló en 1988 el Código de Identificación de Resinas. Donde los productos elaborados tengan un símbolo de aceptación universal que indique el tipo de material tratado.

Figura 2.2 Código de Identificación de Resinas



Fuente: Extraído de www.spg-pack.com (Sociedad de la Industria de Plásticos, 1988)

Las flechas que forman el triángulo señalan que el producto plástico puede ser reciclado. Los números y letras identifican a cada tipo de plástico. Si el acrónimo lleva una “R” delante, significa que el producto lleva materiales plásticos reciclados.

A continuación se realiza una breve descripción de los usos de cada uno:

- **PET (Tereftalato de Polietileno):** Material resistente física y químicamente, aislante térmico, liviano, reciclable. Se utiliza principalmente para botellas de bebidas gaseosas, aguas, aceite, y envases para alimentos. El PET reciclado se puede utilizar para madera plástica, fibras textiles, filamentos, autopartes y reciclado convenientemente en nuevos envases de alimentos. (Blanco, 2006)

Figura 2.3 PET (Tereftalato de Polietileno)



Fuente: Extraído de <https://www.ensavelia.com/blog/tereftalato-de-poli-etileno-id12.htm>

- **Polietileno de Alta Densidad (PE-HD).** Se utiliza para fabricar láminas, botellas y bidones, entre otras cosas. La lámina de PE-HD de los envases comerciales o industriales se recicla, no así la utilizada en las bolsas de la compra. El material de las botellas y envases plásticos se recicla en nuevas botellas moldeadas mediante soplado o en contenedores mucho más grandes como barriles para agua de lluvia y bidones para compostaje. (Blanco, 2006)

Figura 2.4 Polietileno de alta densidad (PEHD)

Fuente: Extraído de <https://reducirplastico.com/blog/tipos-plastico/polietileno-alta-densidad/>

- **Policloruro de Vinilo (PCV).** Es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a Policloruro de vinilo. El PVC es producido a partir de sal y gas, a los que hay que agregarles aditivos para poder ser utilizados. Según lo añadido puede adquirir diversas propiedades, flexibilidad o rigidez, opacidad o transparencia. Este plástico es sumamente utilizado y económico. Es utilizado en la producción de juguetes, envases, envoltorios, películas, electrodomésticos, etc. Se produce en una amplia gama de calidades, todas las cuales tienen posibilidades de reciclado. Dado que muchas aplicaciones del PVC tienen una vida útil muy larga, hasta ahora sólo se dispone de pequeñas cantidades para su reciclado, aunque esas cantidades aumentarán en el futuro. Como ejemplo el PVC es utilizado en la fabricación envases para pulidores de pisos, champús, aceites comestibles, enjuagues bucales, mangueras de jardín, cortinas de baño, tarjetas de crédito y muchas otras cosas. (Blanco, 2006)

Figura 2.5 PVC (Policloruro de Vinilo)

Fuente: Extraído de https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-a-Estructura-del-policloruro-de-vinilo-PVC-utilizado-en-tuberias_fig1_286457627

- **Polietileno de Baja Densidad (PE-LD).** Se utiliza en envases y envolturas en la agricultura. Las envolturas de PE-LD recuperadas de los envases se utilizan más habitualmente en la fabricación de nuevas envolturas. Los desechos transparentes de alta calidad encuentran una aplicación en bolsas de la compra; mientras que el material de calidad inferior se utiliza en bolsas para basura.

El PE-LD se utiliza principalmente en embalaje industrial y envases comerciales. Puede reciclarse para segundas aplicaciones análogas si se le consigue en una corriente separada. Puede utilizarse también en productos fabricados a partir de mezclas de plásticos. (Blanco, 2006)

Figura 2.6 Polietileno de baja densidad (LDPE)



Fuente: Extraído de <https://reducirplastico.com/blog/tipos-plastico/polietileno-baja-densidad/>

- **Polipropileno (PP).** Se utiliza en molduras industriales o piezas moldeadas para automóviles, tapas plásticas para botellas, hilos de cartón, tuberías, contenedores grandes y pequeños, cajas de botella, láminas para empaquetar y otros usos. Aunque la lámina no se recupera habitualmente de la corriente de desechos en general, los contenedores, las cajas de botella, las piezas moldeadas y las tuberías se reciclan fácilmente en aplicaciones análogas u otras, como tuberías de drenaje para uso agrícola. (Blanco, 2006)

Figura 2.7 Polipropileno (PP)



Fuente: Extraído de <https://iquimica.com.ar/polipropileno-y-su-reciclado/>

- **Poliestireno (PS).** Se utiliza de las siguientes maneras: en forma sólida, el PS se utiliza en embalajes, tazas y platos y en aparatos eléctricos y casetes; en forma expandida se utiliza como embalaje a prueba de golpes, tazas y platos y aislamiento térmico y componentes para la construcción. Ambas formas de PS pueden reciclarse:

Los componentes de Poliestireno sólido, como las tazas de café, pueden reciclarse en aplicaciones como estuches de videocasetes, equipo de oficina, etc. En 1999, se reciclaron mecánicamente en Europa occidental en total unas 107.000 toneladas de desechos de envases de PS después del consumo. (Blanco, 2006)

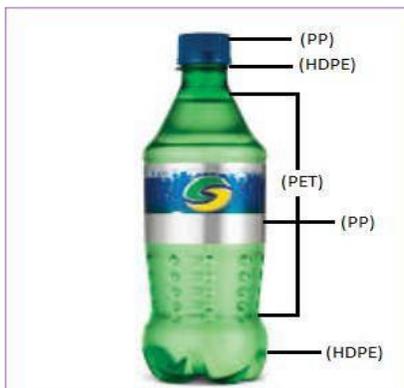
Figura 2.8 Poliestireno (PS)



Fuente: Extraído de <https://conceptodefinicion.de/poliestireno/>

La siguiente figura muestra donde se encuentra ubicados los diferentes polímeros de una botella de refresco.

Figura 2.9 Distribución de los diferentes polímeros en una botella

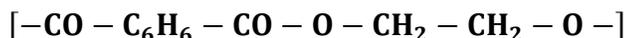


Fuente: Tesis Diseño de un Equipo de Separación de una mezcla de PET/PVC por medio de flotación; Valle y Vertiz 2015

2.4. TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

El Tereftalato de Polietileno “PET” es un derivado del petróleo crudo, gas y aire; son materiales sintéticos termoplásticos de poliéster saturado lineal biorientado, inerte que no produce sustancias tóxicas, que se utilizan como materiales de piezas técnicas desde 1966, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941. Catorce años más tarde, en 1951 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster”. Desde entonces a la actualidad la fabricación de PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico, logrando un alto nivel de calidad y una aprobación mundial. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, 2000)

A partir de 1976 se emplea en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas, los cuales, al principio eran botellas gruesas y rígidas, pero hoy en día, sin perder sus excelentes propiedades como envase, son mucho más ligeros. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El PET se hace combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol, la fórmula química del polietileno tereftalato o politereftalato de etileno (PET) es:

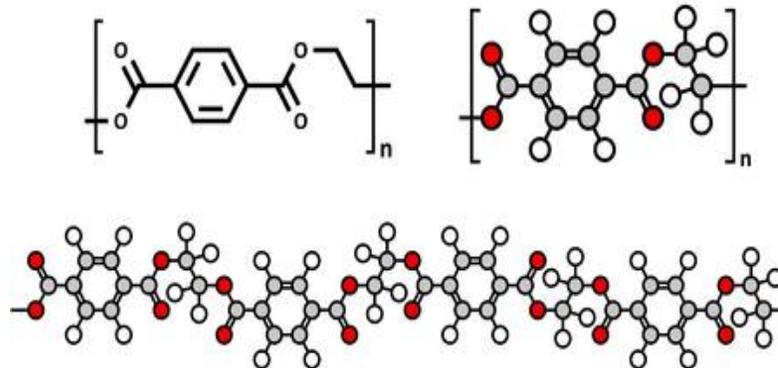


Su apariencia física es muy similar a la de otros plásticos. La manera más fácil de identificarlo es buscar en los envases el símbolo internacional de reciclaje ya que muchos de los recipientes de plástico fabricados en la actualidad vienen con símbolos o sellos para su reciclaje. Estos sellos identifican el tipo de resina o mezcla de resina que hay en el contenedor de plástico. (Bellis, 2020)

2.5. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PET.

Es un material caracterizado por su gran ligereza, resistencia mecánica a la compresión, alto grado de transparencia y brillo; conserva el sabor y olor de los alimentos, es una barrera contra los gases, altamente reciclable y con la posibilidad de producir envases reutilizables, desplazando a otros materiales como el PVC.

Figura 2.10 Tereftalato de polietileno (PET, PETE), estructura química



Fuente: Extraído de https://es.123rf.com/photo_24396695_tereftalato-de-poli-etileno-pet-pete-de-pl%C3%A1stico-de-poli%C3%A9ster-estructura-qu%C3%ADmica-se-utiliza-principalmente-.html

(Molekuul, 2010)

Presenta una demanda creciente en todo el mundo. En general cuenta con las siguientes características y propiedades:

- **Biorientación.** Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.
- **Cristalización.** Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termo formadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.
- **Esterilización.** El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.
- **Factor barrera.** Se denomina factor barrera a la resistencia que ofrece el material con el que está constituido un envase al paso de agentes exteriores al interior del mismo. Estos agentes pueden ser por ejemplo malos olores, gases ofensivos para el consumo humano, humedad, contaminación, etc. El PET se ha declarado excelente protector en el envasado de productos alimenticios, precisamente por su buen comportamiento barrera.
- **Transparencia.** La claridad y transparencia obtenida con este material, en su estado natural (sin colorantes) es muy alta, obteniéndose un elevado brillo. No obstante, puede ser coloreado con pigmentos de colores adecuados sin ningún inconveniente.

- **Peso.** El PET es más ligero en referencia con otros polímeros, por ejemplo: un envase requiere de una consistencia aceptable para proteger el producto que contiene y dar sensación de seguridad al consumidor. Tras haber realizado múltiples envases con este nuevo material, el peso medio de un envase de PET para agua de 1.5 litros es de 37 a 39 gramos con este peso obtenemos la misma consistencia del mismo envase en PVC con 50 gramos aproximadamente y en forma orientativa, el peso de un envase de PET es de un 25% menos que el envase de PVC.
- **Resistencia química.** El PET es resistente a multitud de agentes químicos agresivos los cuales no son soportados por otros materiales.
- **Degradación térmica.** La temperatura soportable por el PET sin deformación no degradación aventaja a la de otros materiales, ya que este material se extrusiona a temperaturas superiores a 250°C, siendo su punto de fusión de 260°C.
- **Conformidad sanitaria.** El PET supera a multitud de materiales en cuanto a la calidad sanitaria por sus excelentes cualidades en la conservación del producto. El PET es un poliéster y como tal es un producto químicamente inherente y sin aditivos. Los envases fabricados correctamente son totalmente inofensivos en contacto con los productos de consumo humano.
- **Reciclado y recuperación.** El PET puede ser fácilmente reciclado, principalmente por el proceso, mecánico y ser nuevamente útil.

Tabla 2.1 Propiedades físicas del PET

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1.3-1.4
Resistencia a la luz ultravioleta		Buena
Resistencia a la tensión	N/mm ²	55
Elongación en punta de ruptura	%	300
Punto de fusión	°C	260
Resistencia Dieléctrica	KV/cm	450

Índice refractivo		1.58-1.64
Inflamabilidad		Auto extinguido
Absorción de agua - Equilibrio	%	<0.7

Fuente: Aplicaciones para PET, 2004

Tabla 2.2 Propiedades físicas del PET

PROPIEDADES QUÍMICAS	OBSERVACIONES
Resistencia a hidrocarburos	Buena
Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente	Buena
Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente	Buena
Resistencia a productos químicos	Consultar
Efecto de los rayos solares	Se decolora ligeramente
Aprobado para contacto con alimentos	Si
Comportamiento a la combustión	Arde mediana dificultad
Propagación de la llama	Mantiene la llama
Comportamiento al quemado	Gotea
Color de la llama	Amarilla
Olor de la llama	Aromático

Fuente: Aplicaciones para PET, 2004

2.6. USOS DEL PET.

En el mercado existen 3 líneas de productos de PET que son:

- **PET DE GRADO TEXTIL.** Fue empleado durante la segunda guerra mundial para reemplazar el algodón o el lino, a diferencia de otros materiales sintéticos, al poliéster (nombre común del PET de grado textil) se le reconoce por tener para el proceso textil alta resistencia a la deformación y estabilidad dimensional, así como el fácil cuidado de las prendas elaboradas de este material que

consiste en secado rápido y no hay necesidad de planchar. Se utiliza realizando mezclas con algodón en diversos porcentajes, para rellenos de almohadas, lonas y otros artículos. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, 2000)

Figura 2.11 Productos de PET grado textil.



Fuente: Tesis *El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda;* Reyes 2013

- **PET DE GRADO BOTELLA.** Esta línea es tal vez la que más demanda ha tenido. Desde su aparición en Europa ha experimentado un crecimiento debido a las características que ofrece en cuanto a resistencia contra agentes químicos, transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, 2000)

Figura 2.12 Productos de PET grado botella



Fuente: Extraído de https://es.made-in-china.com/co_yustronger/image_Bottle-Grade-Virgin-Recycled-Pet-Resin-for-Bottle-Making_eirussnoy_JnLTIShPfMro.html

- **PET DE GRADO FILM.** El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film: en la práctica, todas las películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET. Como se puede apreciar, la gama de productos que incluyen al PET es muy grande, y por consecuencia de los grandes niveles de consumo, la generación de residuos sólidos es considerable. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, 2000)

Figura 2.13 Productos de PET grado film



Fuente: Extraído de <https://www.polymerfilms.com/es/product/pet/>

Como se puede apreciar, la gama de productos que incluyen pet es muy grande y como consecuencia de los grandes niveles de consumo es la generación de residuos sólidos excesivos.

2.7. OBTENCIÓN DEL PET

El PET es una resina poliéster de glicol etilénico y ácido tereftálico. Se clasifica en función de la viscosidad intrínseca, la cual es directamente proporcional a su peso molecular y de la modificación polimérica que reduce la velocidad de cristalización y el punto de fusión. (Blanco, 2006)

2.7.1. POLIMERIZACIÓN.

De manera industrial, se puede partir de dos productos intermedios distintos:

- TPA -Ácido Tereftálico-
- DMT -Dimetiltereftalato-

Mediante la esterificación la cual consiste en la eliminación de agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT, se obtiene el monómero Bis-beta-hidroxi-etil-tereftalato, para posteriormente pasar a la fase de policondensación, la que se realiza mediante catalizadores y temperaturas elevadas arriba de 270° C. Cuando la masa del polímero ha alcanzado la viscosidad deseada, se romperá el vacío, introduciendo nitrógeno en el recipiente.

En este punto se detiene la reacción y la presencia del nitrógeno evita fenómenos de oxidación. La masa fundida, por efecto de una suave presión ejercida por el nitrógeno, es obligada a pasar a través de una matriz, en forma de hilos gruesos, cayendo en un recipiente con agua, donde se enfrían y consolidan. Los hilos que pasan por una cortadora, se reducen a gránulos, los cuales, tamizados y despolvados se envían al almacenamiento y fabricación. El gránulo así obtenido es brillante y transparente porque es amorfo, baja viscosidad o sea un bajo peso molecular, volviéndolo apto para la producción de botellas. (Blanco, 2006)

2.7.2. CRISTALIZACIÓN.

Es el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos, de estructura amorfa (transparente a la luz), a una estructura cristalina (opaca a la luz) que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El proceso industrial consiste en un tratamiento térmico a 130 - 160 °C, durante un tiempo que puede variar de 10 minutos a una hora. Con la cristalización, la densidad del PET pasa de 1.33 g/cm³ del amorfo a 1.4 del cristalino. (Shackerlford, 2011)

2.7.3. POLIMERIZACIÓN EN ESTADO SÓLIDO O POST POLIMERIZACIÓN.

Esta es una fase posterior de polimerización del PET. El granulo cristalizado es sometido a un flujo de gas inerte (nitrógeno) a temperatura elevada (sobre los 200 ° C).

Este tratamiento crea una reacción de polimerización que aumenta el peso molecular de la resina hasta los valores correspondientes de Índice de Viscosidad

(0.72 – 0.86) idóneos para la fabricación de botellas. Esta resina contiene un elevado porcentaje de cristalinidad (> 50) con viscosidad Grado para Botella (“Bottle Grade”). La fabricación de botellas PET consiste en un proceso de inyección-estirado-soplado. El PET utilizado para botellas se presenta en forma de pequeños cilindros o chips, los cuales, una vez secos se funden e inyectan a presión en máquinas de cavidades múltiples de las que salen las preformas, recipientes similares a tubos de ensayo pero con rosca para un tapón. Estas son sometidas a un proceso de calentamiento controlado y gradual y a un moldeado donde son estirados por medio de una varilla hasta el tamaño definitivo del envase. Por último son "soplados" inflados con aire a presión limpio hasta que toman la forma del molde. Con este proceso, las moléculas se acomodan en forma de red, orientándose en dos direcciones; longitudinal y paralela al eje del envase, propiedad denominada biorientación la cual aporta la elevada resistencia mecánica del envase. (Blanco, 2006)

Figura 2.14 Diagrama de flujo para la producción de PET



Fuente: Extraído de <http://envasespet.blogspot.com/2010/08/proceso-de-produccion-del-pet.html>

2.8. PROCESOS DE RECICLADO DEL PET.

Es el proceso a través del cual materiales ya utilizados (desperdicios), en este caso PET post consumo, son acondicionados y tratados con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima. El PET es actualmente el material plástico que más se recupera de entre los sólidos. La fuerza del mercado

depende de la limpieza y la forma de presentación del material recuperado. (Bellis, 2020)

Los plásticos recuperados están encontrando mercados en productos para los cuales los requisitos no son tan elevados como en aquellos que requieren resinas vírgenes como es el ejemplo de productos que están en contacto con alimentos.

Existen tres maneras diferentes de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: Someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, 2000)

2.8.1. **RECICLADO MECÁNICO.**

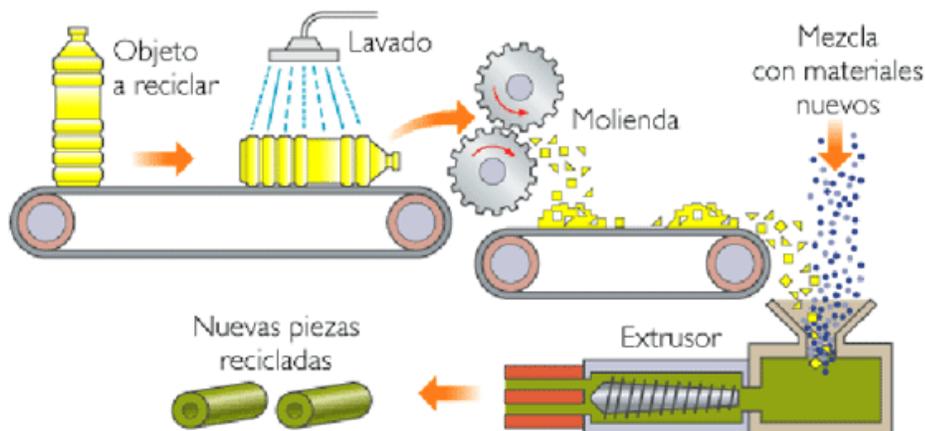
El reciclaje mecánico es cuando se reutiliza el material a reciclar y es procesado en máquinas industriales, para volver a colocarlo como un producto nuevo. Este tipo de reciclaje se utiliza más que todo en el reciclaje de plásticos, puede ser el obtenido en zonas urbanas, el material que haya sobrado de procesos industriales, sea puro u homogéneo y también se puede utilizar el plástico que está combinado con otros residuos como papel, cartón o metal. (Perdigon, 2010)

Es un proceso industrial, sus pasos son:

- Recolectar el material.
- Separarlo.
- Introducirlo en el molino.
- Una vez molido el plástico, lavarlo.
- Secarlo.

Luego de esto procedemos a calentarlo a altos grados de temperatura, para que el mismo se vuelva líquido y poder Reutilizar el plástico. Si bien alguno de sus pasos es de forma manual, otros de ellos se realizan ayudados por máquinas y por esta razón se dice que es un reciclaje mecánico. (Perdigon, 2010)

Figura 2.15 Proceso del reciclaje mecánico



Fuente: Extraído de <http://tecnologiasreciclaje2909.blogspot.com/p/tipos-de-reciclaje.html>

El reciclaje mecánico consiste en trocear el material e introducirlo en una extrusora para fabricar granza reciclada y después transformarla (extrusión, inyección, etc.)

Las etapas del reciclaje mecánico son:

- **Limpieza:** acondicionamiento para obtener una materia prima adecuada, sin suciedad o sustancias que puedan dañar tanto a las máquinas como el producto final.
- **Clasificación:** Selección y separación de los plásticos. Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza: técnicas
- **De flotación-hundimiento** basadas en la diferencia de densidad, utilización de disolventes, técnicas espectroscópicas, técnicas electrostáticas, técnicas basadas en la incorporación de marcadores químicos y otras (Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX), 2013).

Métodos de pre – tratamiento

Las etapas del método de pre – tratamiento suelen ser las siguientes:

- **Trituración:** la trituración consiste en dar al plástico la forma y medida que sea compatible con los procesos de transformación que se utilizan

posteriormente. Esta operación se lleva a cabo mediante molinos, cortadoras u otros equipos similares.

- **Separación de las partículas mecánicas:** la detección y separación de las partículas metálicas presentes en los residuos plásticos que se van a reciclar en una etapa fundamental para evitar posibles daños en los equipos utilizados durante el proceso del reciclado, así como para mejorar la calidad del material. Los métodos mas utilizados son los detectores y separadores inductivos de metales.
- **Lavado:** es un proceso imprescindible para el reciclado de materiales plásticos post – consumo que muchas veces presenta numerosas impurezas adheridas. La efectividad del lavado tiene una gran influencia en la calidad final del material reciclado. Cuantas más impurezas contenga el reciclado más problemas y paradas técnicas se producirán durante el procesado posterior y encarecerán el proceso. Normalmente el lavado se realiza con agua, aunque también se pueden utilizar otras sustancias. Esta etapa se puede integrar a la de separación y/o a la de trituración.
- **Modificación física:** en algunos casos en que no sea económicamente viable la separación de dos o más polímeros, es interesante estudiar la posibilidad de crear una mezcla de polímeros que presente buenas propiedades mecánicas. En el caso de mezclas incompatibles, es necesario utilizar un agente compatibilizador que garantice la cohesión entre los diferentes componentes. De esta forma se consigue un triple objetivo: simplificar la etapa de separación de los residuos, unificar los sistemas de tratamiento y transformación, y mejorar la competitividad del producto, ya que las mezclas obtenidas son materiales “nuevos” que pueden tener propiedades mejoradas que los componentes individuales de partida, y por tanto pueden competir directamente con las demandas de los materiales vírgenes.
- **Modificación por aditivos:** La adición de aditivos a los plásticos es una práctica habitual y necesaria que tiene como objetivo mejorar sus propiedades y su procesabilidad. Como ejemplo de aplicación de aditivos, en

la fabricación de tuberías a partir de plásticos procedentes de films de embalaje se requiere de la adición de antioxidantes, cargas minerales y modificadores de impacto.

- **Mezcla física:** El objetivo de esta etapa es garantizar la homogeneidad del material para evitar segregaciones de sus componentes en etapas posteriores. Con este tipo de mezclado se consigue una distribución homogénea de los aditivos.
- **Extrusión (plastificación, homogeneización y desgasificación):** En esta etapa el material reciclado es extruido con un cierto porcentaje de material virgen. La extrusión permite asegurar la máxima homogeneidad del material. Posterior a su granceado (obtención de los gránulos de resina PET), el material puede ser transformado en un nuevo componente o pieza. (Franco Urquiz, Ferrando, & Maspocho, 2015)

2.8.2. RECICLADO QUÍMICO.

El reciclado químico trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos. El reciclado químico comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. (Centro de estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 2013) Dando origen a productos finales de muy buena calidad. Los principales procesos existentes son:

- **Pirolisis** Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.
- **Hidrogenación.** En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que

puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

- **Gasificación** Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.
- **Quimiolisis** Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poli acetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.
- **Metanólisis** Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas.

Figura 2.16 Proceso de Metanolisis



Fuente: Extraído de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET. Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la Quimiolisis y la Metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de

resina. En cambio la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos. (Centro de estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 2013)

En el presente trabajo de investigación, se llevara a cabo de manera practica la evaluación del reciclaje químico mediante la hidrolisis básica o hidrolisis alcalina de residuos post consumo de PET.

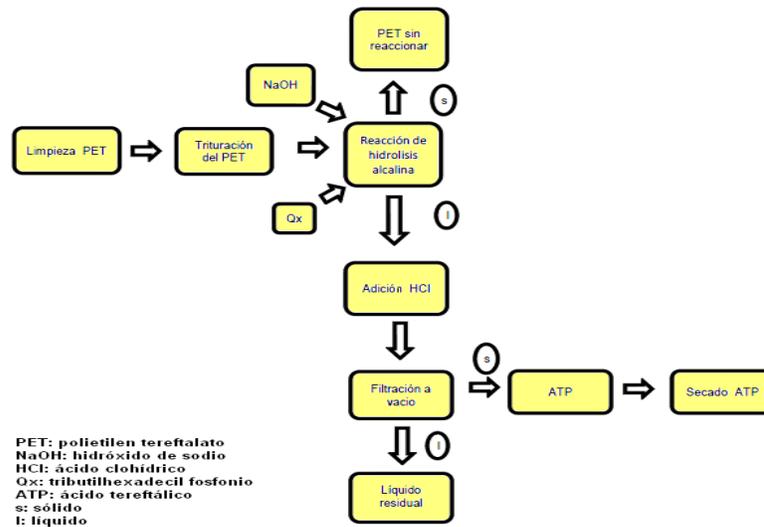
2.8.2.1. HIDRÓLISIS ALCALINA

Se lo conoce como hidrólisis, del griego hidro “*hydor*” que significa agua y lisis “*lysis*” que significa ruptura. Es un proceso químico en el que una molécula se divide en dos partes por la adición de una molécula de agua (H_2O) formando una disolución se separan químicamente en sus respectivos Anión (ion de carga negativa) y Cation (ion de carga positiva), un fragmento de la molécula gana un ion hidrógeno (H^+) a partir de la molécula de agua adicional. El otro grupo recoge el grupo hidroxilo restante (OH^-). (Briceño, 2018)

La hidrolisis es un método de reciclaje que implica una reacción de PET con agua en un ambiente ácido, alcalino o neutro, lo que lleva a la despolimerización total en sus monómeros de ácido tereftálico (PTA) y etilenglicol (EG). Las desventajas del método de hidrólisis están representadas por las altas temperaturas (entre 200 y 250 °C), por las presiones (entre 1,4 y 2 MPa) y por el largo tiempo necesario para completar la despolimerización. (Mendez Prieto, 2020)

La hidrólisis alcalina utiliza presión para crear calor para acelerar el proceso, el proceso se realiza con agua a temperaturas entre 110 y 150 °C y para acelerar dicho proceso se utiliza hidróxido de sodio o hidróxido de potasio como agente activo para descomponer el PET triturado, la mezcla de la reacción se somete a calor hasta que alcance el punto de ebullición, al finalizar se enfría y los residuos son filtrados. El filtro alcalino obtenido es neutralizado con un ácido fuerte como el H_2SO_4 , el producto final se filtra mediante succión y es deshidratado. (Tecnología de Plásticos, 2011)

Figura 2.17 Hidrolisis alcalina de PET



Fuente: Tecnología de los Plásticos, 2011

2.8.3. RECICLADO ENERGÉTICO.

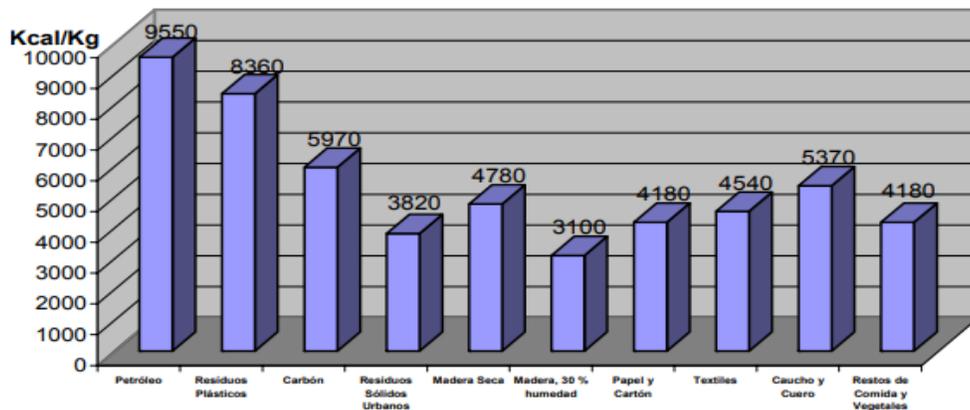
También llamado reciclaje cuaternario El plástico es un excelente combustible. Se puede aprovechar su energía en la producción de electricidad y calor (vapor), con prestaciones casi idénticas a los combustibles fósiles y aportando una solución a la gestión de los desechos difíciles de recuperar. Además, esto permite también recuperar metales. Sin embargo, dadas las características contaminantes de su combustión, debe ir acompañado de normas rigurosas en cuanto a las emisiones de humo El PET es un polímero que está formado solo por átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno, por lo cual al ser quemado produce solo dióxido de carbono y agua, (CO₂ más H₂O) con desprendimiento de energía. (Shackerlford, 2011)

Es posible aprovechar este material como combustible en los casos donde por costos de acopio y transporte sea inviable algún otro procedimiento de reciclado, para calefacción de asilos, escuelas y otros usos como la fabricación de ladrillos, etc. Un gramo de PET libera una energía de 22075 Btu según Polymer Recycling, a la que tiene otros combustibles derivados del petróleo. (Kotiba, Mosab, & Fawa, 2013)

Cada día se genera residuos sólidos urbanos (RSU) en las ciudades que son transportados a vertederos. Es un hecho que no todo el plástico que generamos se puede reciclar. Al igual que ocurre con el papel, el plástico no soporta ser reutilizado de manera infinita, y tras varios procesos de reciclado queda inservible teniendo como único fin acabar sus días en los vertederos, donde tardará muchos años en ser descompuesto y producirá grandes dosis de gases de efecto invernadero, principalmente metano cuyo efecto es 2 veces superior al del CO₂. Dicho metano puede ser aprovechado para la generación de energía, evitando el grave perjuicio que supone su liberación a la atmósfera. (Plastivida Argentina, 2009)

Muchos plásticos pueden arder y servir de combustible debido a su elevado poder calorífico. Aquí se pueden aprovechar todo tipo de plásticos incluso aquellos que presentan deterioro o suciedad.

Figura 2.18 Poder calorífico de diversos materiales



Fuente: Recuperación energética de los residuos plásticos. (Plastivida Argentina, 2009)

A modo de ejemplo: 1 kg de polipropileno aporta en su combustión casi tres veces más energía calorífica que 1 kg de madera de leña; 1 kg de PET aporta igual energía que 1 kg de carbón; o 1 kg de polietileno genera igual energía que 1 kg de gasóleo. Pero, al tratarse de un proceso de combustión, se genera CO₂ que es expulsado a la atmósfera y contribuye al efecto invernadero, así como otros compuestos gaseosos que pueden resultar tóxicos. Por ello, este proceso debe ir acompañado de controles y medidas de seguridad que eviten estos efectos dañinos. (Estévez, 2010)

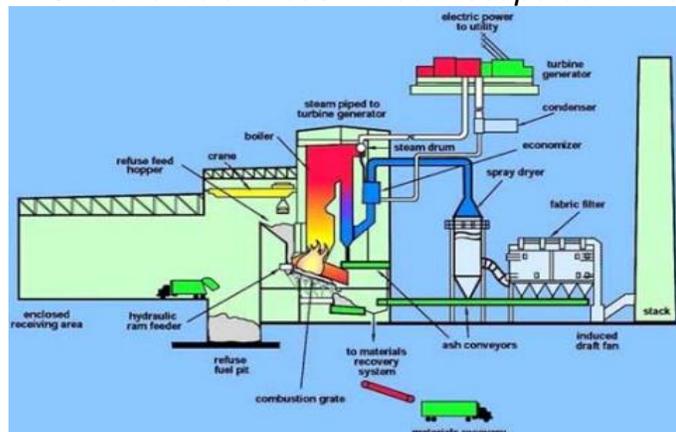
En este punto es cuando aparece el concepto de reciclado energético que consiste en quemar para generar energía.

2.8.3.1. Combustión con Recuperación de Energía

Esta técnica de valorización se usa extensivamente en Europa, Japón y Estados Unidos. También se denomina Recuperación Energética y en inglés se usa el término Waste to Energy (WtE) significando la conversión de los plásticos en energía. La tendencia es a crecer por la falta de espacio para los rellenos sanitarios y el alto costo del petróleo y de la energía en general. Una de las razones para usar la combustión con recuperación de la energía es que se cierra el ciclo de la energía para los productos plásticos que consiste en que para producir un producto plástico se usa energía del gas o del petróleo que son sus materias primas, luego se producen envases plásticos que se destinan al uso industrial, comercial o del hogar, una vez que esos envases se desechan se envían a usinas de combustión con recuperación de la energía y se obtiene nuevamente la energía usada como materia prima porque el Poder Calorífico de los plásticos es comparable con el del fuel oil. Y es 2,5 veces mayor que el Poder Calorífico de la madera y del papel y cartón. (Plastivida Argentina, 2009)

A continuación se muestra una planta de combustión con recuperación de energía típicamente usadas en Europa, USA y Japón.

Figura 2.19 Planta de combustión con recuperación de energía



Fuente: Recuperación energética de los residuos plásticos. (Plastivida Argentina, 2009)

Una planta típica de combustión con recuperación de energía se compone de varias operaciones unitarias y procesos que se describen brevemente a continuación:

- **Control y registro de los residuos.**

Con el propósito de controlar, facturar y registrar los residuos son pesados y registrados a la entrada de la planta. Con fines del control de la combustión se registran entre otros los residuos plásticos que componen la corriente de residuos totales.

- **Reducción de tamaño, selección e inspección de los residuos.**

Esta operación puede ser opcional en los casos que exista una recolección diferenciada por tipo de materiales. Existe una selección de los metales y vidrio que se reciclan y de algunas grandes piezas como electrodomésticos.

- **Descarga y tolva de residuos.**

Los residuos son descargados a una gran tolva o bunker. La capacidad de este sistema debe permitir las variaciones diarias o semanales de cantidad de RSU y también tiene por finalidad de mezclar o homogenizar los residuos antes de ingresar al horno.

- **Sistema de alimentación.**

Los RSU homogenizados son alimentados al horno normalmente con grúas como se muestra en la figura.

- **Horno de combustión.**

El residuo primero se seca y luego se quema y se completa la combustión en una serie de cámaras sobre una grilla móvil. Los gases residuales son completamente quemados en una cámara de post combustión.

- **Sistemas de recuperación de energía.**

La energía es recuperada como electricidad, calor o vapor (o en forma combinada) dependiendo del mercado local de energía.

- **Remoción de cenizas y otros residuos sólidos.**

Las cenizas son recolectadas y transportadas por un sistema de cinta o empujador. En ciertos casos se tamiza y selecciona y se usa como carga en

la construcción de caminos, mezcla con cemento, etc. Si quedan residuos se separan y se envían a un relleno sanitario especial.

- **Sistema de control de la contaminación ambiental.**

Este sistema consiste en precipitadores electrostáticos o filtros de manga para la separación física del polvo y algunos metales pesados. Adicionalmente el gas residual se usa pasa por torres de lavado para limpiar el gas. Además, los óxidos de nitrógeno y dioxinas son removidos con filtros especiales o con carbón activado.

- **Chimenea.**

Finalmente, el gas tratado es emitido por la chimenea. La altura de la chimenea depende de las condiciones topográficas y meteorológicas. En este punto existen analizadores de gases que miden on line las cantidades de impurezas emitidas a la atmósfera que deben cumplir con las normas ambientales de cada país.

2.8.3.2. Combustibles a partir de los residuos plásticos mixtos

Se trata de un moderno y novedoso proceso por el cual los plásticos mixtos recolectados de los residuos urbanos son transformados por un proceso químico a combustible diésel que puede ser usado directamente en automotores.

El sistema utiliza licuefacción, pirólisis y craqueo catalítico de plásticos. Dicho sistema puede manejar casi todo tipo de plásticos que en la actualidad se desechan en rellenos particularmente el PEBD, PEAD, PP y PS. El PVC ni el PET son adecuados para este sistema.

Una de las principales ventajas del proceso es la capacidad de manejar plástico mixto sin depurar (lavar) con cierto grado de suciedad, además de su alta efectividad. Una planta típica puede producir hasta 9.500 litros de diésel de alta calidad utilizando 10 toneladas de residuos plásticos, con sistemas modulares que van desde 5 a 30 toneladas diarias. (Plastivida Argentina, 2009)

Esto significa que plásticos altamente contaminados como el film para mulching (recubrimiento de tierra para uso agrícola) pueden procesarse sin dificultad. Lo mismo ocurre con el envoltorio para silos, los tubos para riego por goteo y otros plásticos de uso agrícola. Otros plásticos normalmente difíciles de reciclar tales como los laminados de polímeros incompatibles, los films multicapa o las mezclas de polímeros también pueden procesarse sin inconvenientes a diferencia de las técnicas convencionales de reciclaje de plásticos, como el reciclado mecánico. De hecho, la mayoría de los plásticos puede procesarse directamente aún estando contaminados con suciedad, laminados de aluminio, tintas de impresión, residuos oleosos, etc.

La pirolisis es un proceso de termo degradación en ausencia de oxígeno. Los residuos plásticos son continuamente tratados en una cámara cilíndrica y los gases pirolíticos son condensados en un sistema condensador especialmente diseñado para generar un destilado de hidrocarburo compuesto por hidrocarburos alifáticos de cadena abierta y ramificada, alifáticos cíclico e hidrocarburos aromáticos. La mezcla resultante es esencialmente equivalente al destilado de petróleo.

El plástico es pirolizado a 370°C-420°C y los gases de la pirolisis son condensados en un condensador de 3 etapas, logrando destilado con bajo contenido de sulfuro.

Los pasos esenciales en la pirólisis de los plásticos son los siguientes:

1. Calentar en forma pareja el plástico a un rango limitado de temperatura sin variaciones excesivas de temperatura
2. Purgar el oxígeno de la cámara de pirólisis.
3. Manejar el sub-producto carbonoso dentro del reactor antes de que éste actúe como aislante térmico y haga descender la transmisión de calor al plástico
4. Condensar y fraccionar cuidadosamente los vapores de la pirólisis para producir un destilado de buena calidad y consistencia.

Las ventajas que nos ofrece la pirolisis son:

- Reduce la cantidad de residuos que van a los rellenos sanitarios en dos aspectos en el volumen que ocupan y en evitar la generación de gas metano (biodegradación anaeróbica) que tiene 21 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono
- Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles.
- Reduce el tráfico de camiones con RSU para llevarlos a los rellenos sanitarios que en muchos casos, y cada vez más, se encuentran lejos de las ciudades.
- Permite la valorización de residuos plásticos sucios y de estructuras complejas como envases laminados de diferentes tipos de plásticos que no pueden ser reciclados mecánicamente.
- Se desarrolla *un sistema de generación energética* que se puede poner en marcha en el mismo momento en el que se necesite.

2.9. RECICLAJE EN BOLIVIA

Bolivia genera anualmente 1,7 millones de toneladas de basura. De esta cantidad de desechos el 55,2% son residuos orgánicos, 22,1% son desechos reciclables (papel, plástico, vidrios, metales) y el restante 22,7% es basura no reciclable. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012)

De toda esta cantidad, según datos de la Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en el país se aprovecha de manera formal e informal el 4,6% del total de residuos generados. De los cuales, el 0,9%, corresponde al aprovechamiento de residuos orgánicos y el 3,7% al aprovechamiento de residuos inorgánicos reciclables. Los responsables de esta gran labor del reciclaje la realizan en un primer nivel los recolectores o apalladores en calles, mercados, escuelas y centros comerciales, el material recolectado es vendido a centros de acopio (intermediarios) donde se realiza la selección, para luego vender en grandes cantidades a empresas recicladoras. Sin embargo, la población de recolectores se incrementa cada vez más, en Bolivia existen unas 20.000 personas que se dedican a esta actividad de manera regular, trabajando en condiciones inadecuadas, pero

“que ha llevado consigo el surgimiento de una actividad que genera recursos económicos para la población de escasos recursos, al constituirse una alternativa de empleo informal ante los altos niveles de desempleo existentes”. (Swiss Contact, 2008)

Figura 2.20 Capacidad de reciclaje de sólidos en Bolivia (2010)



Fuente: Estudio de Mercado Reciclables en Bolivia, (2012)

2.9.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS

A nivel nacional existe ausencia de información acerca de la generación de residuos sólidos, particularmente en lo que refiere a estudios de caracterización. Solo un tercio de los municipios analizados cuenta con dichos estudios.

Se estima que en Bolivia se genera aproximadamente 4.782 ton/día, equivalente a 1.745.280 ton/año de residuos sólidos. La generación en el área urbana, representa el 87% que equivale 4.150 ton/día y 1.514.646 ton/año; mientras que la generación en el área rural, representa el 13%, equivalente a 632 ton/día y 230.634 ton/año. (Fundación PAP, 2012)

Actualmente el recojo, selección y reciclado de botellas de tereftalato de polietileno ha crecido en este último tiempo, convirtiéndose en una fuente laboral; esta actividad se la lleva a cabo en las ciudades de Santa Cruz, Cochabamba y La Paz, puesto que en estos lugares existe microempresas que se dedican al acopio de botellas PET en grandes volúmenes y otras que los procesan, obteniendo flakes sucios. La actividad de recoger botellas PET genera el sustento diario a las familias,

el kilo de éstas cuesta de 1.50 Bs como mínimo 2.50 Bs como máximo. (Andrade Caceres, Prado Zanini, & Moreno Velasco, 2014)

2.9.2. RECICLAJE EN EL ALTO

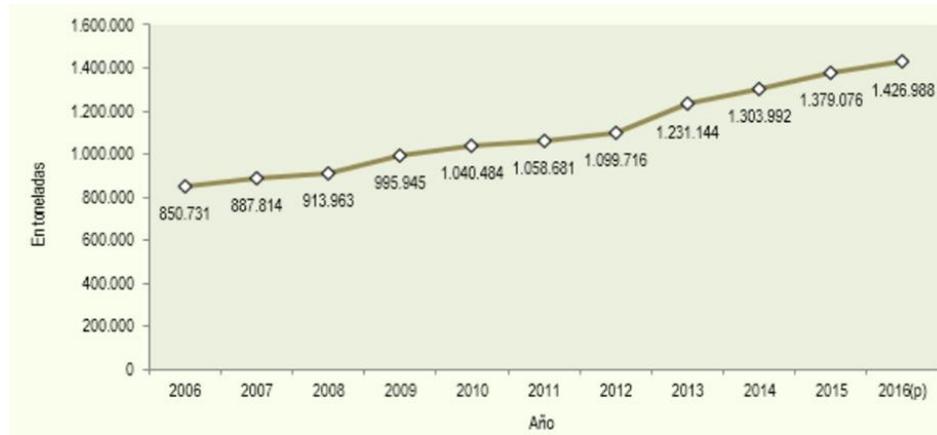
El reciclaje de botellas PET y vidrio, al margen de generar un beneficio económico para varias familias de la ciudad de El Alto, se ha convertido en una gran ayuda para disminuir los índices de contaminación y acumulación de basura. Esta actividad ha reducido notablemente la cantidad de basura generada en esta ciudad, ya que aproximadamente se colectan entre 135 mil kilos de botellas plásticas y vidrio, material que es procesado en industrias especiales.

El recojo, selección y reciclado de botellas PET ha crecido en este último tiempo. Son aproximadamente 4.000 familias y 20 mil personas las que se dedican a esta actividad sólo en la ciudad de La Paz. (Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2011)

La actividad de reciclaje ha crecido notablemente, y una prueba es que actualmente sólo en la ciudad de El Alto existen entre 40 y 50 empresas establecidas legalmente dedicadas al reciclaje de diversos materiales. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012).

En el Día Mundial del Medio Ambiente, el Instituto Nacional de Estadística dio a conocer que la recolección de residuos sólidos en las ciudades capitales de los nueve departamentos del país y El Alto llegó a 1.426.988 toneladas el 2016, registrando en una década el incremento de 576.257 toneladas, según datos obtenidos de los Registros Administrativos de las Empresas Municipales de Aseo.

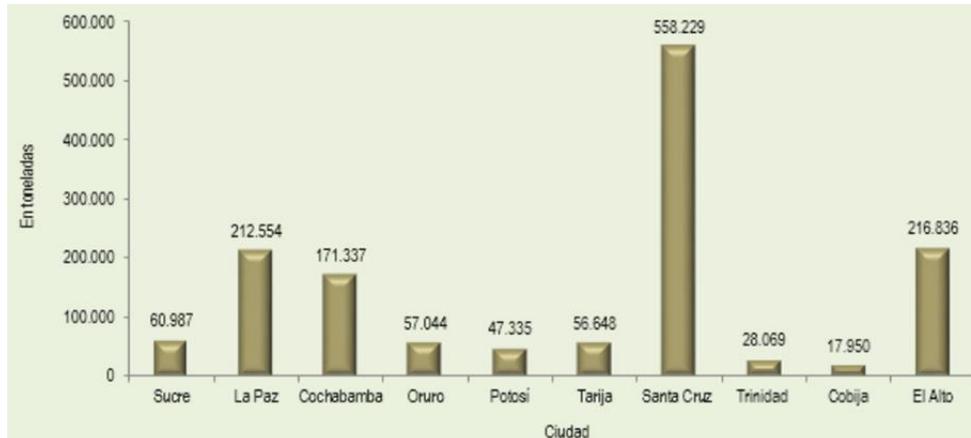
Figura 2.21 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales y el alto (2006-2016)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística – Empresas Municipales de Aseo, 2016

Se observa que en Santa Cruz de la Sierra la recolección de residuos sólidos alcanzó a 558.229 toneladas, en la ciudad de El Alto a 216.836 toneladas y en La Paz a 212.554 toneladas. (Instituto Nacional de Estadística, 2017)

Figura 2.22 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales y El Alto, 2016

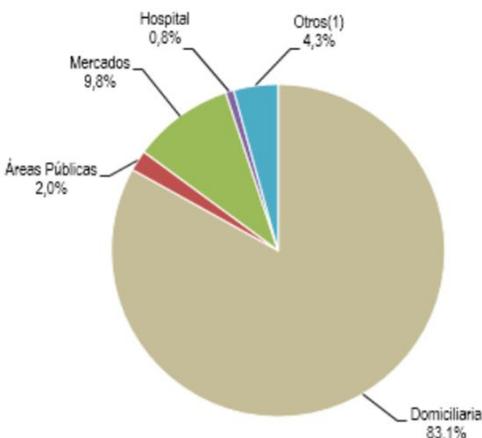


Fuente: Instituto Nacional de Estadística – Empresas Municipales de Aseo, 2016

La mayor cantidad de residuos sólidos proviene de los domicilios con 1.185.712 toneladas, seguido de los mercados con 139.799 toneladas, industria y mataderos con 61.312 toneladas, áreas públicas con 28.854 toneladas y hospitales con 11.311 toneladas.

La empresa de recojo de basura de El Alto, Trebol, recolecta aproximadamente 600 toneladas de basura por día. La cifra aumenta los lunes y viernes debido al recojo de desechos por la actividad comercial de la Feria 16 de Julio. (Instituto Nacional de Estadística, 2017)

Figura 2.23 Recolección de residuos sólidos en ciudades capitales 2016



Fuente: Instituto Nacional de Estadística – Empresas Municipales de Aseo, 2016

2.9.3. RECICLADORES DE PLÁSTICOS EN BOLIVIA

Empacar S.A. es la empresa más importante en tema de reciclaje de PET en el país. Su forma de procesar este material es recolectando las botellas en centros de acopio y por recolectores independientes en todo el país, quienes venden todo lo acumulado a las unidades receptoras de Empacar. La labor de los acopiadores es parte de los trabajos indirectos que genera el reciclaje.

Una vez recibida la materia prima, Empacar selecciona las botellas de acuerdo a su color para que el proceso sea más rápido. Una vez separadas en azul, verde o cristal, arman paquetes que se comprimen y son enviados a una planta en Santa Cruz. (Chuquimia, 2019)

EMPACAR S.A. empresa boliviana de reciclaje con la cual se tiene un convenio con el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica, realizó en agosto una charla virtual denominada “Genera recursos reciclando”, el cual estuvo dirigido a mujeres que quisieran emprender en el negocio del reciclaje como apoyo

a su economía, o como opción para quien quiera generar ingresos por reciclar y a la vez colaborar al cuidado del medio ambiente.

2.9.3.1. NEGOCIO DEL RECICLAJE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN BOLIVIA – EMPACAR S.A.

En Agosto del presente año se realizó una charla virtual organizada por el Comité Cívico Femenino de Santa Cruz en la plataforma Zoom, la cual a la vez fue retransmitido por Facebook live, en la cual se tocó el reciclaje y como poder emprender un negocio de acopio de materiales reciclables, esto con la cooperación de la empresa EMPACAR S.A.

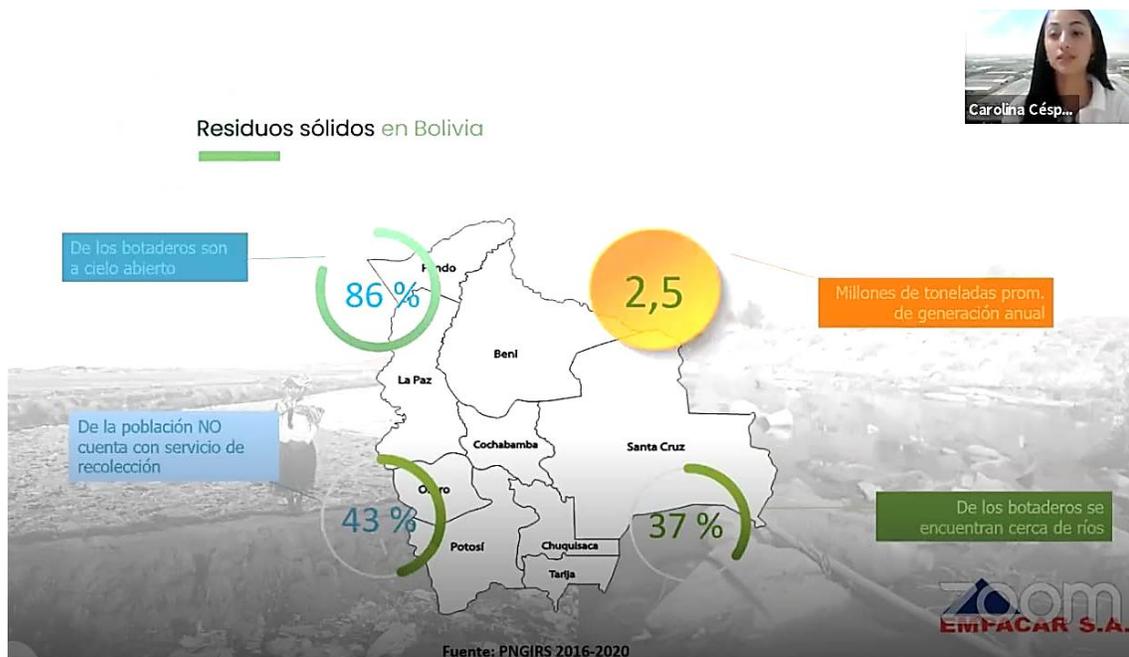
Figura 2.24 Presentación sobre las Unidades de negocio que lleva EMPACAR S.A.



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

Durante la presentación vía ZOOM, la representante de la empresa EMPACAR S.A. explico la situación de los residuos sólidos en Bolivia, en la cual menciona los defectos que se tiene en respecto a los residuos y la no practica del reciclaje. En el grafico se observa los siguientes datos:

Figura 2.25 Situación de residuos sólidos en Bolivia



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

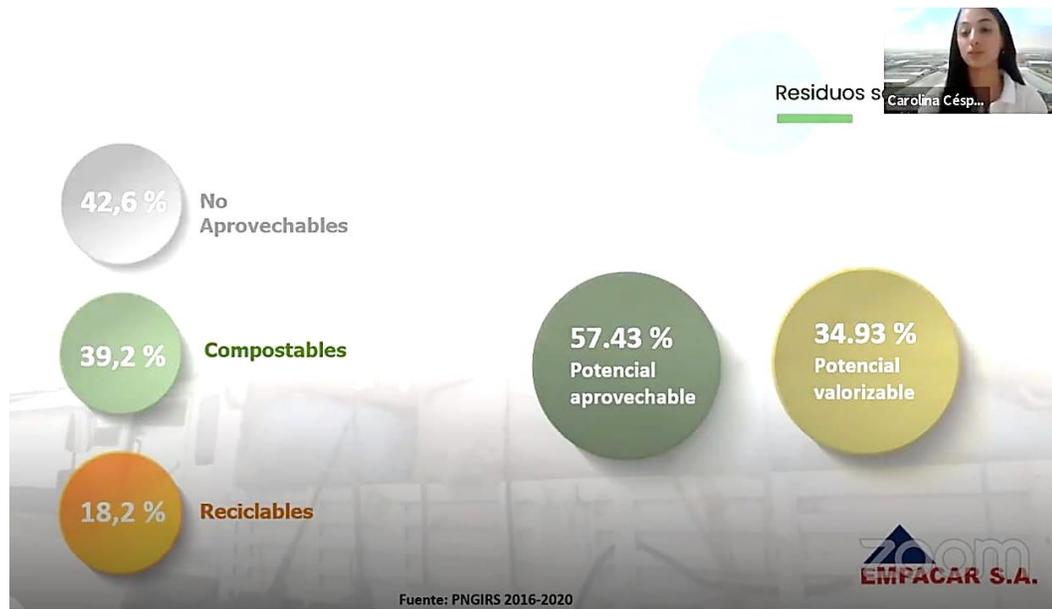
- Existe un 86% de botaderos a cielo abierto a nivel nacional y que el 37% de estos botaderos se encuentran cerca de los ríos
- El 43% de la población no cuenta con servicio de recolección y anualmente se generan 2,5 M de toneladas promedio de residuos.

De todo el residuo sólido que llega a los diferentes botaderos, un porcentaje es reciclable y otro no, la representante de EMPACAR S.A. lo explica de la siguiente manera, indicando que:

- 42,6 % NO APROVECHABLES. No se puede dar ningún tratamiento.
- 39,2 % COMPOSTABLE.
- 18,2 % ES RECICLABLE.

Y entre el porcentaje que es reciclable, existe una subdivisión de dos: 57,43 % aprovechable y 34,93 % valorizable.

Figura 2.26 Residuos no aprovechables, compostables y reciclables

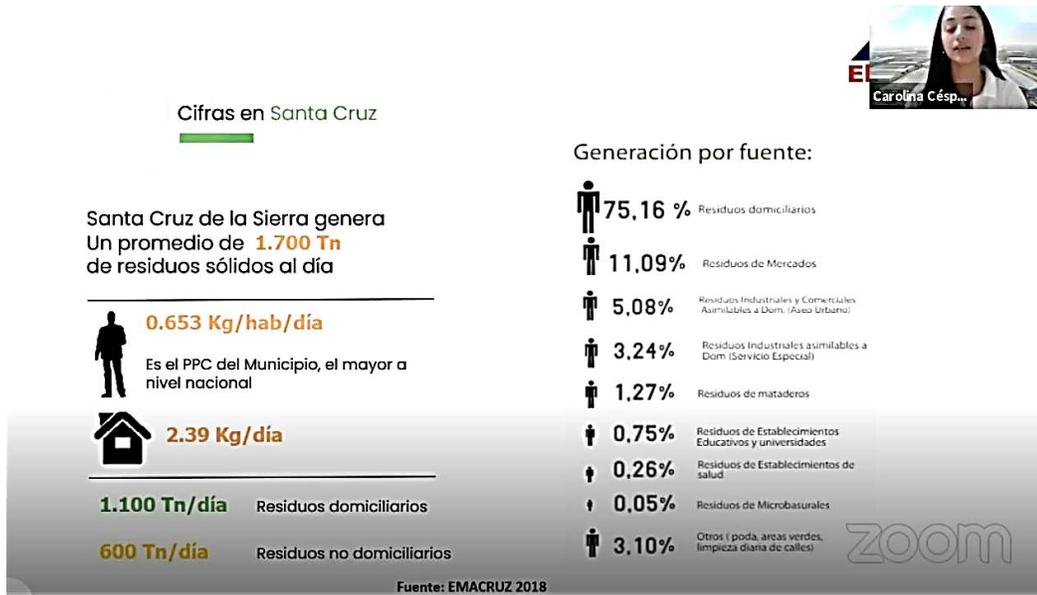


Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

Además durante la charla de parte de la representante de EMPACAR S.A. se mencionó de manera más específica la cantidad y los porcentajes de residuos sólidos que generan los habitantes y los domicilios en Santa Cruz, ya que es en este departamento donde se encuentra la planta principal de reciclaje de EMPACAR S.A. Además que de acuerdo a las estadísticas, Santa Cruz es la ciudad que genera mayor cantidad de residuos en el país.

Entre los residuos mencionados se tiene los residuos domiciliarios, residuos de mercado, residuos industriales y comerciales, residuos de mataderos, residuos de establecimientos educativos y universitarios, establecimientos de salud, residuos de microbasurales, y otros como áreas verdes limpieza diaria de calles y avenidas.

Figura 2.27 Cifras de residuos en el departamento de Santa Cruz



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

Los pasos para reciclar, explica la representante de EMPACAR, son una vez que la basura se recoja, debe ser separada en dos, los residuos orgánicos biodegradables que son los restos de frutas y cáscaras, y también los residuos inorgánicos que pueden ser reciclables.

Figura 2.28 Pasos para reciclar – Separador de residuos



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

Posteriormente la representante de la empresa EMPACAR S.A. indica el precio que se paga en los diferentes puntos de acopio a los recolectores que llevan ahí los residuos post consumo de tereftalato de polietileno, además de indicar que tipo de envases si puede reciclar, las cuales son las botellas translucidas cristalinas y de colores, y para identificarlos fácilmente estas botellas llevan el número 1 que significa PET.

La empresa EMPACAR S.A. compra el PET puesto en planta a Bs.2 por Kg y si la empresa va a recoger a los puntos de acopio pagan Bs. 1,5 por Kg.

Figura 2.29 Precio por Kilo al cual compra los envases PET EMPACAR S.A.



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

EMPACAR S.A. también recicla Polietileno de baja densidad o el PEBD – LDPE que es el Nylon/hule y no debe estar marcado o sellado, y tiene como característica la flexibilidad. El precio de venta puesto en planta o directamente en los puntos de acopio de EMPACAR S.A. es de Bs. 2,5/Kg y recogido en los puntos de acopio es Bs 2,3/kg.

También EMPACAR S.A. recicla plásticos de Alta densidad o PEAD – HDPE, estos son los envases de shampoo, detergentes, etc. La venta de este Plástico en planta es Bs. 2,4/kg y recogido en los puntos de acopio es Bs. 2/kg.

La representante de EMPACAR S.A. indica que para poner un punto de acopio y poder juntar una gran cantidad de PET, es necesario un bolsón de 1,20 m de largo y un diámetro de 0,9 m. una balanza.

Figura 2.30 Herramientas para acopiar PET



Fuente: Extraído de <https://www.facebook.com/CCFemeninoSCZ/videos/362285168832342/>

La representante de EMPACAR S.A. también menciona que sólo en Santa Cruz, el 80% de los recolectores son mujeres, y que la mayoría trabajan por las noches, y que los recolectores tienden a recolectar entre 200 y 300 kg/día. Y que por esta razón EMPACAR S.A. está implementando un seguro para todos los recolectores, esto para cubrir los gastos en caso de accidentes durante su labor de recolección, lo cual sería un gran avance para este sector que ha crecido mucho en los últimos años en todo el país y que ayudan y apoyan a la vez al desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

2.10. AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.

La Asamblea General de la ONU adoptó en el 2015, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. (Centro de noticias de la ONU, 2015)

Los Estados miembros de la Naciones Unidas aprobaron una resolución en la que reconocen que el mayor desafío del mundo actual es la erradicación de la pobreza y afirman que sin lograrla no puede haber desarrollo sostenible.

Figura 2.31 Objetivos de Desarrollo Sostenible – Agenda2030



Fuente: Extraído de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

La nueva estrategia regirá los programas de desarrollo mundiales hasta el 2030. Al adoptarla, los Estados se comprometieron, entre ellos Bolivia, a movilizar los medios necesarios para su implementación mediante alianzas centradas especialmente en las necesidades de los más pobres y vulnerables. (Centro de noticias de la ONU, 2015)

Los 17 Objetivos de la Agenda se elaboraron en más de dos años de consultas públicas, interacción con la sociedad civil y negociaciones entre los países miembros.

La Agenda implica un compromiso común y universal, no obstante, puesto que cada país enfrenta retos específicos en su búsqueda del desarrollo sostenible, los

Estados tienen soberanía plena sobre su riqueza, recursos y actividad económica, y cada uno fijará sus propias metas nacionales, apegándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dispone el texto aprobado por la Asamblea General. (Centro de noticias de la ONU, 2015)

El presente proyecto de investigación se apoya en tres de los objetivos de la Agenda 2030 de la Naciones Unidas, los cuales son:

- **Objetivo 8:** Trabajo decente y crecimiento económico
- **Objetivo 11:** Ciudades y comunidades sostenibles
- **Objetivo 12:** Producción y consumo responsables

Figura 2.32 Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible – Agenda2030 relacionados al proyecto



Fuente: Elaboración Propia en función a los ODS, 2021

2.11. NORMATIVA VIGENTE RELACIONADA AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS)

A continuación se hace una recopilación de las secciones de las normativas, leyes, decretos supremos que hacen alusión a la gestión de residuos sólidos en el país, dicha normativa fue obtenida de la Gaceta Oficial de Bolivia.

- **CONSTITUCION POLITICA DEL ESTADO (CPE), 7 de febrero de 2009**

La constitución política del estado en su artículo 302 señala que, el manejo de los residuos sólidos son competencias exclusivas de los **gobiernos municipales autónomos** en su jurisdicción.

- **LEY DE MEDIO AMBIENTE (LEY N° 1333), 27 de abril de 1992**

En su artículo 83 señala que las universidades autónomas y privadas deben orientar sus programas de estudio y de formación técnica y profesional en la perspectiva de contribuir al logro del desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente.

- **LEY MARCO DE LA MADRE TIERRA Y DESARROLLO INTEGRAL PARA VIVIR BIEN (Ley N° 300), 15 de octubre de 2012**

En el Artículo 31 de gestión de residuos sienta las bases y orientaciones del Vivir Bien, a través del desarrollo integral en gestión de residuos son:

- Promoviendo la transformación de los patrones de producción y hábitos de consumo en el país y la recuperación y reutilización de los materiales y energías contenidos en los residuos, bajo un enfoque de gestión cíclica de los mismos.
- Desarrollando mecanismos institucionales, técnicos y legales de prevención, disminución y reducción de la generación de los residuos, su utilización, reciclaje tratamiento, disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco del Artículo 299 párrafo II numerales 8 y 9 de la Constitución Política del Estado.
- Garantizando el manejo y tratamiento de residuos de acuerdo a Ley específica.
- Desarrollando acciones educativas sobre la gestión de residuos en sus diferentes actividades para la concienciación de la población boliviana.

- **DECRETO SUPREMO 2954, 19 DE OCTUBRE DE 2016. APRUEBA EL REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY N° 755, DE 28 DE OCTUBRE DE 2015, DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS**

En su artículo 4 indica que el generador de residuos debe almacenar y clasificar los residuos en la fuente de generación o en lugares autorizados por los Gobiernos Autónomos Municipales según corresponda. Y en su artículo 5 señala que la población en todas sus formas de organización, debe participar en las actividades de comunicación, educación y sensibilización que fomenten al desarrollo en la prevención de la generación de los residuos en cantidad y peligrosidad, la reutilización, su reciclaje o en los aspectos que vinculen a la gestión operativa de los residuos.

En su artículo 42 indica que las entidades territoriales autónomas en el marco de sus competencias y responsabilidades, deberán incorporar en la gestión de residuos, contenedores de residuos que prioritariamente deben estar construidos con material reciclado adecuado para el uso al que están destinados, y en su artículo 46 señala que el Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua y otras instancias competentes, deberán desarrollar la reglamentación para la adecuación progresiva y la normativa técnica que corresponda para el aprovechamiento de envases de plástico post consumo, en el marco de la Ley N° 755.

Además menciona de manera clara que los envasadores para la comercialización de sus productos deberán utilizar envases que contengan material reciclado post consumo en el marco del Parágrafo precedente.

- **LEY DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS (LEY N° 755), de 28 de octubre de 2015**

En su artículo 8, menciona que en la aplicación de la Gestión Integral de Residuos, el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, deben orientar sus acciones, en orden de importancia, a:

- Prevenir para reducir la generación de residuos.
- Maximizar el aprovechamiento de los residuos.
- Minimizar la disposición final de los residuos, restringiendo en lo posible sólo para aquellos residuos no aprovechables.

En su artículo 15 señala que todo generador de residuos deberá coadyuvar en la implementación de los programas de aprovechamiento de residuos, cumpliendo todas las disposiciones relativas al acondicionamiento, separación, almacenamiento, entrega y recolección de residuos.

- **DECRETO SUPREMO Nº 2887, 31 DE AGOSTO DE 2016**

En su artículo primero señala que las empresas que producen botellas PET, deben obligatoriamente incluir en la cadena productiva material PET-PCR grado alimentario en al menos treinta por ciento (30%), cumpliendo los procedimientos establecidos en la normativa vigente. Además los envasadores para la comercialización de sus productos, deberán utilizar botellas PET-PCR grado alimentario.

En vista de parte de la normativa vigente expuesta anteriormente, en el país hay suficiente normativa aplicable, lo que falta es el compromiso de las autoridades para su cumplimiento. Queda claro que las competencias están definidas, pero cada municipio, incluido el municipio de El Alto, necesita cumplir con las leyes nacionales y hacerse cargo de la responsabilidad que tiene sobre la gestión de residuos sólidos como corresponde.

CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se presenta el tipo de metodología y el de investigación que sustenta este trabajo de investigación, donde se explicara sus fases, en las cuales se desarrollaran las actividades y/o acciones que se desean llevar a cabo, iniciando con el diagnostico, siguiendo con el desarrollo y culminando con el cierre.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno que se plantea en el presente trabajo de investigación se enmarca en la metodología cualitativa y cuantitativa, la cual se refiere a que la investigación produce datos descriptivos o cualitativos y cuantitativos, como por ejemplo: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, la conducta observable y estadísticas numéricas relacionadas al reciclaje de residuos post consumo de PET. En este también se desarrollan conceptos, teorías, hipótesis y preguntas, a través del diseño de una investigación holística, en donde el equipo de investigación considera al ambiente de investigación, las personas o grupos como un todo, tratando de comprenderlas en el contexto natural en el que se encuentran y así analizar las perspectivas del grupo estudiado.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la investigación se realizan las siguientes acciones, distribuidas en fases para el desarrollo y cumplimiento óptimo de los objetivos de la investigación:

1. Realizar una investigación documental y de campo acerca del envase de plástico PET, desde su origen, propiedades, usos, evolución, destino como residuo y procesos de recuperación y reciclaje dentro del contexto actual.
2. Estudiar la percepción de los habitantes y/o personas que desarrollen actividades económicas o académicas en la zona de Villa Ingenio, sobre el reciclaje de PET en sus respectivos contextos familiares o de trabajo.

3. Analizar la gestión de residuos sólidos urbanos y el negocio que envuelve los envases PET post consumo en la zona de Villa Ingenio para recolectores y acopiadores.
4. Realizar un estudio de campo en Villa Ingenio, para diseñar un sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona, utilizando un software de información geográfica.
5. Evaluar el reciclaje químico del PET en el caso de los envases PET de color que son difíciles de reciclar mecánicamente.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

En este trabajo de investigación se utilizan las siguientes técnicas:

- Observación participante
- Encuesta o estudio de la percepción de la comunidad
- Entrevista semi-estructurada
- Práctica experimental en laboratorio

La observación Participante: Esta técnica facilita al investigador integrarse al grupo de estudio, y percibirse como un miembro más. En este sentido, se le facilita la observación de las interacciones de los habitantes y personas que desarrollan sus actividades en la zona, los valores y normas del grupo en un contexto real y natural. Con esta técnica se apoya a la fase diagnóstica de la investigación recolectando información importante para el presente proyecto.

La encuesta: Esta es una técnica de valoración que consiste en conocer la tendencia u opiniones de un grupo de personas sobre alguna temática especial, en este caso la cultura del reciclaje en la zona de Villa Ingenio. Esta técnica se lleva a cabo en la fase de desarrollo de la investigación, tomando una muestra de habitantes o personas que realizan sus actividades económicas y académicas en la zona Villa Ingenio, explorando sus conocimientos sobre el reciclaje de residuos post consumo de PET para llevar con mayor objetividad el proyecto de investigación.

La entrevista semi-estructurada: Esta técnica se utiliza para poder establecer una conversación con las personas consideradas informantes, en este caso recolectores o acopiadores de residuos post consumo de PET, así como encargados de puntos de recolección ya existentes en la zona Villa Ingenio. En estas entrevistas semi estructuradas se realizan preguntas previamente establecidas pero abiertas a variaciones, todo con el propósito de que estas proporcionen datos que sean de interés para el equipo de investigación. Esta técnica se utiliza en la fase de desarrollo de la investigación de manera que se pueda explorar el negocio del reciclaje de PET en la zona de Villa Ingenio aportando datos relevantes para la ejecución del proyecto de investigación.

La práctica experimental en laboratorio: Es una técnica que consiste en realizar pruebas experimentales sobre el reciclaje químico del PET, evaluando este método como opción para aquel PET post consumo generado en la zona de Villa Ingenio que no se puede reciclar mecánicamente. Esta técnica se utiliza en la fase de desarrollo de la investigación de manera que se pueda explorar otra de las formas de reciclaje de PET, que actualmente está en constante investigación a nivel mundial, ya que muestra ser más eficiente que el reciclaje mecánico, aportando de esta forma datos relevantes para el proyecto de investigación.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN Y MUESTRA

Según el último censo boliviano de 2012, el Distrito 5 tiene una población de 104226 habitantes, lo que le convierte en el cuarto distrito más poblado de la ciudad de El Alto después del Distrito 3, 8 y 4. Porcentualmente, de todos los habitantes de El Alto, alrededor de un 12,62 % viven en el Distrito 5. (Chipana, 2017)

Dentro del distrito 5, se encuentran las siguientes urbanizaciones que llevan en sus nombres la palabra “Ingenio”:

- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 1
- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 2
- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 3

- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 4
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 1
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 2
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 3
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 4

En un inicio esto provocó cierta confusión en el equipo investigador, ya que la denominación como “zona de Villa Ingenio” no figura en los mapas de la ciudad de El Alto consultados. Todas estas urbanizaciones estarían dentro de lo que se conoce como zona Villa Ingenio, resaltando entre ellas 3 urbanizaciones en las cuales se da el mayor movimiento económico.

Tabla 3.1 Distribución de la población económicamente activa en las urbanizaciones que forman parte de la Zona Villa Ingenio.

Urbanización / Zona	PEA
URB. EL INGENIO DISTRITO 2 UNIDAD 1	4.371
URB. INGENIO UNIDAD VECINAL 1	3.645
URB. INGENIO UNIDAD VECINAL 2	2.433
TOTAL	10.449

Fuente: Elaboración propia en base a la Distribución de la población económicamente activa por Distritos Municipales y Urbanizaciones, 2018

De las otras urbanizaciones no se tiene la información debidamente documentada, es por ello que para el cálculo de muestra para la realización de encuestas, se tomará en cuenta al universo de 10449 habitantes de la zona Villa Ingenio.

Para el cálculo de tamaño de muestra para la entrevista a realizar, se tomara en cuenta el dato anterior relacionado a la población económicamente activa, siendo entonces un universo finito, es decir contable y la variable de tipo categórica.

De la siguiente ecuación, primero se debe conocer "N" que hace referencia al número total de encuestados.

Si la población es finita, es decir conocemos el total de la población y deseásemos saber cuántos del total tendremos que estudiar, en este caso encuestar, la fórmula sería:

Ecuación 3.1 Cálculo de muestra finita

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

- N = Total de la población potencial a encuesta
- Z_{α} = 1.96 al cuadrado (en este caso la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 50% = 0.5, debido a que se desconoce la probabilidad de que ocurra el evento)
- q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5)
- d = precisión (en esta investigación se utiliza 5%).

Aplicando la ecuación 3.1.

$$n = \frac{10449 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (10449 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 371 \text{ personas}$$

Del cálculo realizado, se concluye que la muestra de la encuesta para que tenga una nivel de seguridad del 95% y un margen de error del 5%, se deben encuestar a al menos a 371 personas que vivan o ejerzan sus actividades en la zona Villa Ingenio.

3.5. AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN

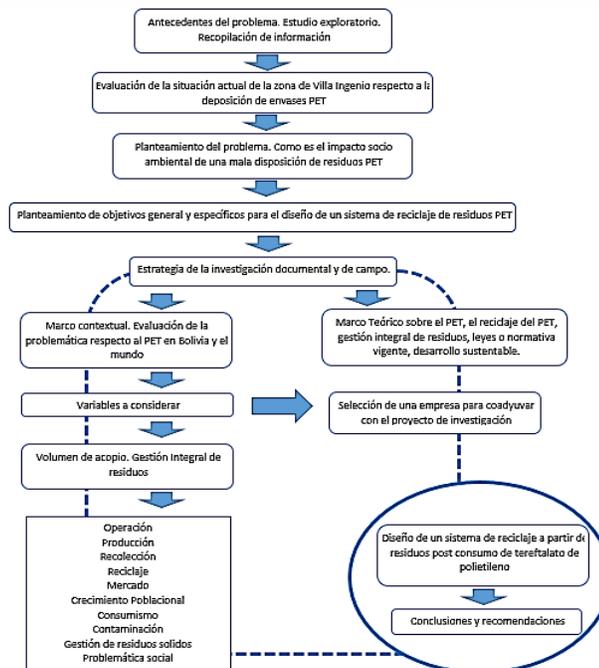
La investigación se realiza principalmente sobre el terreno, ya que es de vital importancia conocer, mediante encuestas, visitas a la zona, etc, y así explorar las urbanizaciones que conforman la zona de Villa Ingenio para poder diseñar un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno adecuado para la zona.

La naturaleza del problema que se está investigando requiere realizar la investigación sobre el terreno, sin embargo en ambientes de laboratorio se realiza el análisis del reciclaje químico del PET, considerando que no todos los envases PET se pueden reciclar por reciclaje mecánico, el cual es el procedimiento más común en nuestro medio en las empresas de reciclaje. El estudio del reciclaje químico del PET, evalúa la opción para aquel PET post consumo generado en la zona de Villa Ingenio que no se puede reciclar mecánicamente, siendo uno mas de los aportes importantes de la presente investigación.

Diversos problemas pueden encontrar la solución tanto en terreno como en laboratorio, de modo que el trabajo realizado en un ambiente terminaría complementando y corroborando el que se realiza en el otro, y es éste ambiente combinado el escogido para el proyecto de investigación de sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 3.1 Esquema metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia, 2021

CAPITULO 4. RESULTADOS

Para el diseño del sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, primero se debe delimitar geográficamente la zona sometida a estudio. Sin embargo, poder encontrar una delimitación confiable de lo que es conocido mayormente por la población como la “zona de Villa Ingenio”, no fue una tarea fácil, ya que la denominación como “zona de Villa Ingenio” no figura en los mapas de la ciudad de El Alto consultados.

Figura 4.1 Mapa Distrito 5 de la ciudad de El Alto



Fuente: Extraído de <https://a4000.blogspot.com/2016/06/distrito-5-de-la-ciudad-de-el-alto.html>

La zona Villa Ingenio se encuentra dentro del distrito 5 de la urbe alteña, sin embargo en este distrito se encuentran 59 urbanizaciones y ninguna de ellas recibe el nombre específico de “Villa Ingenio”, sólo se observa que 8 llevan en su nombre la denominación de “Ingenio”, las cuales se listan a continuación:

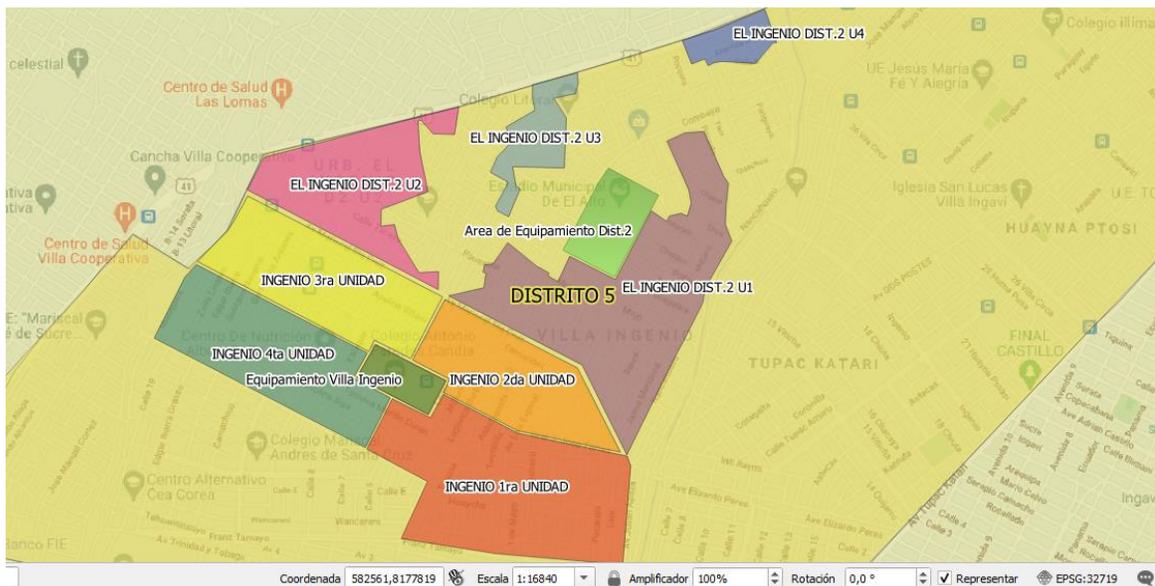
- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 1
- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 2

- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 3
- El Ingenio Distrito 1 Unidad Vecinal 4
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 1
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 2
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 3
- El Ingenio Distrito 2 Unidad 4

En un inicio esto provocó cierta confusión en el equipo de investigación, e incluso los mismos habitantes de la zona no podían esclarecer esta cuestión. Es por ello que el equipo de investigación decidió tomar a aquellas urbanizaciones con la denominación de “Ingenio” como el equivalente a lo que se conoce como zona Villa Ingenio.

A continuación se observa una capa elaborada en el software Q-GIS en función a información recopilada sobre las urbanizaciones denominadas “Ingenio” del Distrito 5 de la ciudad de El Alto.

Figura 4.2 Urbanizaciones que tienen en sus nombres la denominación de “Ingenio” dentro del Distrito 5 de la ciudad de El Alto.

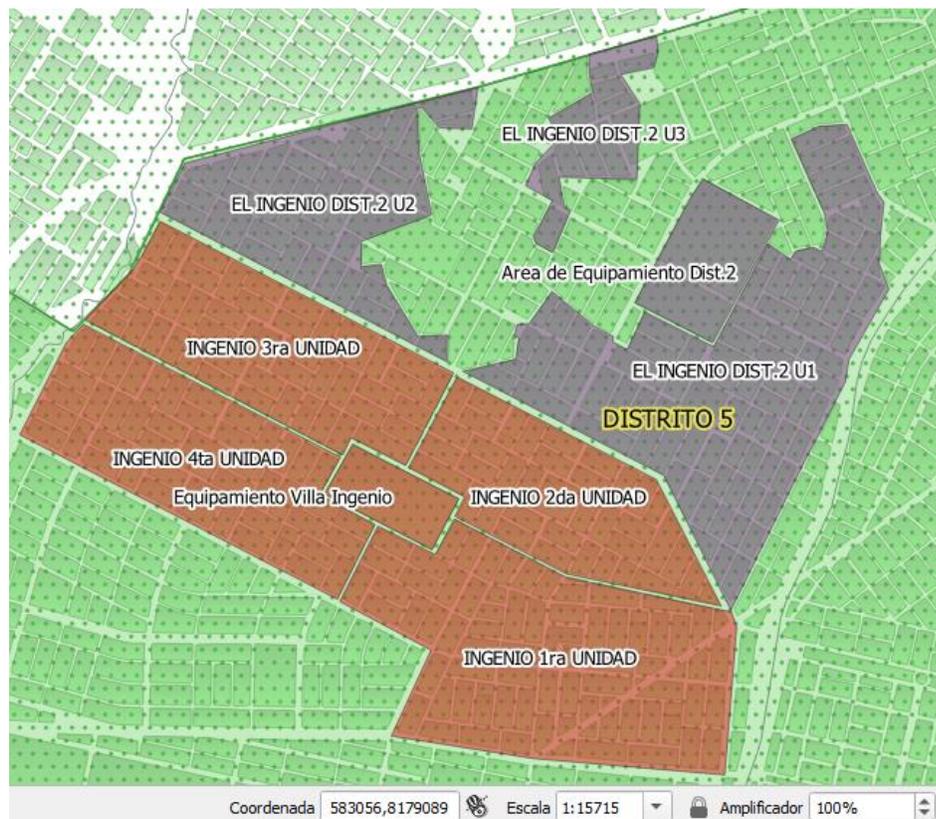


Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada, 2021

Claramente de la Figura anterior se puede identificar que una de las Urbanizaciones denominada “El Ingenio Dist.2 U4” se encuentra considerablemente separada de las demás urbanizaciones denominadas “Ingenio” y además sería una mejor alternativa que esta urbanización forme parte de otro sistema de reciclaje junto a las urbanizaciones aledañas a la misma por temas de practicidad en lo que sería la recolección y transporte de los residuos post consumo de PET.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, lo que se considerará como Zona Villa Ingenio en el presente trabajo de investigación será el área representada en la siguiente figura.

Figura 4.3 Límites de la zona Villa Ingenio para el proyecto de investigación



Fuente: Elaboración propia en Q-GIS en base a información recopilada, 2021

Ya habiendo delimitado el área de estudio que se tomará en cuenta en el presente trabajo de investigación, se procede a realizar los estudios y/o actividades para el cumplimiento de los objetivos inicialmente planteados.

4.1. RECICLAJE DE PET EN LA ZONA VILLA INGENIO

Para conocer sobre cómo se da el reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, se han planificado y ejecutado diferentes actividades, las cuales serán desarrolladas a continuación.

4.1.1. ENCUESTA VIRTUAL SOBRE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

En el mes de Mayo se empezó a difundir una encuesta virtual elaborada en Google Forms con el principal objetivo de obtener información primaria acerca de cómo los habitantes y/o personas que tienen actividades económicas o académicas en la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto, perciben el reciclaje de tereftalato de polietileno (PET), y los rasgos que demarcan las características generales y específicas, en lo que respecta a aspectos vinculados a la presente investigación.

4.1.1.1. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Para el análisis de la encuesta se ha aplicado procesamiento estadístico elemental, calculando frecuencias de respuesta y porcentajes que representan estas.

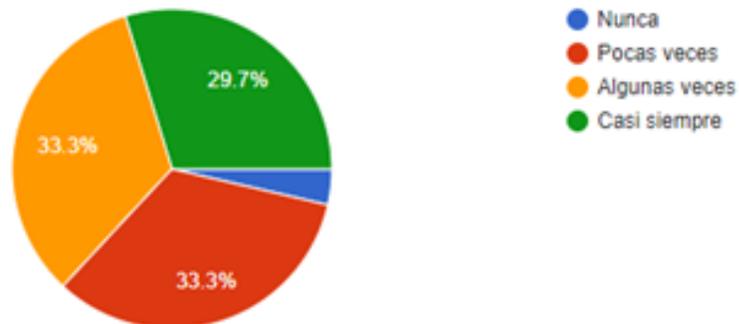
Se entiende que la intención de la encuesta tiene un carácter exploratorio de aquellos fenómenos resaltantes para esta investigación, se presentan los datos agrupados en las categorías de análisis fundamentales de cada instrumento y se presenta un breve análisis de las ideas más relevantes. Más que emitir juicios de valor sobre el resultado de estos cuestionarios, se quiere presentar la realidad que se manifiesta en la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto en relación al tema del reciclaje de tereftalato de polietileno (PET).

La población muestra a tener en consideración para la encuesta virtual, de acuerdo a lo calculado en el capítulo anterior es de 371 personas, con un nivel de seguridad del 95% y un margen de error del 5%. Para respetar la muestra calculada, es que se obtuvieron las respuestas de 388 encuestados.

Pregunta 3 – FRECUENCIA DE USO DE PET

En la pregunta sobre cuál es la frecuencia en que se usan los plásticos, el 33,3% indican que algunas veces, también el mismo porcentaje indican que pocas veces han usado plástico PET, el 29,7 % que si usan el plástico PET un 3,7% no usa plásticos PET.

Figura 4.6 Gráfico de frecuencia de uso de plásticos PET

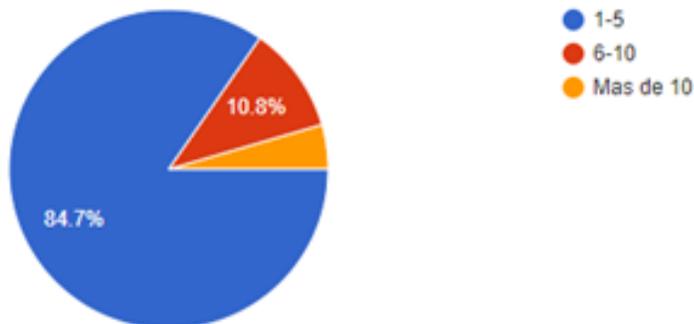


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 4 – CANTIDAD DE BOTELLAS PET QUE DESECHA A LA SEMANA

La pregunta sobre cuantas botellas PET desecha en la semana se mostró que un porcentaje del 84,7% las personas desechan entre 1 a 5 botellas PET, el 10,8% desechas entre 6 a 10 botellas PET y el resto del porcentaje que es 4,5% llegan a desechas más de 10 botellas PET a la semana.

Figura 4.7 Gráfico cuantas botellas PET desecha a la semana



Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 5 - QUE HACE CON LAS BOTELLAS PET POST CONSUMO

Esta pregunta es la continuación de la pregunta anterior, sobre que hacen cuando tienen que desechar las botellas PET, casi el 60% de los encuestados indican que reutilizan las botellas en otros productos, el 28% indica que desecha las botellas con la demás basura, el 12% quema las botellas y el resto utiliza envases retornables.

Figura 4.8 Grafico que hace con sus botellas plásticas PET luego de usarlas

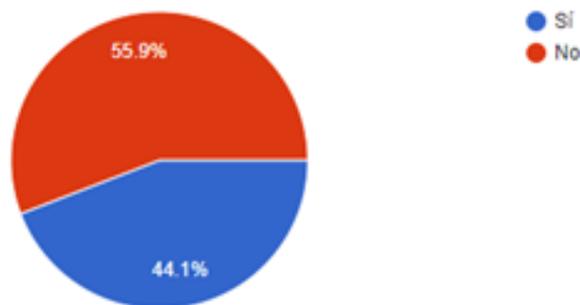


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 6 – EXISTE CONCIENCIA SOBRE EL RECICLAJE EN SU ENTORNO

Esta pregunta se refiere a si en la zona donde viven los encuestados existe la conciencia sobre el reciclaje, punto de recolección de reciclaje, campañas, etc. El 60% indica que no hay cultura del reciclaje en su entorno y el 44% que si existe en su entorno conciencia sobre el reciclaje.

Figura 4.9 Gráfico sobre conciencia sobre el reciclaje

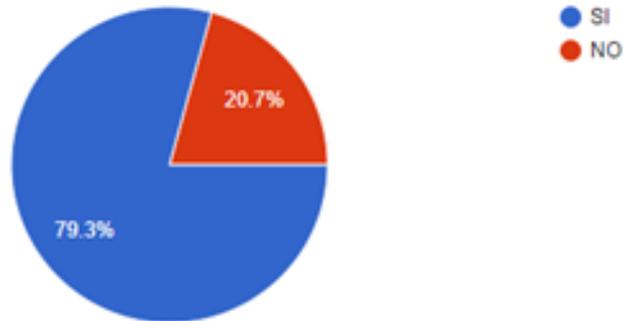


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 7 – ALGUNA VEZ A RECICLADO PET

En la figura podemos observar que el 79.3% indica que han practicado el reciclaje alguna vez en su hogar y el 20.7% no ha realizado o no está acostumbrado a realizar esta práctica.

Figura 4.10 Grafico sobre el reciclaje de PET en los hogares

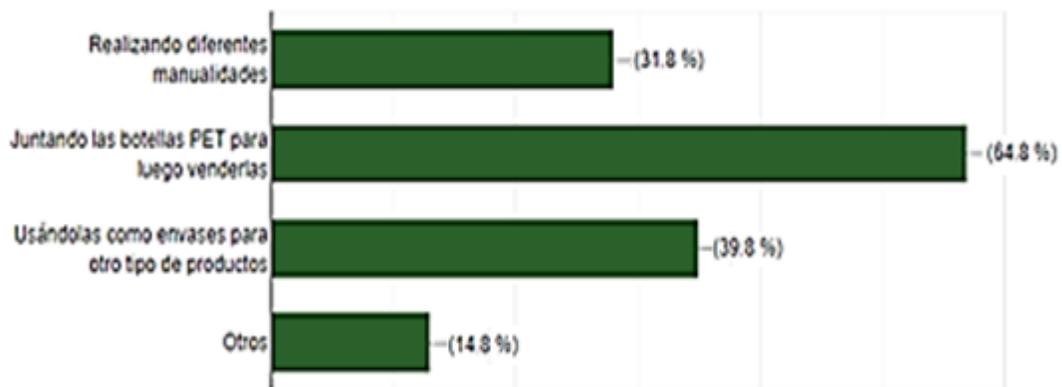


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 8 – SI RECICLA, CÓMO LO HACE

Esta pregunta es para saber cómo las personas reciclan las botellas PET, 64% indica que las botellas que desechan son juntadas para luego venderlas, el 40% usa los envases en nuevos productos, el 32% reutiliza las botellas PET haciendo manualidades.

Figura 4.11 Gráfico como recicla las botellas PET luego de usarlas

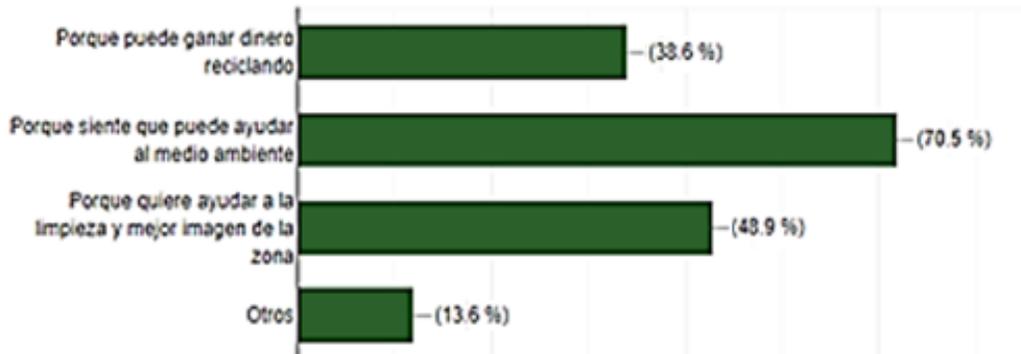


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 9 – QUÉ LE MOTIVA A RECICLAR

Esta pregunta se realizó para conocer cuáles son los motivos por los que las personas se practican el reciclaje. Más del 70% indican que ayudan de alguna forma al medio ambiente, el 49% porque quieren ayudar a la limpieza de sus zonas, el 39% indican que reciclando pueden generar ingresos económicos.

Figura 4.12 Gráfico motivación para reciclar botellas PET

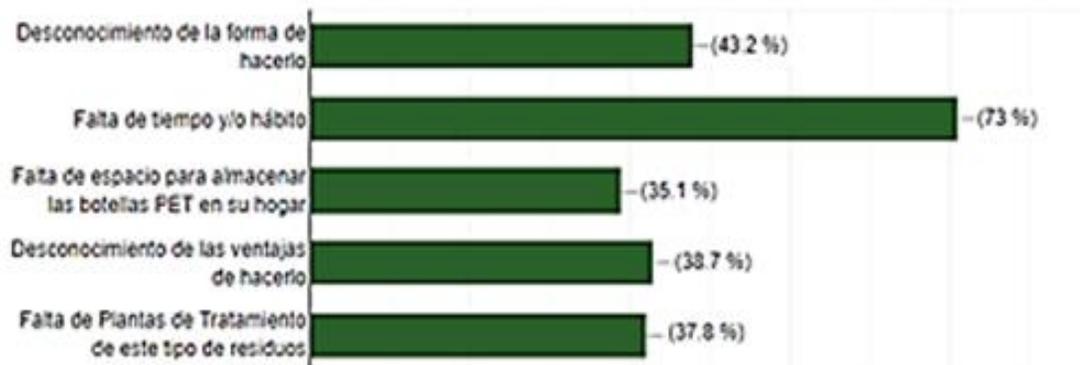


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 10 – QUE CREE QUE DIFICULTA A OTROS RECICLAR

El 73% indica que es por falta de tiempo o de hábitos, el 43% desconocen la forma de como reciclar, el 38% no conoce las ventajas de realizar el reciclaje, el 35% indica que por falta de espacio no pueden almacenar las botellas PET y el 37% porque hay falta de plantas de tratamiento para estos tipos de residuos.

Figura 4.13 Gráfico por que reciclar PET es tan difícil

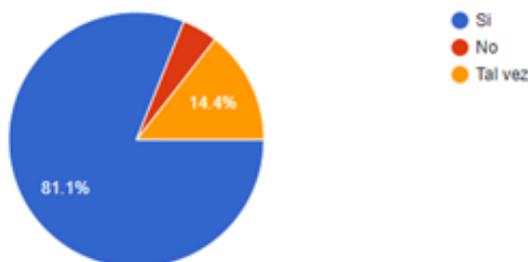


Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 11 – SI TUVIERA UN PUNTO DE RECICLAJE CERCA, RECICLARÍA

Esta pregunta es para poder conocer si las personas se verían motivadas al contar con puntos de reciclaje de PET cercanas a sus casas. El 81% de las personas piensan que si existiera un punto de reciclaje cercano a donde viven no habría problemas para no realizarlo, el 14% indica que tal vez y el resto que no.

Figura 4.14 Grafico punto de recolección cerca de su casa como motivación para reciclar



Fuente: Encuesta Virtual Reciclaje de Botellas PET en la zona de Villa Ingenio, 2021

Pregunta 12 – SI TENER UN PUNTO CERCANO DE RECICLAJE NO LO MOTIVARIA, ENTONCES QUE LO HARÍA

Esta es una pregunta se la planteo para que la contesten todos aquellos que contestaron con un “tal vez” o un “no” la pregunta anterior. Se obtuvieron 41 respuestas que fueron escritas por los encuestados, que indican que lo que los motivaría a reciclar las botellas PET seria el hecho de cuidar el medio ambiente y que para esto seria bueno la implemetacion de contenedores en diferentes ubicaciones de la zona de Villa Ingenio, ademas de percibir ganancias por la recoleccion de botellas.

4.1.1.3. CONCLUSIONES DE LA ENCUESTA VIRTUAL

Luego de recopilar las distintas respuestas para cada pregunta de la encuesta virtual, se puede concluir que los ciudadanos que habitan o ejercen actividades económicas o academias en la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto, en forma general, les gustaría ser partícipes de actividades que cuiden el medio ambiente, en este caso en ser parte de un sistema de reciclaje, pero a la vez la

mayoría de los encuestados aceptan que la cultura del reciclaje no es un hábito que forma parte de sus vidas ni de su entorno. Lo que puede motivarlos aún más a reciclar, sería poder contar con puntos de recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno cerca a su hogar, y que en estos puntos se les compre lo que reciclan. De esta manera se combinaría dos aspectos favorables para motivar a los ciudadanos, ganar dinero reciclando y a la vez tener un punto de acopio cerca a sus hogares, reduciría el tiempo invertido en esta actividad y con ello habría más posibilidad de que el reciclaje de PET se vuelva un hábito en las familias de la zona.

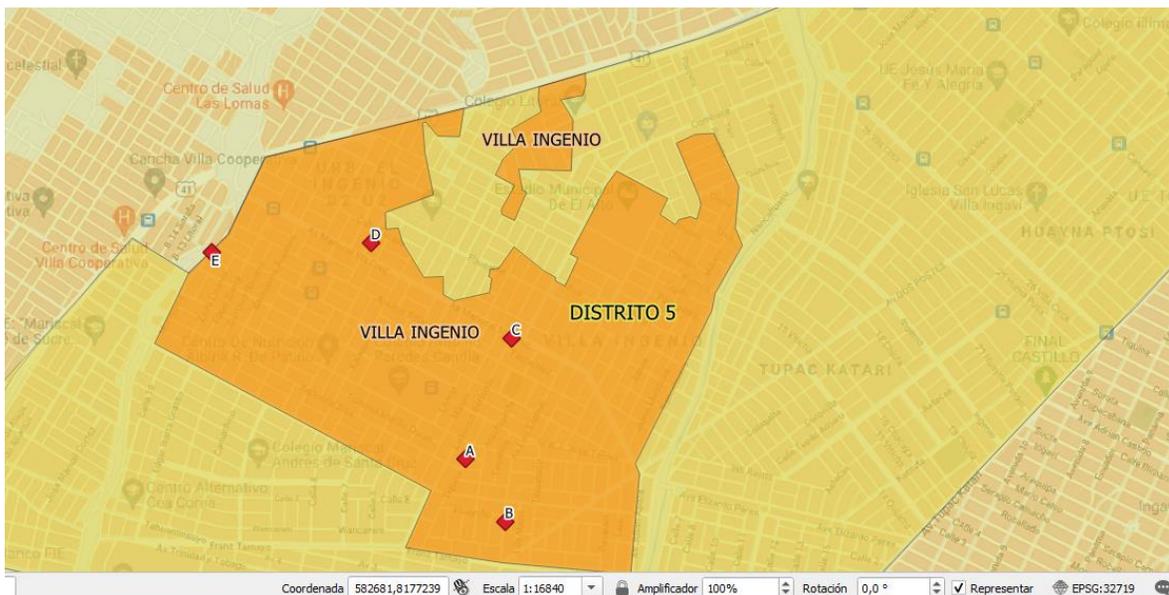
Tras el análisis realizado en base a la encuesta virtual, se entiende que es menester diseñar un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, siendo éste el objetivo general del presente trabajo de investigación, planteando puntos de recolección de residuos post consumo de PET estratégicos en toda la zona, así como trayectorias de carros recolectores adecuadas y en tiempos apropiados de acuerdo al volumen potencial de recolección de estos residuos en la zona.

4.1.2. RECOPIACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

Para realizar las entrevistas a personas involucradas con el negocio del reciclaje, tanto en la recolección, acopio, y comercialización de PET post consumo, se tuvo que explorar inicialmente la zona de Villa Ingenio, y visitar las urbanizaciones que la componen para este proyecto de investigación, para poder hallar la mayor cantidad de puntos de acopio y recolección de residuos PET. Tras una excursión exhaustiva en la zona se lograron identificar 5 puntos de acopio, de los 5 solo en tres de los puntos se pudieron realizar las entrevistas a sus respectivos encargados. En otros dos puntos los encargados de los puntos de recolección no tuvieron la confianza de dar sus testimonios. Sin embargo, todos los puntos de recolección identificados fueron plasmados en el software Q-GIS, en forma de capa vectorial, siendo un apoyo más para el diseño del sistema de reciclaje final de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Con la información de estos puntos de reciclaje de PET ya existentes, se podrá determinar con mayor objetividad los puntos de reciclaje a proponer para que formen parte del diseño del sistema de reciclaje.

Figura 4.15 Puntos de reciclaje de PET identificados en la zona de Villa Ingenio



Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada, 2021

En la Figura anterior, se observan los puntos de reciclaje o de recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno identificados en la zona de Villa Ingenio, plasmadas como archivo vectorial en el software Q-GIS.

4.1.3. ENTREVISTA A PUNTOS DE ACOPIO Y RECOLECTORES SOBRE EL NEGOCIO DEL RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

Ya conociendo los límites de la zona de Villa Ingenio, es que en el mes de Agosto se realiza la entrevista a personas que estén envueltas o relacionadas en el negocio del reciclaje, para conocer la perspectiva de este sector.

El proceso de recolección de datos mediante una encuesta incluyó dos etapas principales: el diseño de un cuestionario estructurado y la visita a los centros de acopio ya existentes y localizados en el punto anterior en la zona Villa Ingenio. Los detalles de estas etapas se describen a continuación.

4.1.3.1. DISEÑO DEL CUESTIONARIO PARA ENTREVISTADOS

Para recolectar los datos se elaboraron una serie de preguntas relacionadas únicamente al reciclaje de los envases de tereftalato de polietileno (PET) y el negocio que ello implica en la zona de Villa Ingenio, esto es: cantidad, material recolectado, facilitadores para el reciclaje. Otras variables de interés consideradas en este estudio incluyen incentivos monetarios como un elemento externo para inducir la conducta de reciclaje.

Se planteó una entrevista de 13 preguntas, teniendo en cuenta que los entrevistados no tendrían mucha disponibilidad de tiempo, el objetivo era poder entrevistarlos en un corto periodo de tiempo, para no perjudicar sus actividades y a la vez poder recabar la información más relevante referente al negocio del PET en la zona de Villa Ingenio. Se plantearon las siguientes preguntas.

1. ¿Cuánto tiempo lleva en el negocio del reciclaje?
2. ¿A cuánto compra el kilo de botellas PET?
3. ¿Solo compra PET de botella o acepta otro tipo de residuos hechos de PET?
4. ¿Cuántos kilos de PET recibe al día?
5. ¿En su mayoría las personas que vienen a dejar el material PET a este punto de son recolectores que se dedican a eso o son vecinos de la zona?
6. Si son más los recolectores ¿Alrededor de cuantos vienen al día?
7. ¿Cuántas toneladas de PET junta al mes?
8. ¿Hay alguna diferencia de precio en traer las botellas sin tapas y sin etiquetas?
9. ¿Existe alguna diferencia de precio con traer botellas o material PET de color o transparente?
10. ¿Cuál es el estado en el que recibe el material PET y si requiere de alguna atención extra? (Ej. lavado)
11. ¿Hay alguna época del año en especial donde reciba mayor cantidad de residuos PET? (Ej. Fechas festivas – Carnavales)
12. ¿A dónde lleva el material PET recolectado? ¿Y con qué frecuencia?
13. Según su experiencia, ¿Es rentable el negocio de recolección de material PET?

A continuación se muestra el documento con las 13 preguntas planteadas para la realización de las entrevistas a los encargados de puntos de acopio y recolectores de residuos post consumo de PET en la zona de Villa Ingenio.

Figura 4.16 Preguntas entrevista para los encargados de puntos de acopio de material reciclable como el PET.

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO	
CARRERA INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA	
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES	
ENCUESTA A PUNTOS DE ACOPIO DE RESIDUOS RECICLABLES	
EN LA ZONA DE VILLA INGENIO	
NOMBRE DEL PUNTO DE RECOLECCIÓN:	
DIRECCIÓN DEL PUNTO DE RECOLECCIÓN:	
MATERIALES QUE PUEDE RECOLECTARSE EN ESTE PUNTO:	
FECHA:	
PREGUNTAS	
1. ¿Cuánto tiempo lleva en el negocio del reciclaje?	R.
2. ¿A cuánto compra el kilo de botellas PET?	R.
3. ¿Solo compra PET de botella o acepta otro tipo de residuos hechos de PET?	R.
4. ¿Cuántos kilos de PET recibe al día?	R.
5. ¿En su mayoría las personas que vienen a dejar el material PET a este punto de acopio son los recolectores que se dedican a eso o son vecinos de la zona?	R.
6. Si son más los recolectores ¿Alrededor de cuantos vienen al día?	R.
	R.
7. ¿Cuántas toneladas de PET junta al mes?	R.
8. ¿Hay alguna diferencia de precio en traer las botellas sin tapas y sin etiquetas?	R.
9. ¿Existe alguna diferencia de precio con traer botellas o material PET de color o transparentes?	R.
10. ¿Cuál es estado en el que recibe el material PET y si requiere de alguna atención extra? (Ej. lavado)	R.
11. ¿Hay alguna época del año en especial donde reciba mayor cantidad de residuos PET? (ej. Fechas festivas – Carnavales)	R.
12. ¿A dónde lleva el material PET recolectado? y con qué frecuencia?	R.
13. Según su experiencia, ¿es rentable el negocio de recolección de material PET?	R.

Final del documento ■

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.1.3.2. VISITA Y ENTREVISTAS REALIZADAS A PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES EN VILLA INGENIO

Ya habiendo localizado aquellos puntos de recolección existentes en la zona de Villa Ingenio para el acopio de residuos post consumo de tereftalato de polietileno, se procede a entrevistar a los encargados de los puntos identificados, pudiendo conseguir los testimonios de tres personas pertenecientes a tres puntos de recolección, dos encargados de puntos de recolección de diversos residuos reciclables, incluido el PET, y a un recolector de material reciclable. En los demás puntos de recolección, como se mencionó anteriormente, los encargados de los mismos no accedieron a la entrevista y a pesar de indicarles el objetivo de la misma,

igual se negaron, es por ello que no se pudo obtener más entrevistas. Sin embargo, la información recolectada de estas tres personas es de vital importancia para conocer el negocio del reciclaje de PET en la zona de Villa Ingenio.

❖ **Primer punto de acopio**

El primer punto de acopio visitado fue el de Don Julio, quien se dedica al negocio de reciclaje hace más de 8 años y que no solo se dedica a recolectar envases PET, sino otros materiales como aluminio, cartón, papel, cobre, entre otros. Entre lo más resaltante que Don Julio nos informó es que recibe los envases PET tanto de vecinos como de recolectores y los compra al valor de 1.50Bs por kilogramo. Él nos indica que si hay vecinos que le dejan sus residuos post consumo de PET generados en sus hogares, pero los que más le dejan son los recolectores que se dedican exclusivamente a recolectar material reciclable.

Figura 4.17 Entrevista realizada a Don Julio, encargado del primer punto de acopio identificado en la zona de Villa Ingenio.



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Don Julio indica que acopia alrededor de 200Kg de envases PET a la semana, y que evita acopiar envases muy sucios o con aceites, ya que la empresa que le compra le pide que seleccione mejor lo que acopia. Don Julio lleva lo que acopio en el mes hasta la empresa Marecbol, haciendo uso de su propia movilidad.

❖ **Segundo punto de acopio**

El segundo punto de acopio visitado fue el de Don Fernando, quien se dedica al negocio de reciclaje hace aproximadamente 8 años, de igual forma a Don Julio, Don Fernando no solo acopia envases PET, sino otros materiales como vidrio, cartón, papel, aluminio, cobre, entre otros. Entre lo más resaltante que Don Fernando nos informó es que recibe los envases PET tanto de vecinos como de recolectores y los compra al valor de 1.50Bs por kilogramo. Él nos indica que en su caso, son los vecinos que le dejan sus residuos post consumo más que los recolectores que se dedican exclusivamente a ello. Don Fernando recolecta al mes aproximadamente entre 500 a 1000 kilogramos de envases PET, los cuales son comprados desde su puerta por otras personas para ser llevados a una empresa recicladora.

Figura 4.18 . Entrevista realizada a Don Fernando, encargado del segundo punto de acopio identificado en la zona de Villa Ingenio



Fuente: Elaboración Propia, 2021

❖ **Tercer punto: Entrevista a recolector**

En este tercer punto, la entrevista se realizó a Don Miguel, quien es recolector de material reciclable y almacena lo que recolecta en su hogar, el no compra material reciclable, sino el por sus propios medios recolecta envases PET, papel, cartón, metales, vidrio y otros. Entre lo más resaltante que Don Miguel nos informó es que recolecta 30Kg de envases PET al día, y que esto mucho depende de sus ganas de caminar y buscar. El comenta que realiza grandes caminatas que le dan como resultado mayores kilos de envases PET, y que aproximadamente por mes recolecta 200Kg por mes de PET. El directamente le vende el PET a la empresa EMPACAR S.A. quienes van hasta su puerta para recoger lo que recolecta mensualmente. Don Miguel también nos informa que la cantidad de PET que recolecta se incrementa luego de fiestas de la zona o ferias.

Figura 4.19 Entrevista realizada a Don Miguel, recolector entrevistado en su casa donde acopio el solo lo que recolecta en la zona de Villa Ingenio



Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la siguiente tabla se refleja las respuestas recolectadas en los tres puntos de entrevista, de dos encargados de centros de acopio y de un recolector.

Tabla 4.1 Respuestas recolectadas de puntos encuestados en la zona de Villa Ingenio

PREGUNTAS	PUNTO DE ACOPIO 1	PUNTO DE ACOPIO 2	RECOLECTOR
NOMBRE DE REFERENCIA	DON JULIO	DON FERNANDO	DON MIGUEL
MATERIALES QUE PUEDEN RECICLARSE EN ESTE PUNTO	BOTELLAS PET, ALUMINIO, COBRE, PAPELES, ETC.	PET, VIDRIO, PAPEL, METALES, ETC.	BOTELLAS, CARTON, COBRE, ETC
¿CUANTO TIEMPO LLEVA EN EL NEGOCIO DEL RECICLAJE?	8 AÑOS O MAS	8 AÑOS	13 AÑOS
¿A CUANTO COMPRA EL KILO DE BOTELLAS PET?	ANTES 0,50 ctvs./Kg AHORA Bs 1,5/Kg	1,5 Bs/Kg	RECOLECTA POR 1,5 Bs Y LO VENDE A LA EMPRESA
¿SOLO COMPRA PET DE BOTELLAS O ACEPTA OTRO TIPO DE RESIDUOS HECHOS DE PET?	BOTELLAS PET, BOTELLAS DE DETERGENTE LIQUIDO, DE ALCOHOL Y DE ALCOHOL EN GEL	BOTELLAS PET, BOTELLAS DE ALCOHOL	TODA CLASE DE PET
¿CUANTOS KILOS DE PET RECIBE AL DIA?	200 kg/SEMANA DE PET RECOLECTADO	10 KILOS – 20 KILOS	30 kg/DIA
¿EN SU MAYORIA LAS PERSONAS QUE VIENEN A DEJAR EL MATERIAL PET A ESTE PUNTO SON RECOLECTORES QUE SE DEDICAN A ESO O SON VECINOS DE LA ZONA?	VECINOS DEL LUGAR Y RECOLECTORES (SON MAS LOS RECOLECTORES)	MAYORIA SON LOS VECINOS	TRABAJA SOLO/NO RECIBE PET DE VECINOS U OTROS
SI SON MAS LOS RECOLECTORES, ¿ALREDEDOR DE CUANTOS VIENEN AL DIA?	10 RECOLECTORES	5 RECOLECTORES	N/A
¿CUANTAS TONELADAS DE PET JUNTA AL MES?	1600 kg/MES	500 – 1000 KILOS (3 OLLAS)	200 kg/MES APROXIMADAMENTE
¿HAY ALGUNA DIFERENCIA DE PRECIO EN TRAER LAS BOTELLAS SIN TAPAS Y SIN ETIQUETAS?	NO HAY DIFERENCIA, ANTES SI	NO HAY DIFERENCIA TAL COMO ESTA	NO HAY DIFERENCIA, SE PESA TODO
¿EXISTE ALGUNA DIFERENCIA DE PRECIO CON TRAER BOTELLAS O MATERIAL PET DE COLOR O TRANSPARENTE?	EXISTE DIFERENCIA AL MOMENTO DE VENDER A LA EMPRESA	NO HAY DIFERENCIAS, LA EMPRESA LES COMPRA POR IGUAL	VENDE TODO LO RECOLECTADO POR IGUAL
¿CUAL ES EL ESTADO EN EL QUE RECIBE EL MATERIAL PET Y SI REQUIERE DE ALGUNA ATENCION EXTRA? (EJ. LAVADO)	QUE NO ESTEN CON ACEITE, NI MUY SUCIOS. NO TIENEN NINGUNA ATENCION EXTRA	TODO TIPO DE BOTELLAS EN CUALQUIER ESTADO	CUALQUIER ESTADO/ CON O SIN ACEITE

¿HAY ALGUNA EPOCA DEL AÑO EN ESPECIAL DONDE RECIBA MAYOR DE RESIDUOS PET? (EJ. FECHAS FESTIVAS, CARNAVALES)	A FINES DE AÑO, CARNAVALES (+ 20%)	AÑO NUEVO, YA QUE CADA 15 DIAS LLEGAN A SER 1000 kg	CUANDO HAY MAS FIESTAS HAY MAS PET (DEPENDE DEL RECOLECTOR)
¿A DONDE LLEVA EL MATERIAL PET RECOLECTADO Y CON QUE FRECUENCIA?	EMPRESA MARECBOL (CARMONA LTDA)	UNA EMPRESA VIENE A LLEVAR EL MATERIAL CADA MES	EMPACAR S.A.
SEGÚN SU EXPERIENCIA, ¿ES RENTABLE EL NEGOCIO DE RECOLECCION DE MATERIAL PET?	SOLO PLASTICOS PET NO ES RENTABLE, ES NECESARIO TRABAJAR CON LOS OTROS MATERIALES RECICLABLES	DE LAS BOTELLAS NO SE GANA MUCHO DEBIDO A QUE NO ES CONSTANTE LA VENTA	NO PODRIA VIVIR SOLO DE RECICLAR EL PET

Tabla 1. Resumen respuestas de encuestados en la zona de Villa Ingenio

4.1.3.3. CONCLUSIONES ENTREVISTAS REALIZADAS

La información obtenida en las entrevistas a los encargados de puntos de acopio así como del recolector sirve de mucho para el proyecto de investigación, ya que permite palpar la realidad del negocio del reciclaje en la zona de Villa Ingenio.

De las entrevistas podemos deducir que lastimosamente la cultura del reciclaje es algo que no es un común denominador en la zona de Villa Ingenio, y que hacen falta aún más incentivos para que las personas separen y reciclen sus residuos post consumo. Si bien en algún punto indican que son los vecinos quienes más aportan este material, los demás entrevistados indicaron que esta acción no es común en la zona.

Las personas que se dedican a acopiar o recolectar estos residuos reciclables indicaron que este negocio no es rentable si solo se tratara de recolectar botellas PET, ya que la recolección de este material es muy variable en cantidades de un día a otro, sin que esto no signifique que cantidades preocupantes de residuos PET circulen en la ciudad de El Alto.

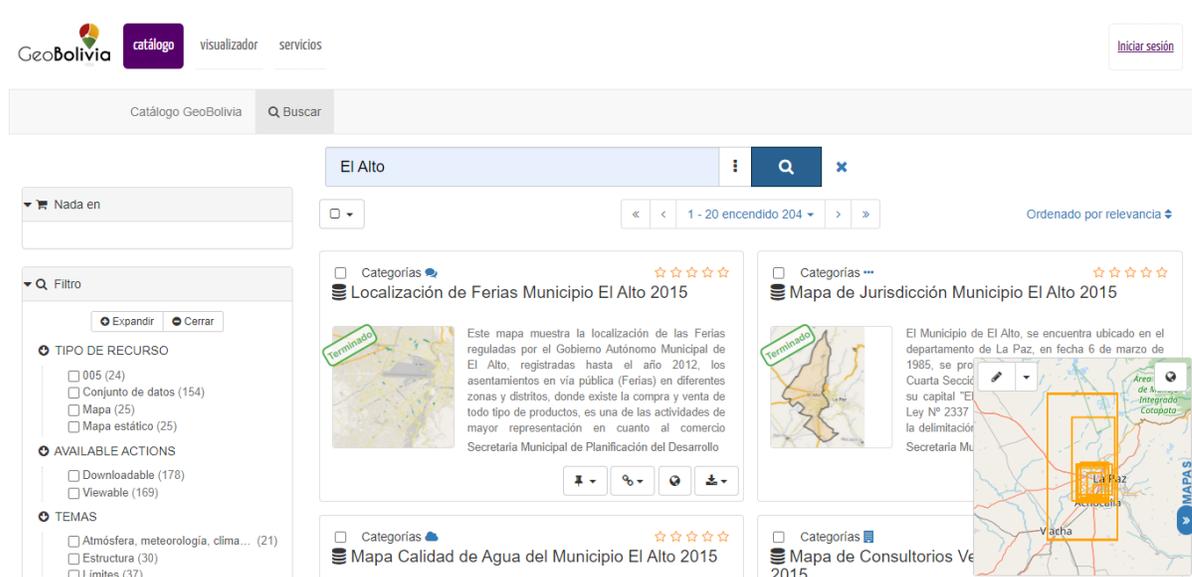
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECICLAJE DE RESIDUOS POST CONSUMO DE PET EN LA ZONA DE VILLA INGENIO CON EL SOFTWARE Q-GIS.

El diseño del sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, se debe basar en toda la información obtenida sobre la zona de estudio, además de las capas en formato vectorial elaboradas en base a toda esa información recopilada, como los límites geográficos y los puntos de reciclaje ya existentes en la zona de Villa Ingenio. Sin embargo, se debe también complementar dicha información con otra información geográfica disponible en diversas plataformas web, que sea de utilidad para el proyecto de investigación y sobre todo que sea compatible con la herramienta de sistema de información geográfica QGIS 3.18.

4.2.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMPATIBLE CON EL SOFTWARE QGIS 3.18

Los archivos de capas compatibles con programas de sistema de información geográfica y que sean de la región de estudio, la ciudad de El Alto, pueden ser descargados de manera libre de la página de GeoBolivia.

Figura 4.20 Recolección de mapas digitalizados del área de investigación



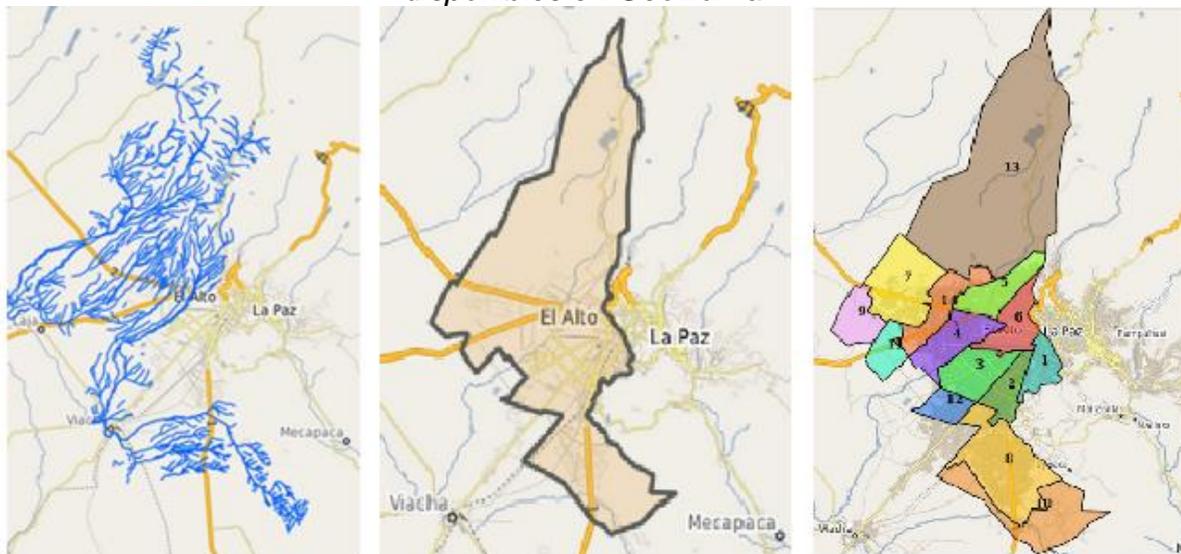
Fuente: Portal Geo Bolivia (www.geo.gob.bo.com, 2021)

De esta página de GeoBolivia, se descargaron los siguientes mapas digitales de la ciudad de El Alto:

- Ríos de la ciudad de El Alto
- Distritos de la ciudad de El Alto
- Jurisdicción de la ciudad de El Alto
- Edificios de la ciudad de El Alto
- Áreas verdes de la ciudad de El Alto
- Manzanos de la ciudad de El Alto
- Caminos de la ciudad de El Alto

Todos los mapas anteriores pueden ser descargados en el formato de shape file (.shp), el cual es compatible con el software QGIS, y que también recibe la denominación de mapa vectorial.

Figura 4.21 Mapas de ríos, jurisdicción y distritos de la ciudad de El Alto disponibles en GeoBoliva



Fuente: Mapas digitalizados de la ciudad de El Alto (www.geo.gob.bo.com, 2021)

En base a estos mapas digitalizados y apoyados en herramientas como Google Maps, Google Satellite, Google Openstreetview, es que posteriormente se delimita la zona de Villa Ingenio y se empiezan a trazar los puntos y trayectorias tentativas de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno para la zona.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE PUNTOS TENTATIVOS DE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

La determinación de los puntos tentativos para lo que sería la recolección de residuos post consumo de PET, se realizó bajo los siguientes parámetros.

- Sitios con mucha concurrencia de personas (ferias, lugares comerciales, etc)
- Lugares comunitarios de la zona (Junta de Vecinos, Centro de Salud, centros de la alcaldía, canchas vecinales, plazas principales, paradas de automóviles, mercados, etc)
- Unidades académicas, centros de aprendizaje (Colegios, universidades, etc)
- Instituciones privadas reconocidas en la zona (Bancos, empresas, plantas , etc)

En base a los anteriores parámetros es que se determinaron los siguientes puntos tentativos, recolectando la longitud y latitud de cada punto, para que luego esta información sea digitalizada en el software QGIS:

Tabla 4.2 Puntos tentativos de recolección de PET en Villa Ingenio

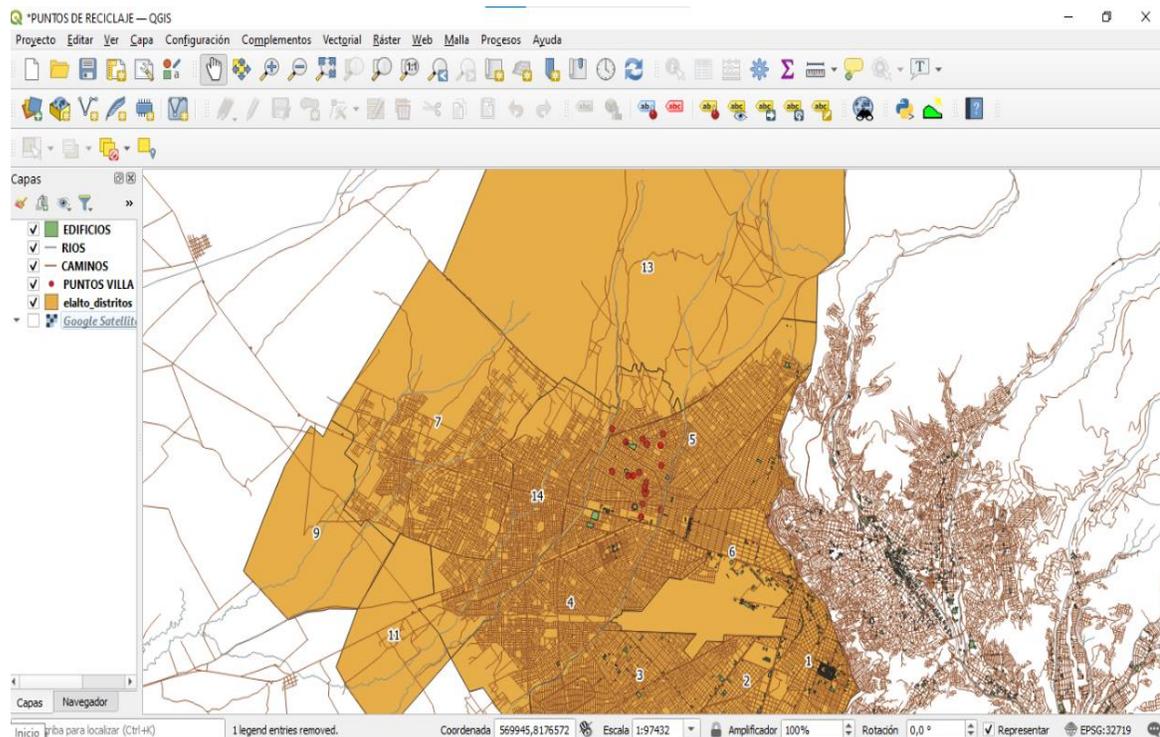
N	Y(LATITUD)	X(LONGITUD)	NOMBRE LUGAR
1	-16.48315	-68.20620	Centro de Salud Villa Ingenio
2	-16.47942	-68.20924	Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica UPEA
3	-16.47241	-68.20172	Estadio Municipal del El Alto
4	-16.46855	-68.21539	Centro de Salud Las Lomas
5	-16.47946	-68.21074	Colegio Antonio Paredes Candia
6	-16.48723	-68.20166	Sub Alcaldía Distrito 5
7	-16.47849	-68.21546	Modulo Policial Villa Ingenio
8	-16.48658	-68.20902	Colegio Marcelo Quiroga Santa Cruz
9	-16.48316	-68.20556	Plaza Villa Ingenio
10	-16.47865	-68.20756	Cancha de Villa Ingenio
11	-16.46969	-68.20095	Parada Micro 511
12	-16.47093	-68.20671	Mercado El Ingenio
13	-16.47706	-68.20138	Parque Héroes del Gas
14	-16.48353	-68.20588	Feria Villa Ingenio

15	-16.47163	-68.21141	Unidad Educativa Republica de Irán
16	-16.48106	-68.20574	Plaza Pata de Gallo
17	-16.48599	-68.20655	Bancosol Agencia Villa Ingenio
18	-16.48885	-68.20717	Praxair Bolivia SRL
19	-16.48195	-68.20615	Mini Market "El Ingenio"
20	-16.47207	-68.20557	Mercado Capriles

Fuente: Elaboración propia en función a información recopilada, 2021

Los puntos recolectados fueron digitalizados y convertidos en una capa formato shape file (.shp) en el software QGIS, esta capa fue combinada junto a los demás mapas recolectados de la ciudad de El Alto.

Figura 4.22 Puntos tentativos digitalizados en el programa QGIS 3.18

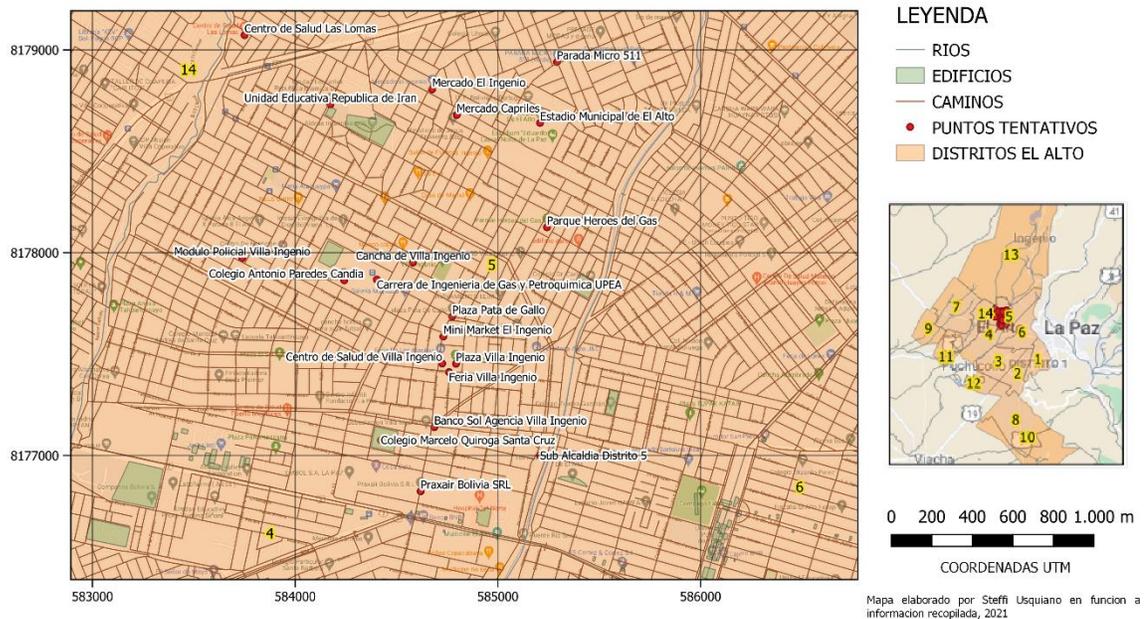


Fuente: Software de Sistema de Información Geográfica Q-GIS 3.18, 2021

El programa Q-GIS aparte de poder sobre poner las capas o mapas uno sobre otro y así poder realizar análisis según lo que se requiera, también es un software que nos permite elaborar un mapa para impresión, que cuente con las características necesarias de uno, como título, leyenda, mapa insertado, escala, etc.

A continuación se muestra el sistema de reciclaje para impresión con puntos tentativos de recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Figura 4.23 Sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET - Puntos tentativos de recolección en Villa Ingenio



Fuente: Elaboración propia en función a información recopilada (QGIS 3.18, 2021)

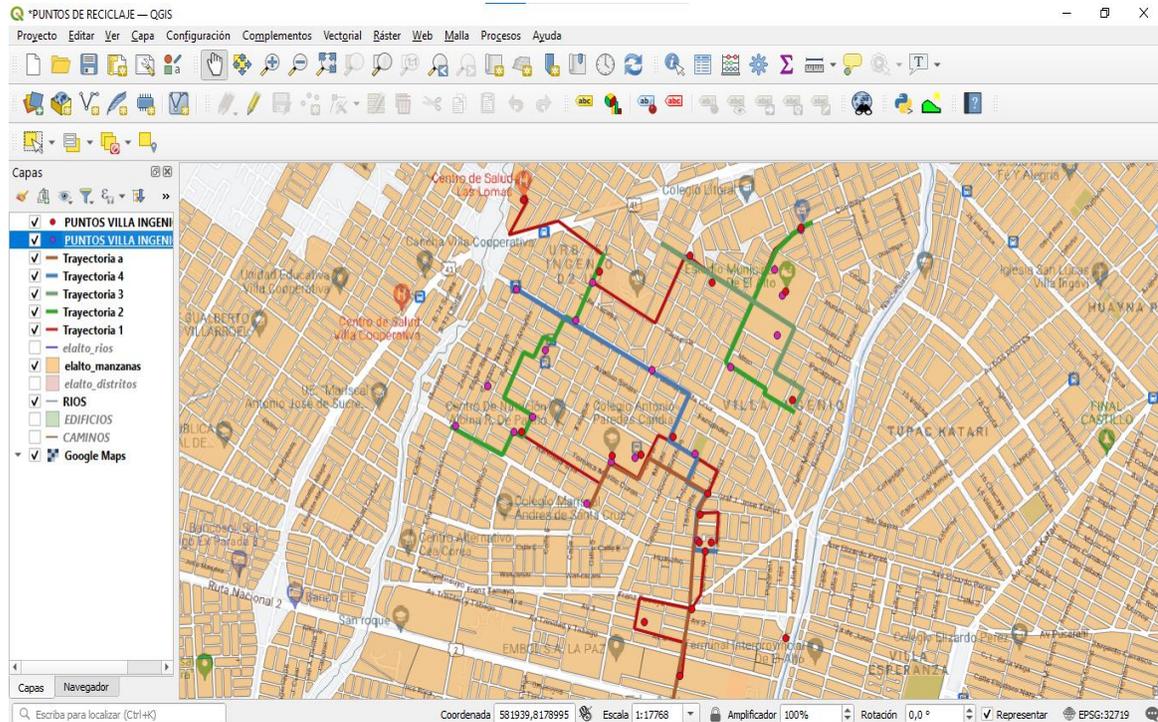
4.2.3. DETERMINACIÓN DE TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE RECOLECCIÓN

La determinación de las trayectorias tentativas para lo que sería la recolección de residuos post consumo de PET, se realizó bajo los siguientes parámetros.

- Los puntos tentativos anteriormente fijados en la zona.
- Avenidas importantes y amplias de la zona.
- Avenidas o calles con antecedentes de formar parte de las rutas establecidas para la recolección de basura en la zona.
- Inicio y fin de trayectorias en avenidas y calles céntricas de la zona de Villa Ingenio, que permitan que el carro recolector acceda fácilmente a otras zonas de la ciudad de El Alto.

En base a los anteriores parámetros es que se determinaron las siguientes trayectorias tentativas, digitalizándolas directamente en el software QGIS:

Figura 4.24 Trayectorias tentativas digitalizadas en el programa QGIS 3.18



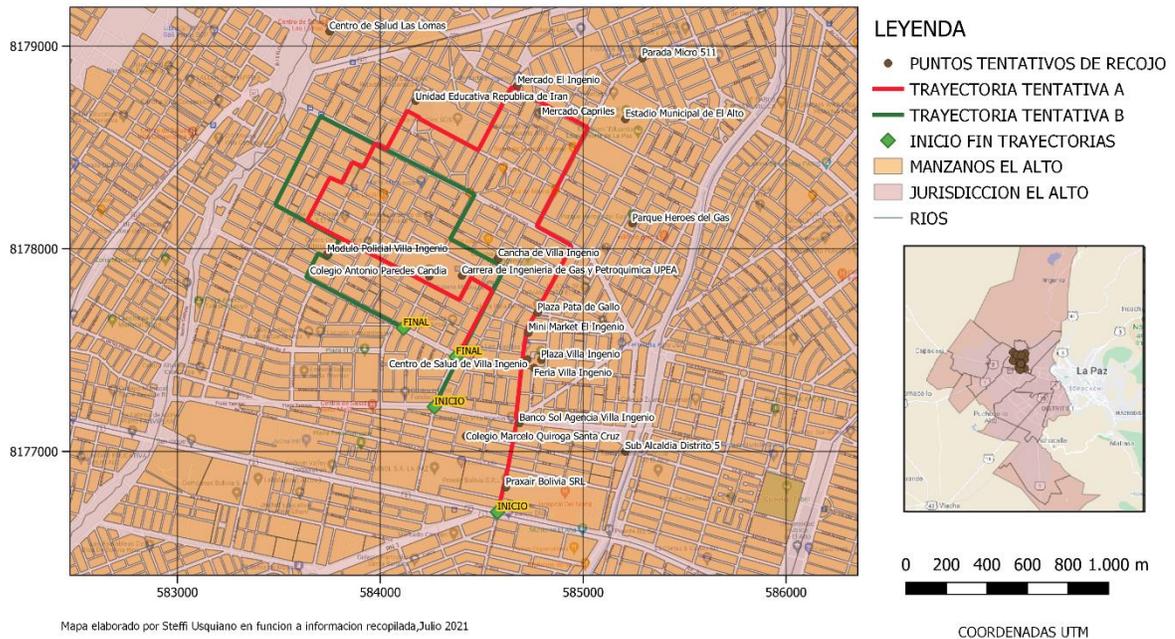
Fuente: Software de Sistema de Información Geográfica Q-GIS 3.18, 2021

Al igual que en el caso de los puntos tentativos, se elaboró un mapa para impresión de trayectorias tentativas de recolección, que cuente con las características como título, leyenda, mapa insertado, escala, etc.

A continuación se muestra el sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno para impresión de trayectorias tentativas de recolección de en la zona de Villa Ingenio.

En este sistema de recolección también figuran las capas elaboradas de los puntos tentativos anteriormente planteados así como los mapas digitalizados recopilados de la ciudad de El Alto.

Figura 4.25 Sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET – Trayectorias tentativas en Villa Ingenio



Fuente: Elaboración propia en función a información recopilada (QGIS 3.18, 2021)

4.2.4. CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE RECICLAJE - PUNTOS DE ACOPIO Y TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE RECOLECCION

Se ha trazado los puntos de acopio y trayectorias tentativas para la recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio, teniendo en cuenta las ferias, avenidas concurridas, establecimientos académicos, parques, plazas, etc. Sin embargo para poder definir puntos definitivos se necesita añadir los puntos de recolección ya existentes en la zona de Villa Ingenio, y en base a ellos replantear los puntos tentativos y trayectorias tentativas planteadas.

4.2.5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS Y TRAYECTORIAS DEFINITIVAS DE RECICLAJE EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

Los puntos tentativos recolectados anteriormente consideran lugares con mayor afluencia de personas, incluyendo mercados, canchas, unidades educativas, centros académicos, etc. Sin embargo, muchos de éstos puntos se localizan muy cerca de los otros puntos, es por ello que se necesita evaluar qué puntos resultan

estratégicos para la recolección de residuos, teniendo en cuenta también aquellos ya existentes en la zona.

De igual forma para definir las trayectorias definitivas de recolección, se debe tener en consideración a los puntos estratégicos que estén sobre las avenidas principales, o calles cuyo acceso no represente ningún problema y tenga afluencia de personas. Para ambos casos se utiliza el software Q-GIS para poder determinar los puntos y trayectorias definitivas a proponerse para el sistema de recolección.

4.2.5.1. PUNTOS DE RECOLECCIÓN PROPUESTOS

De los más de 20 puntos de recolección tentativos propuestos, se optó por reducir su número a 9, además de ya contar con los 5 puntos existentes identificados con anterioridad. Gracias a la herramienta del Q-GIS, se pudo definir los puntos definitivos de recolección, estas están separadas distancias razonables una de otra. Los 9 puntos definitivos propuestos elegidos como estratégicos se representan en la siguiente tabla:

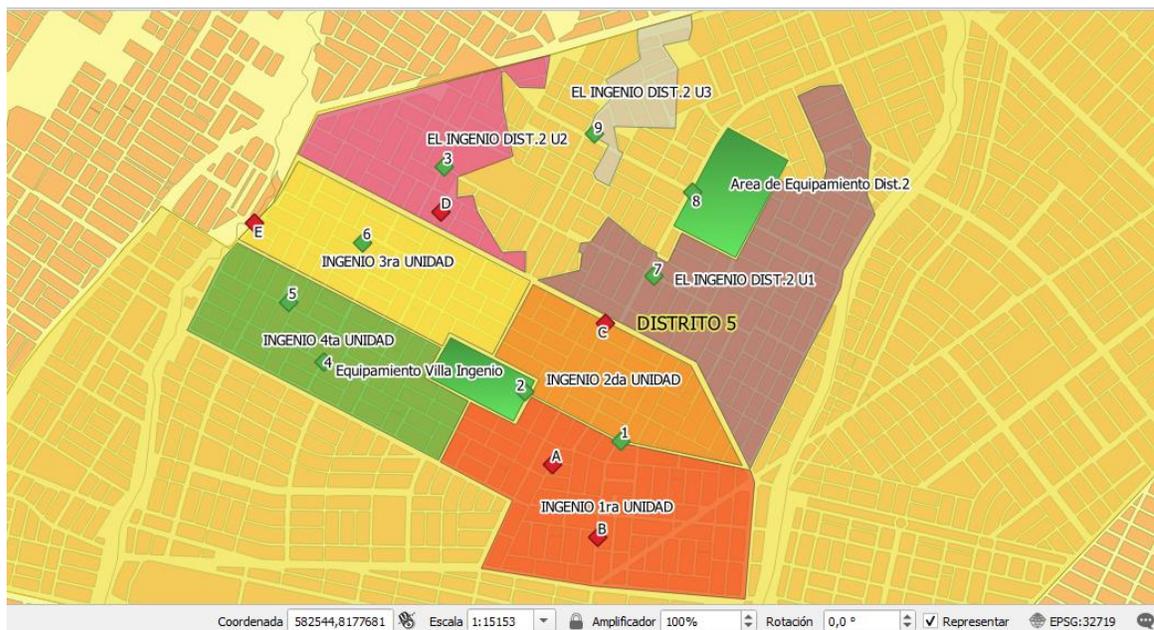
Tabla 4.3 Puntos de reciclaje propuestos para la zona de Villa Ingenio

PUNTOS DE RECICLAJE DE PET PROPUESTOS	
1	Plaza Pata de Gallo
2	Carrera Ing. Gas y Petroquímica
3	U.E. Republica de Irán
4	Junta de Vecinos
5	Parada de Trufi
6	U.E. de Taiwán
7	Feria Zonal
8	Estadio Villa Ingenio
9	Mercado El Ingenio

Fuente: Elaboración propia, 2021

Cada uno de los puntos de la tabla anterior tiene una ubicación estratégica, logrando acaparar cada uno entre 4 o 5 puntos tentativos anteriormente planteados. A estos puntos propuestos se adjuntan los puntos de recolección ya existentes, quedando la propuesta como se muestra en la figura.

Figura 4.26 Puntos de reciclaje de PET propuestos + Puntos ya existentes



Fuente: Software de Sistema de Información Geográfica Q-GIS 3.18, 2021

❖ Plaza Pata de Gallo (1)

Este punto propuesto se encuentra entre el límite entre las urbanizaciones El Ingenio 1ra Unidad y El Ingenio 2da Unidad. Esta plaza se encuentra entre los puntos de recolección ya existentes A, B y C (en rojo en la figura anterior), siendo también un punto de gran afluencia de personas.

❖ Carrera Ing. Gas y Petroquímica (2)

Este punto propuesto se encuentra en un lugar estratégico, dentro del área de equipamiento de Villa Ingenio, en la parte central de las urbanizaciones El Ingenio 1ra Unidad, El Ingenio 2da Unidad, El Ingenio 3ra Unidad y El Ingenio 4ta Unidad. Además se propone este punto entendiendo que la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica promoverá con el ejemplo de sus estudiantes y docentes la recolección de residuos post consumo de PET.

❖ U.E. Republica de Irán (3)

La Unidad Republica de Irán se encuentra dentro de la urbanización El Ingenio 3ra Unidad, este punto se propone ya que al ser un centro educativo tiene facilidad para ser un punto fijo de recolección, y también es un sitio de afluencia de personas de edades diferentes. Este punto sería un complemento al punto de recolección ya existente en la misma urbanización (D).

❖ **Junta de Vecinos (4)**

Este punto se encuentra dentro de la urbanización El Ingenio 4ta Unidad, prácticamente al medio de esta urbanización. Se propone este punto ya que la Junta de Vecinos podría hacer un mejor control de lo recolectado y además de servir de ejemplo para la comunidad. Otras ventajas de este punto es que se encuentra cerca de ferias semanales en la zona.

❖ **Parada de Trufi (5)**

Este punto también se encuentra dentro de la urbanización El Ingenio 4ta Unidad, y es un punto de gran afluencia de personas. Se propone este punto ya la parada de trufis se encuentra cerca de unidades educativas, además de que en esta urbanización no se logró localizar un punto de recolección ya existente.

❖ **U.E. de Taiwán (6)**

La unidad educativa de Taiwán se encuentra dentro de la urbanización El Ingenio 3ra Unidad, casi al centro de la urbanización. El único punto de recolección existente que se encontró en esta urbanización se encuentra al extremo este de la misma (E), siendo muy difícil su acceso para la mayoría de la población de la urbanización. Es por ello que se propone este punto, el cual estaría ubicado en una institución educativa.

❖ **Feria Zonal (7)**

Este punto se encuentra dentro de la urbanización El Ingenio Distrito 2 Unidad 1, dicho punto está localizado en cercanías a lugares con mucha afluencia de

personas. En el límite sur de esta urbanización se encuentra uno de los puntos de recolección existentes identificados con anterioridad (C).

❖ **Estadio Villa Ingenio (8)**

Este punto es considerado de mucha afluencia, desde que el Estadio de Villa Ingenio es utilizado para la realización de partidos de la liga de fútbol boliviana, recibiendo bastantes visitantes en fechas de partidos de fútbol, además de estar en cercanías Unidades Educativas como la Republica de Cuba y la U.E. Boliviano Portugal. Este punto está dentro de lo que se considera el Área de equipamiento del Distrito 2.

❖ **Mercado El Ingenio (9)**

El mercado El Ingenio se encuentra en la urbanización El Ingenio Distrito 2 Unidad 3, y se lo ha propuesto como único punto para recolección debido a que en comparación de las demás urbanizaciones tiene menor área y no presenta lugares con demasiada afluencia, siendo el Mercado como un punto estratégico.

En la siguiente tabla se realiza un resumen de los puntos distribuidos en cada urbanización que conforma la denominada zona de Villa Ingenio en el presente proyecto de investigación.

Tabla 4.4 Puntos propuestos y existentes de recolección en cada urbanización

URBANIZACION	PUNTOS DE RECICLAJE DE PET PROPUESTOS	PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES
El Ingenio 1ra Unidad	-	Punto Existente A Punto Existente B
El Ingenio 2da Unidad	Plaza Pata de Gallo (1)	Punto Existente C
El Ingenio 3ra Unidad	U.E. de Taiwán (6)	Punto Existente E
El Ingenio 4ta Unidad	Junta de Vecinos (4) Parada de Trufi (5)	-
El Ingenio Distrito 2 Unidad 1	Feria Zonal (7) Estadio Villa Ingenio (8)	-
El Ingenio Distrito 2 Unidad 2	U.E. Republica de Irán (3)	Punto Existente D
El Ingenio Distrito 2 Unidad 3	Mercado El Ingenio (9)	-

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Como se muestra en la tabla anterior, 6 de las urbanizaciones que son parte del universo de estudio del presente trabajo de investigación, cuentan con al menos dos puntos de recolección, entre propuestos y ya existentes en la zona, y la última solo cuenta con un punto de recolección debido a que es la de menor área.

4.2.5.2. TRAYECTORIAS DE RECOLECCIÓN PROPUESTAS

La propuesta de trayectorias para el sistema de reciclaje, se basa principalmente en los puntos de reciclaje ya existentes en la zona y aquellos que se han propuesto en el punto anterior. El inicio y final de las trayectorias comienzan en avenidas amplias que limitan la zona de Villa Ingenio y que están cerca de la avenida principal Juan Pablo II, desde la cual se tiene libre acceso a diversas zonas de la ciudad de El Alto.

Figura 4.27 Puntos y trayectorias definitivas propuestas para el sistema de reciclaje de PET



Fuente: Software de Sistema de Información Geográfica Q-GIS 3.18, 2021

El servicio de recolección y transporte de los residuos de tereftalato de polietileno (PET) en la zona de Villa Ingenio se propone que se realice de manera mensual, mediante dos trayectorias que serán recorridas de manera intercalada cada 15 días.

❖ TRAYECTORIA A

La trayectoria A, que en la figura anterior se representa con líneas punteadas azules, inicia desde la Avenida Franz Tamayo, esquina Avenida Luis Espinal, para luego pasar por el punto de recolección existente B, el punto de recolección propuesto 1, el punto de recolección existente C, los puntos de recolección propuestos 7, 8, 9, 3, 6 y 2 respectivamente, para finalizar en la Avenida Miguel Paredes esquina Avenida Andrés Condorcanqui.

❖ TRAYECTORIA B

La trayectoria B, que en la figura anterior se representa con líneas punteadas verdes, inicia desde la Avenida Franz Tamayo, esquina Avenida Andrés Condorcanqui, para luego pasar por los punto de recolección existentes A, D y E, y los puntos de recolección propuestos 5 y 4. Esta trayectoria culmina en la Avenida Miguel Paredes esquina calle Max Portugal.

Tabla 4.5 Puntos de recolección para cada trayectoria propuesta

CAMION DE 5.5 TON.	TRAYECTORIA A	TRAYECTORIA B
	<p>Cada 15 de Mes Punto existente B Punto propuesto 1 Punto existente C Punto propuesto 7 Punto propuesto 8 Punto propuesto 9 Punto propuesto 3 Punto propuesto 6</p>	<p>Cada 30 de Mes Punto existente A Punto existente D Punto existente E Punto propuesto 5 Punto propuesto 4</p>

Fuente: Elaboración Propia, 2021

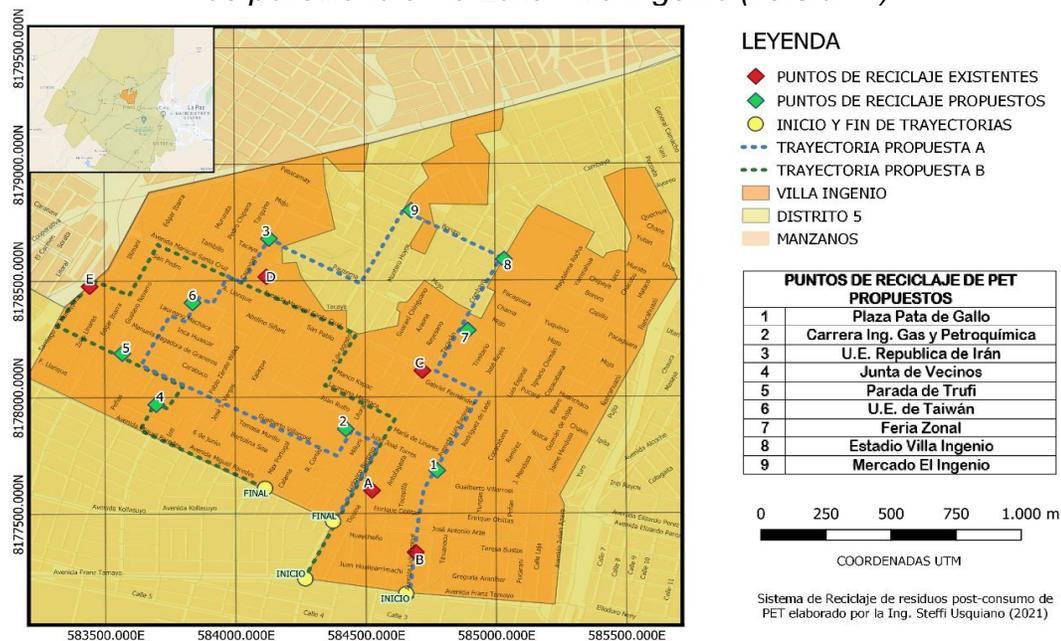
Para el servicio de recolección y transporte se debería de disponer de un camión recolector de al menos 5 toneladas de capacidad de carga. Asumiendo que cada punto de recolección propuesto recolectaría de manera mensual en promedio 900 Kg de residuos post consumo de PET. Este dato se obtiene en base a lo recopilado en los puntos ya existentes que en promedio indicaron que recolectan 30Kg/día, lo que da un promedio mensual de 900Kg/mes.

4.3. SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST CONSUMO DE PET EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

Tras toda la recopilación de información, las capas vectoriales de puntos, trayectorias y delimitadoras de áreas creadas en el software Q-GIS, así como aquellas recolectadas de diversos sitios web para complementar el diseño del sistema de reciclaje, se tienen los siguientes diseños elaborados para la zona de Villa Ingenio.

A continuación se muestra la primera versión del diseño de sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET en la cual la zona Villa Ingenio se toma como una capa vectorial única, además se cuenta con dos trayectorias (A y B) y los 14 puntos definitivos de recolección (9 puntos propuestos + 5 puntos ya existentes).

Figura 4.28 Sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona Villa Ingenio (versión 1)



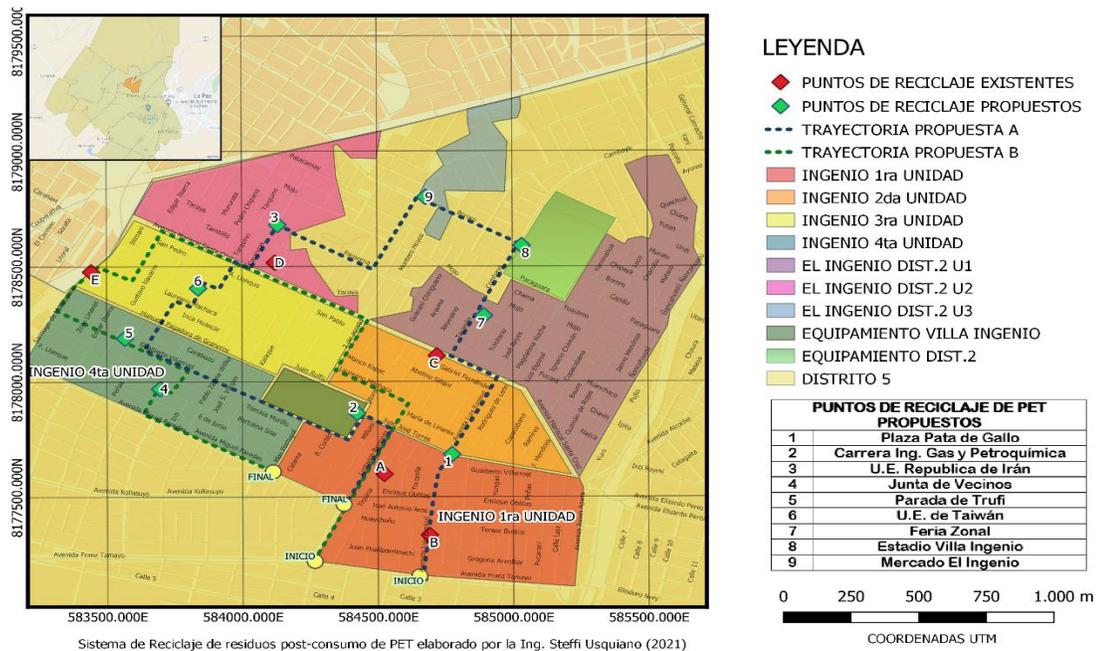
Fuente: Elaboración propia en Q-GIS 3.18, 2021

En la segunda versión del diseño de sistema de reciclaje de residuos post consumo de PET se toma a la zona Villa Ingenio como una serie de urbanizaciones diferenciadas, cuenta con dos trayectorias (A y B) y los 14 puntos definitivos de

recolección (9 puntos propuestos + 5 puntos ya existentes) plasmados en la primera versión. Las urbanizaciones que se pueden diferenciar en el diseño del sistema son: Ingenio 1ra Unidad, Ingenio 2da Unidad, Ingenio 3ra Unidad, Ingenio 4ta Unidad, El Ingenio Dist.2 U1, El Ingenio Dist.2 U2, El Ingenio Dist.2 U3, además de las áreas destinadas a equipamiento como: Equipamiento Villa Ingenio y Equipamiento Dist. 2.

A continuación se observa la segunda versión del sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Figura 4.29 Sistema de reciclaje a partir de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona Villa Ingenio (versión 2)



Fuente: Elaboración propia en Q-GIS 3.18, 2021

Y es así como finalmente se tiene el diseño elaborado como propuesta para optimizar el reciclaje de residuos post consumo de PET en la zona de Villa Ingenio, el tema en sí, es bastante complejo ya que se involucra con aspectos sociales e incluso políticos. Sin embargo, no queda la duda que el sistematizar la recolección puede mejorar los volúmenes recolectados de PET y con ello contribuir al cuidado del medio ambiente.

4.4. RECICLAJE QUIMICO DEL PET PARA PET DE COLOR QUE SE GENERA EN LA ZONA DE VILLA INGENIO

Se realizaron prácticas experimentales en el laboratorio de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, debido a que el equipo de investigación del proyecto consideramos importante explorar otras formas de reciclaje, en este caso el reciclaje químico del PET, que aún se encuentra en investigación en distintas partes del mundo, como opción para reciclar los envases PET de color, los cuales tienen complicaciones para ser reciclados mecánicamente.

El reciclaje químico experimentado en el laboratorio de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica está basado en la hidrólisis alcalina, que es la degradación del PET en un medio básico para luego su posterior acidificación para obtener la materia prima que formó ese residuo de PET, que es el ácido tereftálico y el etilenglicol.

4.4.1. RECICLAJE QUÍMICO POR HIDRÓLISIS ALCALINA.

La hidrólisis es un método de reciclaje que implica una reacción de PET con agua en un ambiente ácido, alcalino o neutro, lo que lleva a la despolimerización total en sus monómeros de ácido tereftálico (PTA) y etilenglicol (EG).

La hidrólisis alcalina es un proceso químico en el que una molécula se divide en dos partes por la adición de una molécula de agua (H_2O) formando una disolución se separan químicamente en sus respectivos Anión (ion de carga negativa) y Cation (ion de carga positiva), un fragmento de la molécula gana un ion hidrógeno (H^+) a partir de la molécula de agua adicional. El otro grupo recoge el grupo hidroxilo restante (OH^-).

Dicho proceso utiliza hidróxido de sodio o hidróxido de potasio como agente activo para descomponer el PET triturado, la mezcla de la reacción se somete a calor hasta que alcance el punto de ebullición, al finalizar se enfría y los residuos son filtrados. El filtro alcalino obtenido es neutralizado con un ácido fuerte como el H_2SO_4 , el producto final se filtra mediante succión y es deshidratado. (Diana Lsr, 2020)

Conociendo el procedimiento del reciclaje químico del PET mediante hidrólisis alcalina, es que el equipo de investigación decide evaluar este tipo de reciclaje como una opción más que podría ser aplicada en un futuro en la ciudad de El Alto. El reciclaje químico por hidrólisis alcalina tiene como objetivo la degradación química del PET para obtener Ácido tereftálico.

4.4.1.1. MATERIALES Y REACTIVOS

A continuación se muestra en la tabla los materiales utilizados para la práctica experimental en laboratorio sobre reciclaje químico del PET por hidrólisis alcalina.

Tabla 4.6 Materiales y Reactivos utilizados para la práctica de laboratorio

MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> - Vaso precipitado de 100 mL - Vidrio reloj - Varilla de vidrio - Matraz Erlenmeyer de 50 mL - Embudo - Probeta de 25 mL - Pipeta graduada - Espátula - Papel filtro - Balanza - Hornilla 	<ul style="list-style-type: none"> - Hidróxido de Sodio - Ácido Sulfúrico al 95% - Tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.4.1.2. PROCEDIMIENTO DEL RECICLAJE QUIMICO PET

Inicialmente se preparó el estudio para diferentes envases de tereftalato de polietileno (PET), diferenciando 4 casos diferentes.

CASO 1: PET al 100%,

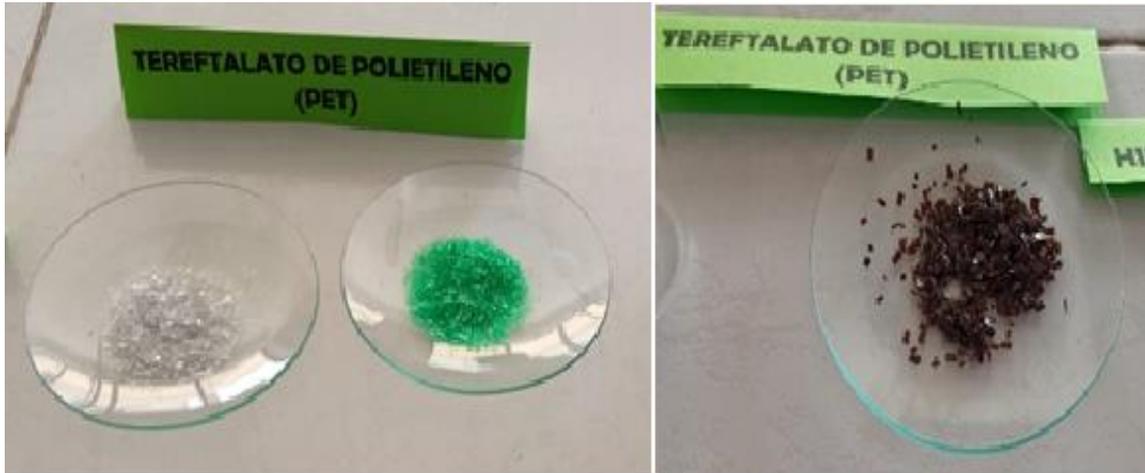
CASO 2: PET al 70% y rPET al 30% (color cristalino)

CASO 3: PET al 70% y rPET al 30% (color verde)

CASO 4: PET al 70% y rPET al 30% (botella ámbar)

Para cada caso el tereftalato de polietileno (PET) fue cortado en pequeños trozos de aproximadamente 2 a 3 mm, para mejorar el proceso el PET debe cortarse lo más pequeño posible.

Figura 4.30 Tereftalato de Polietileno (PET) triturado para el procedimiento de laboratorio



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Luego de haber triturado los envases PET que vayan a ser parte del procedimiento de laboratorio, se procede a pesar 1.9 gramos de Tereftalato de polietileno (PET) de cada caso y 2 gramos de Hidróxido de sodio.

Tabla 4.7 Pesaje del PET triturado y del Hidróxido de sodio a utilizar

Nº de CASO	Tereftalato de Polietileno (PET)	Hidroxido de Sodio (NaOH)
CASO 1		

CASO 2		
CASO 3		
CASO 4		

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Posteriormente luego de pesar el PET triturado y el hidróxido de sodio a utilizar, se agrega el PET y el hidróxido de sodio a un vaso precipitado de 100 mL y se lo mezcla con agua a una cantidad de 40 mL, con agitación constante hasta disolver completamente el hidróxido de sodio.

Figura 4.31 PET triturado e hidróxido de sodio mezclados en un vaso precipitado



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Una vez disuelto el hidróxido de sodio, llevamos la mezcla a la hornilla hasta que alcance el punto de ebullición y llegue a evaporarse. Proceso conocido como Hidrolisis Alcalina.

Figura 4.32 Casos 1, 2, 3 y 4 puestos a la hornilla hasta que la mezcla se evapore.



CASO 1

CASO 2 Y CASO 3

CASO 4

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Una vez la mezcla se evapora, se obtiene una masa, la cual resulta ser una mezcla entre tereftalato de sodio y etilenglicol. Se debe dejar el vaso precipitado enfriando hasta que quede algo similar a un polvo blanco, posteriormente se añade agua para disolver los restos sólidos de la hidrólisis alcalina.

Figura 4.33 Tereftalato de sodio y etilenglicol productos de la hidrólisis alcalina



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Luego se filtra la solución, separando así los residuos de PET que no hayan reaccionado.

Figura 4.34 Filtrado de la solución para retirar los residuos de PET que no hayan reaccionado



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Posteriormente se neutraliza la solución añadiendo gotas de ácido sulfúrico, en una cantidad aproximada a los 2.5 ml al 95%.

Figura 4.35 Neutralización de la solución filtrada con ácido sulfúrico



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Al colocar el ácido sulfúrico a la solución se ve claramente cómo se va precipitando lo que sería el ácido tereftálico, luego de agregar todo el ácido sulfúrico correspondiente se procede a disolver la mezcla obteniendo una solución lechosa que posteriormente hay que filtrar.

Figura 4.36 Filtrado y obtención del ácido tereftálico en los papeles filtro



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 4.37 Acido tereftalico obtenido posterior al filtrado (Caso 1 y Caso 4)



Fuente: Elaboración Propia, 2021

La figura anterior, nos muestra el acido tereftalico obtenido para el Caso 1 y Caso 4, de la evaluacion del reciclaje quimico del PET por hidrolisis alcalina. Para cada caso se obtuvo cierta cantidad en gramos de este acido, para lo cual se procede a calcular el rendimiento de reaccion de cada uno.

4.4.1.3. CÁLCULOS DEL RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN

Se calcula el rendimiento con la siguiente formula:

Ecuación 4.1 *Calculo del rendimiento de la reacción del reciclaje químico*

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Moles de Acido Tereftálico}}{\text{Moles de PET}} * 100$$

Sabiendo que:

Ecuación 4.2 *Calculo de los moles de ácido tereftalico*

$$\text{Moles de Ac. Tereftalico} = \frac{\text{Masa de Ac. Tereftálico (g)}}{\text{Peso molecular de Ac. Tereftálico (g/mol)}}$$

Ecuación 4.3 *Calculo de moles de tereftalato de polietileno*

$$\text{Moles de PET} = \frac{\text{Masa de PET (g)}}{\text{Peso molecular de PET (g/mol)}}$$

Entonces:

Ecuación 4.4 Ecuación general para cálculo de rendimiento de reacción

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\frac{\text{Masa de Acido Tereftálico (g)}}{\text{Pesomolecular de Ac. Tereftálico (g/mol)}}}{\frac{\text{Masa de PET (g)}}{\text{Peso molecular de PET (g/mol)}}} * 100$$

A continuación procedemos a realizar los cálculos de rendimiento para cada uno de los casos evaluados, considerando que el peso molecular del acido tereftalico es 166,13 g/mol y del tereftalato de polietileno es 192 g/mol.

➤ **CASO 1.** PET al 100%**Tabla 4.8** Cantidad de reactivos y productos para el Caso 1

REACTIVO	CANTIDAD
Tereftalato de polietileno (PET)	1.9026 gramos
Hidróxido de sodio	2.0023 gramos
Ácido sulfúrico	2.5 mL
Ácido tereftalico obtenido	0.6918 gramos

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Calculo del rendimiento según la ecuación 4.4

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 1}} = \frac{\frac{0.6918 \text{ g}}{\frac{166.13 \text{ g/mol}}{1.9026 \text{ g}}}}{\frac{192 \text{ g/mol}}{192 \text{ g/mol}}} * 100 = \frac{0.004164}{0.009909} * 100 = 42.02\%$$

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 1}} = 42.02\%$$

➤ **CASO 2.** PET al 70% y PET reciclado al 30% (botella de cristal)**Tabla 4.9** Cantidad de reactivos y productos para el Caso 2

REACTIVO	CANTIDAD
Tereftalato de polietileno (PET)	1.9003 gramos
Hidróxido de sodio	2.0000 gramos
Ácido sulfúrico	2.5 mL
Ácido tereftalico obtenido	0.8150 gramos

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Calculo del rendimiento según la ecuación 4.4

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 2}} = \frac{\frac{0.8150 \text{ g}}{166.13 \text{ g/mol}}}{\frac{1.9003 \text{ g}}{192 \text{ g/mol}}} * 100 = \frac{0.004906}{0.009897} * 100 = 49.57\%$$

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 2}} = 49.57\%$$

- **CASO 3.** PET al 70% y PET reciclado al 30% (botella color verde)

Tabla 4.10 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 3

REACTIVO	CANTIDAD
Tereftalato de polietileno (PET)	1.9000 gramos
Hidróxido de sodio	2.0050 gramos
Ácido sulfúrico	2.5 mL
Ácido tereftálico obtenido	0.910 gramos

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Calculo del rendimiento según la ecuación 4.4

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 3}} = \frac{\frac{0.910 \text{ g}}{166.13 \text{ g/mol}}}{\frac{1.9000 \text{ g}}{192 \text{ g/mol}}} * 100 = \frac{0.005478}{0.009896} * 100 = 55.36\%$$

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 3}} = 55.36\%$$

- **CASO 4.** PET al 70% y PET reciclado al 30% (botella ámbar)

Tabla 4.11 Cantidad de reactivos y productos para el Caso 4

REACTIVO	CANTIDAD
Tereftalato de polietileno (PET)	1.9 gramos
Hidróxido de sodio	2.0015 gramos
Ácido sulfúrico	2.5 mL
Ácido tereftálico obtenido	0.5260 gramos

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Calculo del rendimiento según la ecuación 4.4

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 4}} = \frac{\frac{0.5260 \text{ g}}{\frac{166.13 \text{ g/mol}}{1.9069 \text{ g}}} * 100}{192 \text{ g/mol}} = \frac{0.003166}{0.009932} * 100 = 31.88\%$$

$$\text{Rendimiento}(\%)_{\text{CASO 4}} = 31.88\%$$

4.4.1.4. OBSERVACIONES DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTADA

Recopilando los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.12 Casos de reciclaje químico y sus respectivos rendimientos (%)

# CASO	ENVASE PET	RENDIMIENTO (%)
CASO #1	TRANSPARENTE	42.02%
CASO #2	TRANSPARENTE	49.57%
CASO #3	VERDE	55.36%
CASO#4	AMBAR	31.88%

Fuente: Elaboración Propia, 2021

En el caso 1 y caso 2, se experimenta con envases PET transparentes, para que sirvan de referencia en relación al rendimiento de obtención del ácido tereftálico en comparación con los envases PET de color.

El ácido tereftálico obtenido en el caso 1 y caso 2 tiene un rendimiento menor al 50%, ya que se tuvo problemas con el manejo de la temperatura en la etapa de despolimerización en medio básico en el caso 1 y algunas pérdidas en la etapa de filtración al vacío del producto en el caso 2.

En el caso 3, se observó que el PET al 70% y rPET al 30% (botella color verde) toma más tiempo en reaccionar obteniendo un rendimiento más alto que los demás casos. El rendimiento obtenido es de 55%, un valor bastante cercano al caso 2, por lo cual se podría concluir que el reciclaje químico de la botella verde translúcida puede darnos resultados similares a los resultados de recuperación de ácido tereftálico de un envase transparente de PET.

Es importante realizar la filtración para eliminar las impurezas y mejor si se repite el proceso para tener una solución más limpia y pura. Sin embargo en el caso 4, se observa que a pesar de efectuar más de una filtración, la solución no pierde su coloración tal como pasa con la botella verde del caso 3. Por consiguiente, el ácido tereftálico obtenido de esta botella ámbar, fue de color distinto al blanco, lo cual significa que el proceso posterior de purificación de este ácido tereftálico obtenido tendría que considerar otras etapas para remover esta coloración.

4.4.1.5. CONCLUSIONES DE LA PRACTICA SOBRE RECICLAJE QUIMICO

Solo uno de los resultados de rendimiento de la práctica experimental de reciclaje químico del PET supero el 50%, el caso de la botella verde. Sin embargo se hace notar que los rendimientos de reciclaje químico de botellas transparentes también pudieron alcanzar porcentajes similares, si no fuera por el manejo variante de la temperatura en la etapa de despolimerización en medio básico en el caso 1 y algunas perdidas en la etapa de filtración al vacío del producto en el caso 2.

En el proceso de hidrolisis alcalina del PET es fundamental realizar el proceso de filtración con abundante agua para no perder nada del producto final y también con la finalidad de remover las impurezas presentes en la solución.

Se concluye que la mejor degradación fue de PET al 70% y PET reciclado al 30% (botella color verde) considerando las variables como la dosificación en gramos, tiempo de reacción y el rendimiento obtenido en dicho experimento. Demostrando de esta forma que las botellas de color translúcidas (verde o azul) pueden tratarse mediante reciclaje químico obteniendo resultados similares a los que se puede obtener con los envases transparentes de PET.

En el caso de la botella ámbar, se concluye que esta botella de color no tiene un buen rendimiento de recuperación de ácido tereftálico, siendo el menor de los casos estudiados, además de que el producto obtenido tiene una coloración ligeramente verdosa, lo cual implica que en un futuro proceso de purificación del ácido tereftálico, se tiene que considerar otras etapas para remover esta coloración.

La investigación realizada nos permite demostrar que a partir del reciclaje químico del PET podemos obtener productos como ácido tereftálico, el cual puede ser utilizado tanto como para producir nuevamente resina PET virgen y por consiguiente obtener diferentes envases PET, así como en la industria farmacéutica.

Figura 4.38 Sesiones de trabajo en el laboratorio de IGP



Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.5. PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA

Teniendo en cuenta que el tema del reciclaje, tiene distintos tintes temáticos, entre ellos el aspecto social y ambiental, es que en el mes de Mayo del 2021, se firmó un convenio con la Red Internacional de Promotores ODS Bolivia, el cual tiene como principal objetivo establecer el compromiso de una permanente y mutua coordinación entre el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto y RIPO Bolivia con el propósito de realizar actividades de promoción e implementación de los Objetivos 8, 11 y 12 de Desarrollo Sostenible en el marco de la Agenda 2030. Y de esta forma apoyar al proyecto denominado “SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA VILLA INGENIO.

En base a los resultados obtenidos en la encuesta virtual es que se procura organizar y planificar un evento de difusión de cultura de reciclaje, además de ser una forma de efectivizar el apoyo acordado entre la RIPO Bolivia y el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica.

El evento organizado y planificado por el equipo de investigación no estuvo enfocado solo a los habitantes de la zona de Villa Ingenio, sino que tal como se procura de parte de las Naciones Unidas, este tipo de información debe llegar a la mayor cantidad de personas, de distintas edades, estratos sociales, profesiones, ocupaciones, etc. Es por ello que se vio por conveniente organizar un congreso relacionado a la problemática de PET en Latinoamérica, como una forma de concientizar y de visibilizar los esfuerzos de voluntarios y organizaciones con respecto a una mejor disposición de los residuos sólidos, en especial plásticos. Y con ello de esta forma promover el conocimiento de conceptos como economía circular y desarrollo sostenible. Se definió que el nombre del congreso sea: “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”

La realización de este evento se puede dividir en dos etapas importantes, las cuales son detalladas a continuación:

4.5.1. PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL “1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMÉRICA”.

Gracias al apoyo de la Red Internacional de Promotores ODS, y tras una serie de reuniones con el Coordinador Nacional de la Red Internacional de Promotores ODS Bolivia, el Lic. Favio Valencia, es que se logró concretar fechas, ponentes y demás cuestiones logísticas para un evento internacional.

Se pudo realizar la invitación de ponentes internacionales provenientes de países como Argentina, México, Perú y Venezuela, expertos relacionados al reciclaje de PET en sus respectivos países, además de la participación del equipo de investigación en representación de Bolivia. En la siguiente figura se muestra el afiche difundido en redes sociales del evento.

Figura 4.39 Arte del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”



Fuente: Equipo del Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica, 2021.

Obtenido de

<https://www.facebook.com/107533957684534/photos/a.140472821057314/328447935593134/>

Tal como muestra la figura anterior, los ponentes para el evento pertenecían a diversos países de Latinoamérica:

✓ Irene Eberhardt Asto (Perú)

- ✓ María de los Ángeles Cervantes Rosas (México)
- ✓ Alejandra Pastor (Argentina)
- ✓ Mixzaida Yalitza Peña Zerpa (Venezuela)
- ✓ Leonardo Rothpflug (Argentina)
- ✓ Steffi Usquiano, Leydi Quispe y Raquel Siñani (Bolivia)

La difusión del evento fue realizada por las redes sociales pertenecientes al Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica, recibiendo una importante cantidad de inscritos en el formulario google habilitado para ese propósito.

Figura 4.40 Formulario de Inscripción al “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”



Preguntas Respuestas 598

1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE EL RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA
FORMULARIO DE INSCRIPCION

Red Internacional Promotores ODS Bolivia

INSCRIPCIÓN AL CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE EL RECICLAJE DE PET EN LATINOAMÉRICA

Evento Internacional a realizarse el Sábado 24 de Julio en el horario:

- PERÚ/MEXICO: 14:00 (GMT-5)
- BOLIVIA/VENEZUELA: 15:00 (GMT-4)
- ARGENTINA: 16:00 (GMT-3)

bajo la organización del Instituto de Investigaciones de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Publica de El Alto y la Red Internacional de Promotores ODS Bolivia.

Fuente: Elaboración del propia, 2021

Como se puede observar en la imagen la cantidad de inscritos estuvo cerca de los 600 asistentes, de igual forma se habilito un grupo de Telegram, para que los inscritos reciban por ese medio la invitación al evento que iba a realizarse mediante la plataforma ZOOM.

Días antes del evento se envió por medio de las redes sociales el cronograma correspondiente al congreso internacional indicando el orden de los ponentes y de todas las intervenciones en el evento.

Figura 4.41 Cronograma del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”



Fuente: Elaboración del propia, 2021

Al finalizar el evento, los participantes debían llenar un formulario de registro para hacerse acreedores de un certificado digital con valor curricular. El formulario de google forms destinado para ello recibió al menos 198 respuestas.

Figura 4.42 Formulario de registro del 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica difundido en redes sociales al final del evento.



Preguntas Respuestas 198 Total de puntos: 100

1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE EL RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA
FORMULARIO DE REGISTRO

Red Internacional Promotores ODS Bolivia

Sección 1 de 3

REGISTRO DE PARTICIPACIÓN AL CONGRESO INTERNACIONAL

Llene los espacios requeridos para corroborar el aprovechamiento de las charlas impartidas en el congreso internacional y así recibir en los siguientes días su certificado digital gratuito al correo electrónico que nos proporcione.

Fuente: Elaboración del propia, 2021

Todos aquellos que llenaron el formulario de registro, demostrando haber prestado atención a lo expuesto se hicieron acreedores de un certificado digital diseñado por el equipo de investigación y con las firmas de los representantes de ambas instituciones organizadoras, además de un código QR de seguridad, el cual fue enviado a sus correos.

Figura 4.43 Certificado de Participación al 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica



Fuente: Elaboración del propia, 2021

De igual manera a los ponentes internacionales, el personal de apoyo de RIPO Bolivia, así como al equipo de organización de parte del Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica, fueron acreedores de un certificado especial de reconocimiento por hacer posible que el 1er congreso internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica se llevara a cabo con mucho éxito.

Figura 4.44 Certificado de Reconocimiento otorgado a los ponentes y al equipo de organización y apoyo para el 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica



Fuente: Elaboración del propia, 2021

Los ponentes se vieron muy contentos de recibir dichos reconocimientos, publicándolos incluso en sus propias redes sociales.

La planificación y organización del evento "1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica", estuvo a cargo de todo el equipo que conforma el presente trabajo de investigación y el apoyo de personal de RIPO Bolivia.

4.5.2. EJECUCIÓN DEL EVENTO Y PARTICIPACIÓN COMO PONENTES EN EL EVENTO "1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA"

El evento de “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica” comenzó tal como estaba estipulado, a las 15:00 (hora boliviana) con la presencia y participación de todos los ponentes.

Figura 4.45 Transmisión del evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica” realizada mediante ZOOM



The screenshot shows a Zoom meeting interface. At the top, it says "Zoom Reunión" and "Usted está viendo la pantalla de María Alejandra Pastor". Below this, there are video thumbnails for participants: Victor Pariaguá..., Instituto de Invest..., María Alejandra..., Cervantes Ro..., and Jose Luis Dor... The main content is a presentation slide with a circular diagram of the PET recycling process. The diagram includes stages: "Reducción y separación en origen", "Recolección diferenciada", "Reciclado", "Compost", "Disposición final", "Planta de tratamiento", "Recursos naturales", and "Industria". Text on the slide reads: "Es fundamental que los gobiernos cumplan sus compromisos, encuentren y acompañen a todos los actores de la sociedad a alcanzar las metas y objetivos de los ODS. Todo el mundo tiene que hacer bien su parte, encarar YA la transición a energías renovables y producciones sostenibles, regenerativas!, JUNTOS los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y personas por el buen vivir y el bien común. ...porque no hay tiempo declaraciones". To the right, a chat window is open with messages from Lucas @reciplas_argentina. The Zoom control bar at the bottom includes options like "Cancelar silenciar ahora", "Iniciar video", "Seguridad", "Participantes", "Chat", "Compartir pantalla", "Grabar", "Reacciones", "Más", and "Finalizar".

Fuente: Elaboración del propia, 2021

Tal como se muestra en la figura, durante el desarrollo del evento, los participantes interactuaron en el chat de ZOOM, debatiendo temas que se mencionaban en las exposiciones, haciendo de éste un evento muy enriquecedor para todas las partes involucradas.

En representación de Bolivia, el equipo de investigación integrado por mi persona y las auxiliares de investigación, participamos en calidad de ponentes, presentando la temática de “Reciclaje en Bolivia”. Debido al tiempo para cada intervención, se realizó la presentación del tema de manera concisa, mostrando estadísticas sobre la gestión de residuos sólidos en nuestro país.

Figura 4.46 Presentación de parte del equipo de investigación en el 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica



Fuente: Elaboración del propia, 2021

4.5.3. EVALUACIÓN DEL EVENTO “1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA”

El 1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica tuvo como principal objetivo visibilizar las distintas realidades sobre el reciclaje de PET en algunos países de Latinoamérica, y de alguna forma motivar a los asistentes al evento a formar parte del cambio en pro del medio ambiente. También se tocaron temas relacionados a problemas sociales y de normativa faltante sobre el tratamiento adecuado de residuos sólidos en diversos países.

Por esta razón es importante evaluar la llegada que tuvo el evento a la sociedad y para ello se recopila la siguiente información, al ser un evento realizado en la plataforma **ZOOM** y transmitido en directo por medio de Facebook Live en la página **Igp Petro**, esto nos permitió obtener las siguientes métricas sobre la cantidad de asistentes y visualizaciones.

Tabla 4.13 Métricas de visualizaciones del “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica

Nombre Evento	Fecha de exposición	Cantidad de Asistentes en ZOOM	Cantidad de visualizaciones en Facebook live	TOTAL VISTAS
1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica	24/07/2021	182	162	344

Fuente: Elaboración del propia en base a información recopilada, 2021

Tal como se muestran en tabla anterior, el evento tuvo llegada a al menos 344 personas, en ambas plataformas. Para evaluar el alcance del evento de manera porcentual, se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 4.5 *Calculo del porcentaje de personas que vieron el evento*

$$\% \text{Personas que vieron el evento} = \frac{\text{Personas que vieron el evento}}{\text{Personas inscritas}} * 100\%$$

Aplicando la ecuación anterior, y teniendo en cuenta que fueron 598 personas las que se inscribieron al evento, se tiene:

$$\% \text{Personas que vieron el evento} = \frac{344}{598} * 100\%$$

$$\% \text{Personas que vieron el evento} = 57.52\%$$

El resultado obtenido nos indica que el 57.52% de los participantes inscritos visualizo el evento organizado por el equipo de investigación, lo cual representa que en líneas generales representa un nivel de llegada aceptable, teniendo en cuenta los antecedentes de anteriores eventos organizados por el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica.

Para evaluar el aprovechamiento del evento, tomaremos en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 4.6 *Calculo del porcentaje de personas que aprovecharon el evento*

$$\% \text{Personas asimilaron el evento} = \frac{\text{Personas que llenaron el formulario de registro}}{\text{Personas inscritas}} * 100\%$$

Al final del evento se hizo circular un formulario de registro, el cual contenía preguntas relacionadas al evento. Este formulario recibió 198 respuestas con buenos resultados de evaluación de parte de los participantes. En base a esto se aplica la anterior ecuación, teniendo:

$$\% \text{Personas asimilaron el evento} = \frac{198}{598} * 100\%$$

$$\% \text{Personas asimilaron el evento} = 33.11\%$$

El resultado obtenido nos indica que el 33.11% de los participantes inscritos demostró que aprovecho lo expuesto en el evento organizado por el equipo de investigación. Esto demuestra que un solo evento no es suficiente para que hacer que las personas que están interesadas en el reciclaje, realmente capten el mensaje, sin embargo tampoco es un mal resultado teniendo en cuenta que se tuvo participantes incluso de otros países.

4.5.4. CONCLUSIONES DEL 1ER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAJE DE PET EN LATINOAMERICA

El evento “1er Congreso Internacional sobre reciclaje de PET en Latinoamérica”, complementa el trabajo de investigación, ya que luego de los resultados obtenidos en la encuesta virtual, se concluyó que era necesario promover la cultura del reciclaje, es por ello que la realización del evento pudo socializar aspectos importantes sobre la cultura del reciclaje de PET, además de evidenciar una realidad latente no solamente en nuestro país, sino en varios países de la región sobre la mala disposición de los residuos sólidos en Latinoamérica y que esto afecta al medio ambiente y sobre todo al desarrollo sostenible de las sociedades.

4.6. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.

En el primer capítulo del presente trabajo de investigación, se identificó diversos problemas que trae la mala disposición del PET. Sin embargo, estos impactos no son los únicos.

A continuación, mediante la matriz de evaluación de impactos y teniendo en cuenta los impactos ambientales más relevantes en actividades como la disposición, clasificación y separación, manejo adecuado, almacenamiento, recolección y transporte de residuos post consumo de PET en la zona de Villa Ingenio, se representa el grado de impactos negativos y positivos que tiene cada actividad mencionada en el medio físico, medio biótico y medio humano en la actualidad.

Se utilizó la siguiente escala de medición por colores, para determinar si el impacto es negativamente alto, intermedio, bajo o por si lo contrario se trata de un impacto positivo.

Tabla 4.14 Escala de medición del impacto de las actividades relacionadas al tratamiento de residuos PET en la zona de Villa Ingenio

	IMPACTO NEGATIVO ALTO
	IMPACTO NEGATIVO INTERMEDIO
	IMPACTO NEGATIVO BAJO
	IMPACTO POSITIVO
	NO APLICA

Fuente: Elaboración propia, 2021

Se obtiene la siguiente matriz de evaluación de impactos en cada actividad involucrada en el tratamiento de los residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Figura 4.47 Matriz básica de Impactos ambientales relacionados al tratamiento de los residuos PET en la zona de Villa ingenio

FACTORES AMBIENTALES	MEDIO FISICO			MEDIO BIOTICO				MEDIO HUMANO														
	TIERRA		AGUA	FLORA		FAUNA		INTERES HUMANO		CULTURAL		INFRA-ESTRUCTURA										
	CONTAMINACION	SUELOS	PERDIDA DE VALOR	SUPERFICIAL	SUBTERRANEAS	CALIDAD	ARBOLLES	HIERVAS	MICROFLORA	AVES	ANIMALES TERRESTRES	INSECTOS	NATURALEZA	PAISAJES	LUGARES HISTORICO	ESTILO DE VIDA	EMPLEO	SALUD	RED DE TRANSPORTE	DISPOSICION DE RESIDUOS	ESTRUCTURAS	
ACTIVIDADES																						
DISPOSICION DE LOS RESIDUOS	Red	Verde		Verde		Verde	Verde	Verde	Verde			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
CLASIFICACION Y SEPARACION	Verde	Verde											Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
RECOLECCION Y TRANSPORTE																Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
ALMACENAMIENTO	Verde	Verde													Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Fuente: Elaboración propia, 2021

Por ejemplo en las actividades de disposición, separación, clasificación y almacenamiento, es en donde se presenta la contaminación del aire por los malos olores, contaminación del agua, contaminación visual y el riesgo de generación de enfermedades.

Sin embargo estos impactos negativos se pueden minimizar, practicas efectivas que permitan clasificar los residuos de envases de tereftalato de polietileno (PET) para un mejor aprovechamiento, transformación y tratamiento en el con el fin de reducir el volumen de los residuos de envases PET que son llevados al relleno sanitario. En la siguiente tabla se presenta un análisis de significancia de los impactos identificados, donde se precisa la actividad que genera los impactos en el tratamiento de los residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio.

Tabla 4.15 Análisis de las actividades involucradas en el tratamiento de residuos PET y sus impactos

ACTIVIDAD	ANÁLISIS DE IMPACTOS
DISPOSICION DE RESIDUOS DE PET	Claramente la disposición de este tipo de residuos genera contaminación visual, de suelos, también de fuentes de agua cuando es desechado en ríos adyacentes, afectando su calidad. Si bien la zona de Villa Ingenio por sus condiciones climáticas no produce en sus suelos demasiada vegetación, la contaminación de suelos dificulta aún más la generación de áreas verdes. En aspectos de salud, a comparación de otras regiones de nuestro país, sobre todo aquellas con temperaturas más cálidas, donde hay más probabilidades de que los residuos post consumo de PET coadyuven a la generación de vectores que produzcan enfermedades como la chikinguña, dengue hemorrágico y otras. La zona de Villa Ingenio al encontrarse en la región altiplánica no se ve expuesta a esta situación, sin embargo los vectores que pueden producirse por una mala disposición de este tipo de residuos es cuando estos son mezclados con otro tipo de residuos como materia orgánica, generando malos olores y la proliferación de insectos que pueden estar en contacto con alimentos y así producir enfermedades de tipo estomacal en niños y adultos.
CLASIFICACION Y SEPARACION DE RESIDUOS PET	La clasificación y separación de este tipo de residuos es beneficioso, sin embargo el manejo evidenciado durante las entrevistas a los encargados de puntos de acopio no es el adecuado. Siendo solo amontonados y clasificados en sus viviendas o a afueras de ellas, dando lugar de igual manera a la contaminación. Sin embargo esta actividad a pesar de esto es una fuente de empleo para varias personas recolectoras de la zona.
RECOLECCION Y TRANSPORTE DE RESIDUOS PET	La zona de Villa Ingenio no cuenta con un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno. Esta actividad se da pero no de forma sistematizada, sino de manera precaria por algunos que se dedican al negocio del reciclaje. A pesar de todos los inconvenientes que se tienen, es una fuente de empleo que genera algunos recursos para habitantes de la zona y mejora de alguna forma su calidad de vida.
ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS PET	En la zona de Villa Ingenio se identificó al menos 5 puntos de reciclaje, que en realidad son las mismas viviendas de los recolectores. En su mayoría el área que sirve para almacenamiento de este tipo de residuos no es suficiente dentro de estas viviendas, terminando siendo expuestas en la acera de calles adyacentes. A pesar de ello esto, luego de almacenar cierta cantidad de residuos post consumo, estos son vendidos a empresas de reciclaje de PET que operan en otras zonas de la ciudad de El Alto.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Luego de haber realizado el análisis de los impactos ambientales y actividades relacionadas al tratamiento que se da a los residuos post consumo de PET en la zona de Villa Ingenio, se recuerda la hipótesis de este proyecto de investigación. La hipótesis inicial se planteó de la siguiente manera:

***Hi:** El diseño de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno para la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto, se involucra positivamente con el modelo de desarrollo sustentable y genera oportunidades e impactos socio económicos y ambientales favorables para los habitantes de la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto.*

De acuerdo al análisis de los impactos ambientales, se evidencia que la actividad de **Recolección y Transporte** de residuos post consumo de PET en la zona de Villa Ingenio no se da de manera sistemática, dando lugar a impactos mayormente negativos para la zona y sus habitantes, por lo tanto, el diseño de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio sería una alternativa que se apoya en uno de los principios del desarrollo sustentable que se basa en la conservación del equilibrio ecológico sin dejar de lado el progreso material.

El tereftalato de polietileno o PET como se lo conoce comúnmente, es un material que no dejara de formar parte de la vida del ser humano y se seguirá produciendo para la producción de diversos productos que se utilizan en el diario vivir, es por ello que es necesario tener un mejor tratamiento de este tipo de residuos, y así poder fomentar su reingreso a la economía mediante el reciclaje, cuidando del medio ambiente.

La sistematización de la Recolección y Transporte de residuos post consumo de PET, además de coadyuvar a un mejor tratamiento de este residuo, también genera oportunidades para los habitantes de la zona que se dediquen a esta actividad, y así obtener mayores recursos y con ello mejorar su calidad de vida.

Por las razones anteriormente explicadas es que podemos dar validez a la hipótesis planteada en el primer capítulo del presente proyecto de investigación.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de reciclaje a partir de residuos post-consumo de tereftalato de polietileno (PET) en la Zona de Villa Ingenio para facilitar su posterior procesamiento en plantas recicladoras de la ciudad de El Alto, utilizando el software de sistema de información geográfica Q-GIS. El sistema de reciclaje está conformado por 14 puntos de recolección, de los cuales 9 son propuestos y 5 son puntos de reciclaje de PET ya existentes en la zona de Villa Ingenio. Además se han diseñado dos trayectorias que unen estratégicamente los puntos de reciclaje elegidos. Véase ANEXO 5
- Se revisó el estado del arte referente al tereftalato de polietileno en sus formas de reciclaje y la gestión de su disposición en Bolivia, con énfasis en la ciudad de El Alto y aún más en la zona de Villa Ingenio, sabiendo que del 100% de los residuos reciclables, solo el 8% es lo que en realidad se recicla. Además se evidencia la existencia de normativa correspondiente para una mejor gestión de residuos sólidos en nuestro país, como la Ley 755, la cual indica que el manejo y tratamiento de los mismos es competencia de los gobiernos municipales en el país.
- Se delimito el área de estudio que involucra la conocida zona de Villa Ingenio que se encuentra en el Distrito 5 de la ciudad de El Alto. En el distrito 5 se encuentran 8 urbanizaciones que cuentan con la denominación de Ingenio en sus nombres, es por ello que se delimito y vio por conveniente tomar 7 de las urbanizaciones como el campo de estudio ya que la urbanización denominada El Ingenio distrito 2 Unidad 4, está considerablemente aislada de las demás.
- Se realizó un estudio de la percepción de los habitantes y/o personas que desarrollan sus actividades económicas o académicas en la zona de Villa Ingenio sobre la cultura del reciclaje. Se concluye que los habitantes de la zona de Villa Ingenio en forma general les gustaría ser partícipes de actividades que cuiden el medio ambiente, pero a la vez aceptan que la cultura del reciclaje no es un hábito que forma parte de sus vidas ni de su

entorno. Lo que puede motivarlos aún más a reciclar, sería poder contar con puntos de recolección de residuos post consumo de tereftalato de polietileno cerca a su hogar. También se estudió a las partes involucradas en un sistema de reciclaje, entre ellas principalmente, los encargados de puntos de acopio así como recolectores. Se realizaron entrevistas que permitieron palpar la realidad del negocio del reciclaje en la zona de Villa Ingenio, concluyendo que hacen falta aún más incentivos para que las personas separen y reciclen sus residuos post consumo. En cada punto de recolección identificado se recolecta aproximadamente 900Kg por mes de residuos de PET, cantidad que no es fija y es razón para que los acopiadores se dediquen a recolectar diversos tipos de residuos reciclables.

- Se elaboró un sistema de reciclaje con puntos y trayectorias tentativas de recolección de residuos de tereftalato de polietileno en la zona de Villa Ingenio. Dichos puntos y trayectorias tentativas ayudaron a definir los 14 puntos y 2 trayectorias definitivas propuestas en el presente trabajo. De igual manera para plasmar este sistema de reciclaje con puntos y trayectorias tentativas se utilizó el programa de sistema de información geográfica Q-GIS.
- Se desarrolló la práctica en laboratorio del reciclaje químico del PET como opción para reciclar los envases PET de color que se generen en Villa Ingenio. Concluyendo que la mejor recuperación del ácido tereftálico fue del PET al 70% y PET reciclado al 30% (botella color verde) demostrando de esta forma que las botellas de color translúcidas (verde o azul) pueden tratarse mediante reciclaje químico obteniendo resultados similares a los que se puede obtener con los envases transparentes de PET. Pero en el caso de la botella ámbar, se concluye que esta botella de color no tiene un buen rendimiento de recuperación de ácido tereftálico, siendo el menor de los casos estudiados, además de que el producto obtenido tiene una coloración ligeramente verdosa, lo cual implica que en un futuro proceso de purificación del ácido tereftálico, se tiene que considerar otras etapas para remover esta coloración.

- Se promovió y organizó un congreso internacional denominado “1er Congreso Internacional sobre el reciclaje de PET en Latinoamérica” con participación de personas de diversas edades y nacionalidades. Los ponentes del evento pertenecían a diversos países de Latinoamérica, quienes brindaron información valiosa para socializar la importancia del reciclaje de tereftalato de polietileno en la región. En este importante evento el equipo de investigación participó en la organización así como en la ponencia de la situación del país referente al tema en representación de Bolivia.
- Tras los análisis realizados en base a información recopilada se validó la hipótesis planteada en el primer capítulo, demostrando que el diseño de un sistema de reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno para la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto, se involucra positivamente con el modelo de desarrollo sustentable y genera oportunidades e impactos socio económicos y ambientales favorables para los habitantes de la zona de Villa Ingenio de la ciudad de El Alto.

CAPITULO 6. RECOMENDACIONES

- El reciclaje de residuos post consumo de tereftalato de polietileno es un tópico con varias aristas y que puede estudiarse desde diversos ángulos, ya que involucra aspectos sociales importantes como la concientización de la sociedad con respecto a cómo deshecha su basura. Es por ello que se recomienda un trabajo constante en lo relacionado a concientización sobre el reciclaje, campañas de promoción de reciclaje promovidos por autoridades del gobierno y alcaldía.
- El reciclaje químico del PET, es aún un área en constante investigación. La carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica no puede quedar aislada de este tipo de investigaciones, por lo que se recomienda investigar más sobre este tópico que sería una opción, incluso más efectiva, al típico reciclaje mecánico de envases PET.
- En el proceso de hidrolisis alcalina del PET aplicado en laboratorio en el presente trabajo de investigación, es importante evaluar cómo se puede purificar el ácido tereftálico obtenido para complementar así el ciclo del reciclaje y que los productos obtenidos puedan ser materia prima en óptimas condiciones para un nuevo proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Caceres, O., Prado Zanini, I., & Moreno Velasco, C. (2014). *Gestión de residuos sólidos urbanos con inclusión de recolectores en Bolivia, su vinculación con el sector público*. Santa Cruz, Bolivia.
- Bellis, M. (2020). The history of plastic. *About money*. Obtenido de <https://www.thoughtco.com/history-of-plastics-1992322>
- Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los Polimeros*. Barcelona: Reverte.
- Blanco, M. (2006). *Principales Polimeros Comerciales*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Briceño, V. (2018). *Hdrolisis*. Obtenido de <https://www.euston96.com/hidrolisis/>
- Centro de estudios y experimentacion de obras publicas (CEDEX). (Diciembre de 2013). *Reciclaje mecánico*. Obtenido de Residuos Plásticos - Catálogo de residuos utilizables en construcción: www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/249/reciclaje-mecanico.html
- Centro de estudios y experimentacion de Obras Publicas (CEDEX). (Diciembre de 2013). *Reciclaje químico*. Obtenido de Residuos plásticos - Catálogo de residuos utilizables en construcción: www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html
- Centro de noticias de la ONU. (25 de Septiembre de 2015). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Chipana, R. Q. (14 de Mayo de 2017). *El Alto BO*. Obtenido de El Alto BO: <https://elaltobo.com/el-alto-poblacion-total-y-por-districtos/>

- Chuquimia, L. (7 de Abril de 2019). Reciclar botellas PET, una forma sustentable de hacer negocios. *Pagina Siete*.
- Constitucion Politica del Estado Plurinacional de Bolivia (CONS.). (2009). *Articulo 302*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Cuevas, A. (29 de Junio de 2014). La Paz abre las primeras plantas de seleccion y reciclaje de basura. *Pagina Siete*.
- Decreto Supremo 2954. (2016). *Reglamento general de la Ley n° 755, de 28 de Octubre de 2015, de Gestión Integral de Residuos*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Decreto Supremo N° 2887. (2016). *Articulo I*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Diana Lsr. (2020). *La academia*. Obtenido de https://www.academia.edu/36409651/Polietilen_Tereftalato_PET
- Estévez, R. (16 de Noviembre de 2010). *Eco Inteligencia*. Obtenido de Eco Inteligencia: <https://www.ecointeligencia.com/2010/11/cuando-el-plastico-se-convierte-en-energia/>
- Franco Urquiz, E., Ferrando, H., & MasPOCH, D. (2015). *Reciclado mecánico de residuos plásticos. Caso práctico : Poliestireno de alto impacto para la fabricación de componentes de TV*. Artículo científico, Catedrático CONACyT; Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial; Centre Català del Plàstic, Universitat Politècnica de Catalunya., Queretaro, Mexico; Terrassa, España.
- Fundacion PAP. (Mayo de 2012). *Estudio de Mercado de Residuos Solidos Reciclables en Bolivia*. Obtenido de <http://www.pasocierto.com.br/assets/dd7-p3-mercado.reciclaje.bolivia.-fundación-pap.pdf>
<http://www.pasocierto.com.br/assets/dd7-p3-mercado.reciclaje.bolivia.-fundación-pap.pdf>

- Instituto Mexicano de Plástico Industrial. (2000). *Enciclopedia del plástico Tomo II*. Mexico D.F.: I.M.P.I.
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Base de datos Censo de población y vivienda 2012*. Bolivia.
- Instituto Nacional de Estadística. (5 de Junio de 2017). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/index.php/residuos-solidos-en-ciudades-capitales-y-el-alto-llego-a-mas-de-un-millon-de-toneladas/>
- Korzeniowski, A. S. (1996). *Packaging in Logistic systems, Instytut Logistyki i Magazynowania*. Poznan, Polish.
- Kotiba, H., Mosab, K., & Fawa, D. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Science Direct*, 2801-2812.
- Ley de Gestión Integral de Residuos. (2015). *LEY N° 755*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Ley de Medio Ambiente. (1992). *LEY N° 1333*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien. (2012). *Ley N° 300*. Gaceta Oficial de Bolivia.
- Massarutto, A. C. (2008). *Economic Analysis of Waste Management Systems in Europe, in Sustainable Development and Environmental Management Experiences and Case Studies*. Netherlands: Springer Netherlands, pp. 171-186.
- Mendez Prieto, A. (01 de 09 de 2020). *Plastic Technology*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-quimico-una-reflexion-tecnica-sobre-la-depolimerizacion-del-pet->
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2012). *Guía de educación ambiental en la gestión integral de residuos sólidos*. .

- Morales Salgueiro, J. H. (2014). *Diseño de una maquina extrusora de plásticos PET*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Patzi Canaza, G. (2015). *Estudio de un Proceso tecnológico para el reciclaje de botellas PET*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Perdigon, Y. (2010). *Tipos de Reciclaje - Todo lo que debe saber*. Obtenido de Infinita Naturaleza: <https://infinitanaturaleza.com/medio-ambiente/tipos-de-reciclaje/>
- Plastivida Argentina. (2009). *Recuperacion Energetica de los Residuos Plasticos*. Buenos Aires: Centro de Informacion Tecnica - CIT.
- Sanchez Gallo, E. (2015). *Estudio de factibilidad de una empresa de elaboracion de pellets a partir de plastico reciclado*. Guayaquil, Ecuador.
- Shackerlford, J. F. (2011). *Introduccion a la Ciencia de los Materiales para la Ingenieria*. Madrid: Pearson-Prentice Hall.
- Swiss Contact. (2008). *Estudio de gestión de residuos sólidos reciclables, para la ciudad de La Paz*. Cochabamba, Bolivia.
- Tarqui Zabala, N. (2014). *Modelo de planta recicladora de botellas PET ciudad de El Alto*. La Paz.
- Tecnologia de Plasticos. (6 de Julio de 2011). *Tecnologia de Plasticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>
- Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2011). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*.
- Yustos, L. H. (2008). *Aplicacion de nuevas tecnologias en la realizacion de herramientas para moldes de inyeccion de termoplasticos*. Madrid.

ANEXOS

ANEXO 1

REGISTRO SENAPI



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3162/2021
La Paz, 30 de Noviembre del 2021**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **25 de Noviembre del 2021**, por **ELMA ROCIO CORDOVA QUISPE**, con C.I. N° **4287743 LP**, con número de trámite **DA 1385/2021**, señala la pretensión de inscripción de la Compilación titulada: "**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2021 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA**", conformada por las Obras Escritas: "**OBTENCION DE BIOPLASTICO DE FACIL DEGRADACION A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS**" y "**SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO**", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "*Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración*".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "*Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión*". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "*la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios*".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "*...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial*".



Oficina Central - La Paz
Av. Argentina, N° 1914,
Edif. Angélica María, entre
Villalobos y Díaz Romero,
zona Miraflores.
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noreste.
Telfs.: 4144403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 3560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos, sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

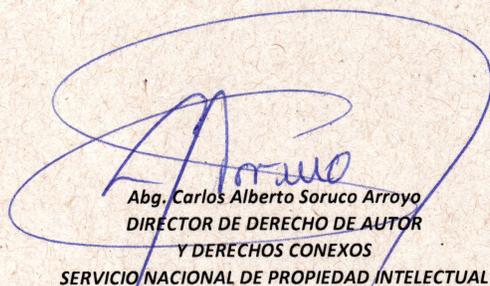
RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación literaria titulada: "**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2021 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA**", conformada por las Obras Escritas:

- "**OBTENCION DE BIOPLASTICO DE FACIL DEGRADACION A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS**", a favor de los autores: **ANA LUISA PARI TICONA**, con C.I. Nº 6753005 LP, **MARCO ANTONIO ALANOCA FLORES**, con C.I. Nº 10029007 LP y **LIDIA RUTH PEREZ MARCA**, con C.I. Nº 9250922 LP y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA**, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por **CARLOS CONDORI TITIRICO**.
- "**SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO**", a favor de los autores: **STEFFI LAURA USQUIANO MARQUEZ**, con C.I. Nº 6923742 LP, **LEYDI QUISPE ALEJO**, con C.I. Nº 8344091 LP y **RAQUEL SIÑANI CHAVEZ**, con C.I. Nº 9935028 LP y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA**, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por **CARLOS CONDORI TITIRICO**.

Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/ams
c.c.Arch.



Oficina Central - La Paz
Av. Argentina, Nº 1914,
Edif. Angélica María, entre
Villalobos y Díaz Romero,
zona Miraflores.
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, Nº 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noreste.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, Nº 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, Nº 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
Nº 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 242,
Primer Piso, Of. 17.

ANEXO 2

**CONVENIO CON RED DE PROMOTORES
ODS BOLIVIA**



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



CARTA DE INTENCIÓN PARA MARCO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO A TRAVÉS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA Y LA RED INTERNACIONAL DE PROMOTORES ODS BOLIVIA

De una parte, Ing. Elma Rocío Córdova Quispe como Coordinador del Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, de la Universidad Pública de El Alto, con NIT 122025022, creada por Ley 2115 del 15 de Septiembre de 2000, modificada por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003 y carrera creada por Resolución del Honorable Consejo Universitario N° 0024/2007 del 14 de mayo de 2007 con domicilio en la Zona Villa Ingenio Plaza 18 de Febrero s/n.

Y de otra parte, Lic. Favio Junior Valencia Huanca, Coordinador Nacional de la Red de Promotores ODS Bolivia, actuando en nombre y representación de la **Red Internacional de Promotores ODS Bolivia**, en adelante RIPO Bolivia.

EXPONEN

PRIMERO.- Que el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto que tiene como principio la promoción de diversas actividades de investigación para aportar al desarrollo de la ciencia e innovación, además de la gestión de Convenios Interinstitucionales.



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



SEGUNDO.- Que la RIPO Bolivia es una entidad sin ánimo de lucro que tiene como objetivo y está destinada fundamentalmente a articular esfuerzos, acciones, herramientas, experiencias y conocimientos para impulsar y acompañar con aportes concretos el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

TERCERO.- Que tanto el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto como la RIPO Bolivia se encuentran interesadas en colaborar en objetivos comunes y complementarios en áreas de investigación, implementación y ejecución de los Objetivos 8, 11 y 12 del Desarrollo Sostenible permitiendo dicha colaboración avanzar en acciones concretas de sensibilización y difusión de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, por lo que ambas partes suscriben el presente ACUERDO DE COLABORACIÓN con arreglo a las siguientes cláusulas:

CLÁUSULAS

PRIMERA. OBJETIVO.

El presente convenio tiene por objeto establecer el compromiso de una permanente y mutua coordinación entre el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto y RIPO Bolivia con el propósito de realizar actividades de promoción e implementación de los Objetivos 8, 11 y 12 de Desarrollo Sostenible en el marco de la Agenda 2030. Dichas actividades constarán de: programas de formación, talleres de investigación, intercambio de información, seminarios, entre otras que sean afines y que se encuentren reguladas en el marco del reglamento de funciones de cada institución.



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



SEGUNDA. DURACIÓN.

El presente Convenio Interinstitucional, tendrá una vigencia de 2 (dos años), comenzando a regir a partir de la suscripción de éste. Podrá ser renovado de manera indefinida por acuerdo entre las partes, en cuyo caso la renovación deberá realizarse a través de la redacción de la adenda correspondiente con una anticipación no menor a 30 días calendarios a la fecha de conclusión del presente Convenio.

TERCERA. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE COLABORACIÓN CONJUNTA.

Por parte de RIPO Bolivia, el proyecto de colaboración conjunta se concentra en los siguientes objetivos:

- Masificar la divulgación y puesta en marcha de los ODS, en sus metas específicas de 8.4, 11.6, 12.4 y 12.5, a través de espacios participativos e inclusivos.
- Promover la educación y capacitación para el desarrollo sostenible.
- Participar en el debate mundial y acompañara todos los sectores y actores en la implementación de los ODS, como así también en su seguimiento y monitoreo.
- Impulsar proyectos para el desarrollo sostenible: iniciativas locales, subnacionales y regionales que puedan suponer importantes contribuciones al desarrollo sostenible.
- Capacitar y promover la participación de la ciudadanía en materia de Desarrollo Sostenible y ODS.
- Educar e informar, a los ciudadanos, sobre temáticas relevantes para lograr mejorar su entorno a través de los ODS 8, 11 y 12.



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



Para lograr dichos objetivos se prevé la realización de las acciones que a continuación se enumeran:

- Promover la participación y el compromiso de la ciudadanía en favor de los ODS 8, 11 y 12.
- Promocionar, compartir y divulgar los ODS 8, 11 y 12, principalmente a través de experiencias, iniciativas y buenas prácticas.
- Diseñar y desarrollar campañas y proyectos integrales y educativos vinculados al Desarrollo Sostenible.
- Desarrollar espacios de capacitación e intercambio.
- Fortalecer y aumentar las ambiciones y expectativas de logro respecto de las metas indicadas en los ODS 8.4, 11.6, 12.4 y 12.5.

CUARTA. GESTIÓN CONJUNTA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Dentro del marco de colaboración, ambas partes realizarán las gestiones conjuntas para el proyecto denominado "SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA VILLA INGENIO", estando a cargo la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica a través del Instituto de Investigaciones, así como de proyectos que tengan relación con el Desarrollo Sostenible y enmarcados en los alcances de ambas partes.

QUINTA. SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS:

El presente Convenio es producto de la buena fe y común intención de las partes suscribientes, siendo su contenido fiel expresión de su voluntad, no mediando en su suscripción error, dolo, violencia, intimidación o cualquier



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



otro vicio de la voluntad que pueda viciar su consentimiento, o invalidar sus efectos jurídicos, por lo que, de suscitarse algún conflicto relacionado con su interpretación, formalización y cumplimiento, deberá ser resuelto de común acuerdo entre las partes mediante una solución directa y amistosa.

SEXTA. CLÁUSULA COMPLEMENTARIA:

En prueba de conformidad, ambas partes firman el presente convenio de colaboración, a los 06 días de mayo de 2021 en la Ciudad de El Alto, Estado Plurinacional de Bolivia, por quintuplicado y a un sólo efecto.

Ing. Elma Rocío Córdova Quispe
Coordinador
Instituto de Investigaciones
Carrera de Ingeniería de Gas y
Petroquímica

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

Lic. Favio Junior Valencia Huanca
Coordinador Nacional Red
Internacional de Promotores ODS
Bolivia

Ing. Wily Ricardo Luque Acho
DIRECTOR
CARRERA DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

ANEXO 3

CONVENIO CON EMPACAR S.A.



CARTA DE INTENCIÓN PARA COLABORACIÓN TÉCNICA Y ACADÉMICA ENTRE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO A TRAVÉS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA Y LA EMPRESA EMPACAR S.A.

El Alto, a 1 del mes de julio de 2021

REUNIDOS

De una parte, Ing. Elma Rocío Córdova Quispe como Coordinador del Instituto de Investigación de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, de la Universidad Pública de El Alto, con NIT 122025022, creada por Ley 2115 del 15 de septiembre de 2000, modificada por Ley 2556 del 12 de noviembre de 2003 y carrera creada por Resolución del Honorable Consejo Universitario N° 0024/2007 del 14 de mayo de 2007 con domicilio Zona Villa Ingenio Plaza 18 de febrero s/n.

Y de otra parte, **EMPRESA DE ENVASES PAPELES Y CARTONES S.A.** “**EMPACAR S.A**”, con Matrícula de Comercio No. 13527, y NIT 1028123025, domiciliada en El Alto, zona Rosas Pampa, Av. Antofagasta No. 290. representada en este acto por la Dra. Mary Rocabado de Caballero, con C.I. 2967238 S.C. en calidad de Gerente Regional L.P., con Poder No. 2146/2014 del 26 de septiembre de 2014 otorgado ante la notaría de fe pública No. 33 a cargo de la Dra. Mónica Isabel Villarroel Rojas del Distrito de Santa Cruz.

Se reconocen ambas partes con capacidad suficiente y poder bastante para este acto, donde se:

EXPONEN

PRIMERO.- Que en función de su naturaleza y objetivos, el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto y la Empresa EMPACAR S.A. tienen campos culturales y científicos de interés común, por todo lo cual es voluntad de ambas entidades el promover e intensificar sus relaciones.

SEGUNDO.- Que la transferencia técnica y académica entre ambas instituciones, la empresa EMPACAR S.A. y el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto.

Por todo ello, ambas partes deciden concertar un convenio de colaboración entre ambas entidades, que se desarrollará de acuerdo con las siguientes cláusulas estipuladas en el presente Convenio Interinstitucional.



CONVENIO INTERINSTITUCIONAL

PRIMERA. - Constituye el objeto del presente Convenio el establecimiento y desarrollo de relaciones científicas académicas entre el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto y la empresa EMPACAR S.A.

SEGUNDO. - Se promoverá la realización conjunta de estudios y proyectos de investigación, así como trabajos de investigación, y se articularán sistemas de colaboración, de proyectos: "Sistema de reciclaje a partir de residuos post-consumo de tereftalato de polietileno en la zona villa ingenio" y "Diseño de un biodigestor para la producción de bioabonos, gas metano (CH₄) y aprovechamiento en la generación de electricidad (multidisciplinario)" y sobre temas de interés común.

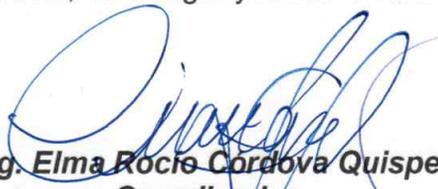
TERCERA. - Se fomentará la colaboración entre el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto y la empresa EMPACAR S.A. para la organización conjunta de actividades científicas, así como para la utilización de las instalaciones que para tal fin dispongan ambas partes.

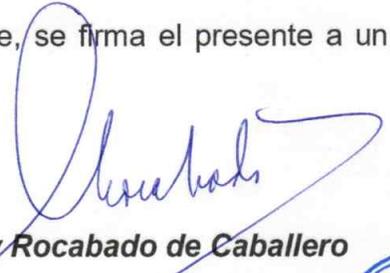
CUARTA. - Se fomentará las prácticas pre profesionales (pasantías) para los estudiantes de último año de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica en la empresa EMPACAR S.A, cuyo requerimiento y selección dependerá de la empresa EMPACAR S.A.

QUINTA. - Se establecerá mecanismos y procedimientos para la prevención y sanción de actos de racismo y toda forma de discriminación en el marco de la Constitución Política del Estado y Tratados Internacionales de Derechos Humanos, dentro del presente convenio.

SEXTA. - El presente convenio entrará en vigor a partir de la firma del mismo por ambas partes y tendrá una duración de dos años a partir de la firma de la misma, siendo renovable por acuerdo de ambas partes.

Y en prueba de conformidad con lo que antecede, se firma el presente a un solo efecto, en el lugar y fecha al comienzo indicados.


Ing. Elma Rocio Cordova Quispe
Coordinador
Instituto de Investigaciones
Carrera de Ingeniería de Gas y
Petroquímica


Dra. Mary Rocabado de Caballero
Gerente Regional La Paz
EMPACAR S.A.



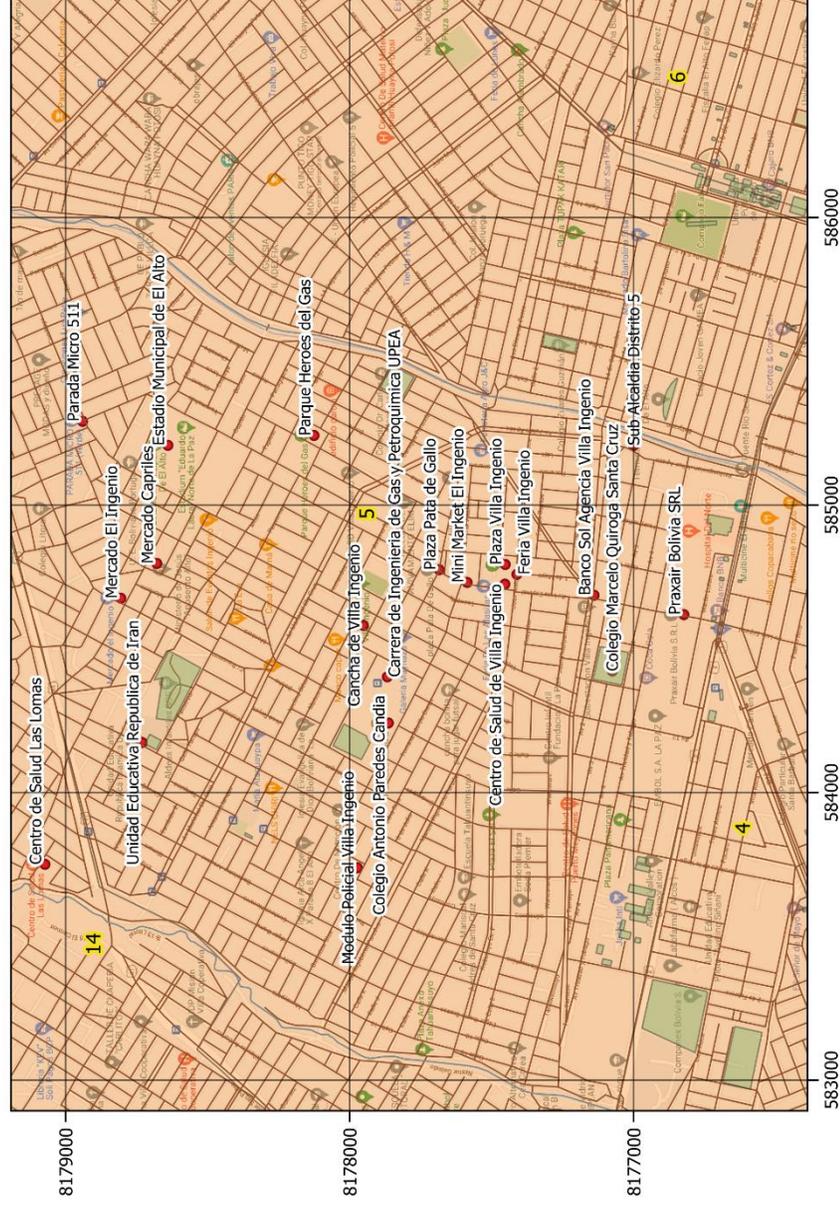
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO



ANEXO 4

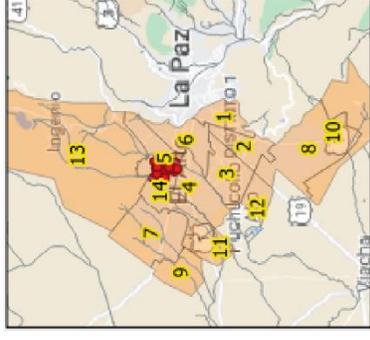
**PUNTOS Y TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE
RECOLECCION DE RESIDUOS POST CONSUMO DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA
INGENIO**

PUNTOS TENTATIVOS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS POST CONSUMO DE TEREFALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA VILLA INGENIO



LEYENDA

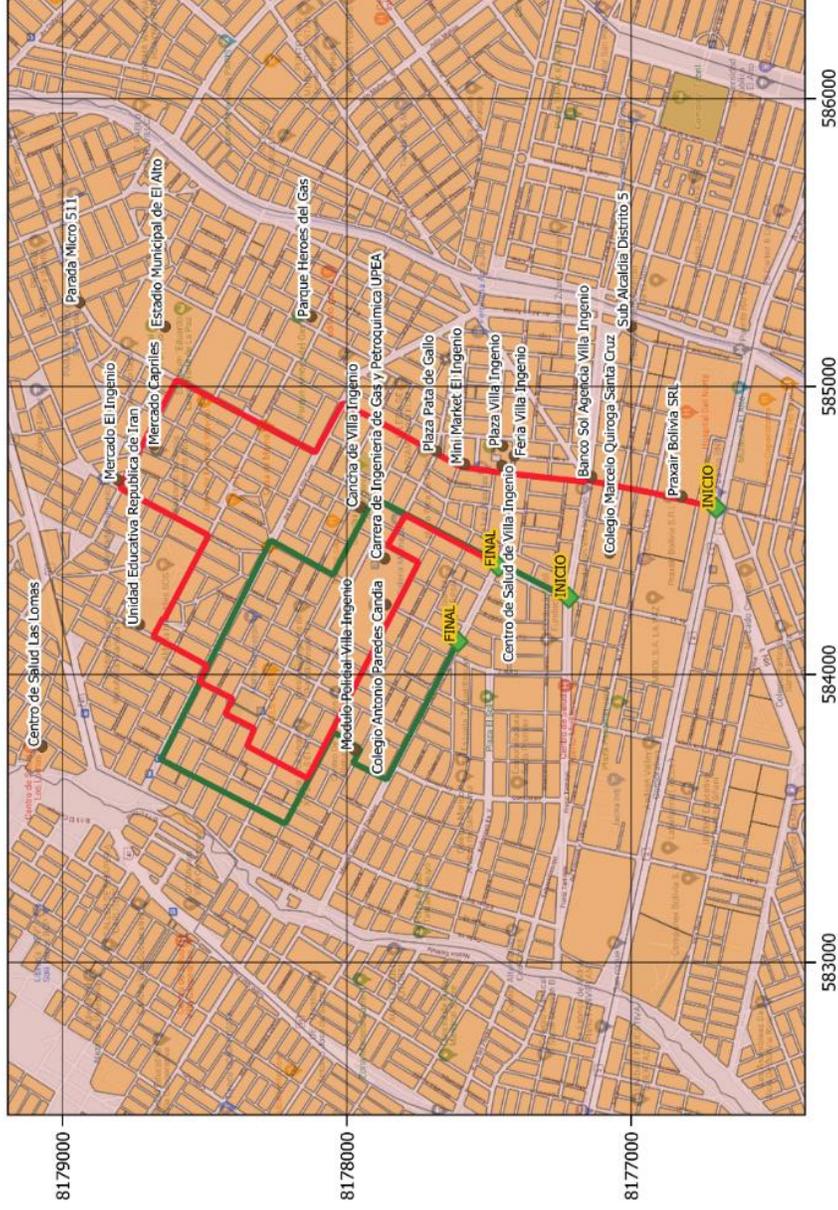
- RIOS
- EDIFICIOS
- CAMINOS
- PUNTOS TENTATIVOS
- DISTRICTOS EL ALTO



COORDENADAS UTM

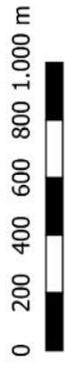
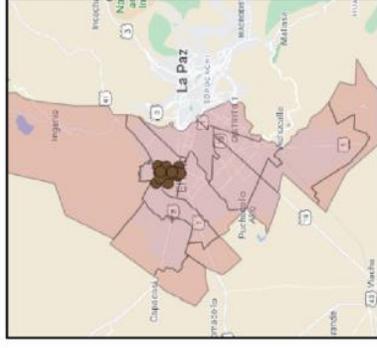
Mapa elaborado por Steffi Usquiano en función a información recopilada, 2021

TRAYECTORIAS TENTATIVAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS POST CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA VILLA INGENIO



LEYENDA

- PUNTOS TENTATIVOS DE RECOJO
- TRAYECTORIA TENTATIVA A
- TRAYECTORIA TENTATIVA B
- ◆ INICIO FIN TRAYECTORIAS
- MANZANOS EL ALTO
- JURISDICCION EL ALTO
- RIOS



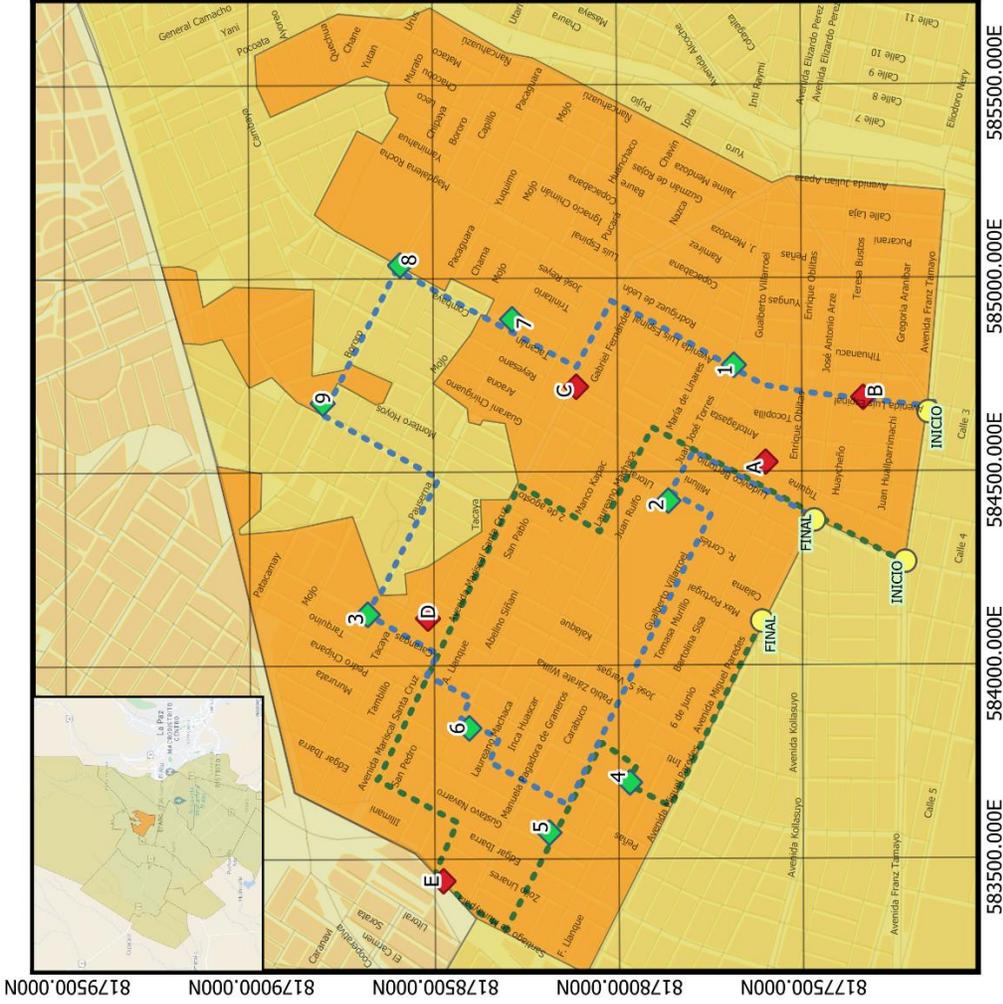
COORDENADAS UTM

Mapa elaborado por Steffi Usquiano en funcion a informacion recopilada, Julio 2021

ANEXO 5

**SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST
CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA
ZONA DE VILLA INGENIO
VERSION I**

SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST - CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO



LEYENDA

- ◆ PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES
- ◆ PUNTOS DE RECICLAJE PROPUESTOS
- INICIO Y FIN DE TRAYECTORIAS
- - - TRAYECTORIA PROPUESTA A
- - - TRAYECTORIA PROPUESTA B
- VILLA INGENIO
- DISTRITO 5
- MANZANOS

PUNTOS DE RECICLAJE DE PET PROPUESTOS	
1	Plaza Pata de Gallo
2	Carrera Ing. Gas y Petroquímica
3	U.E. Republica de Irán
4	Junta de Vecinos
5	Parada de Trufí
6	U.E. de Taiwán
7	Feria Zonal
8	Estadio Villa Ingenio
9	Mercado El Ingenio



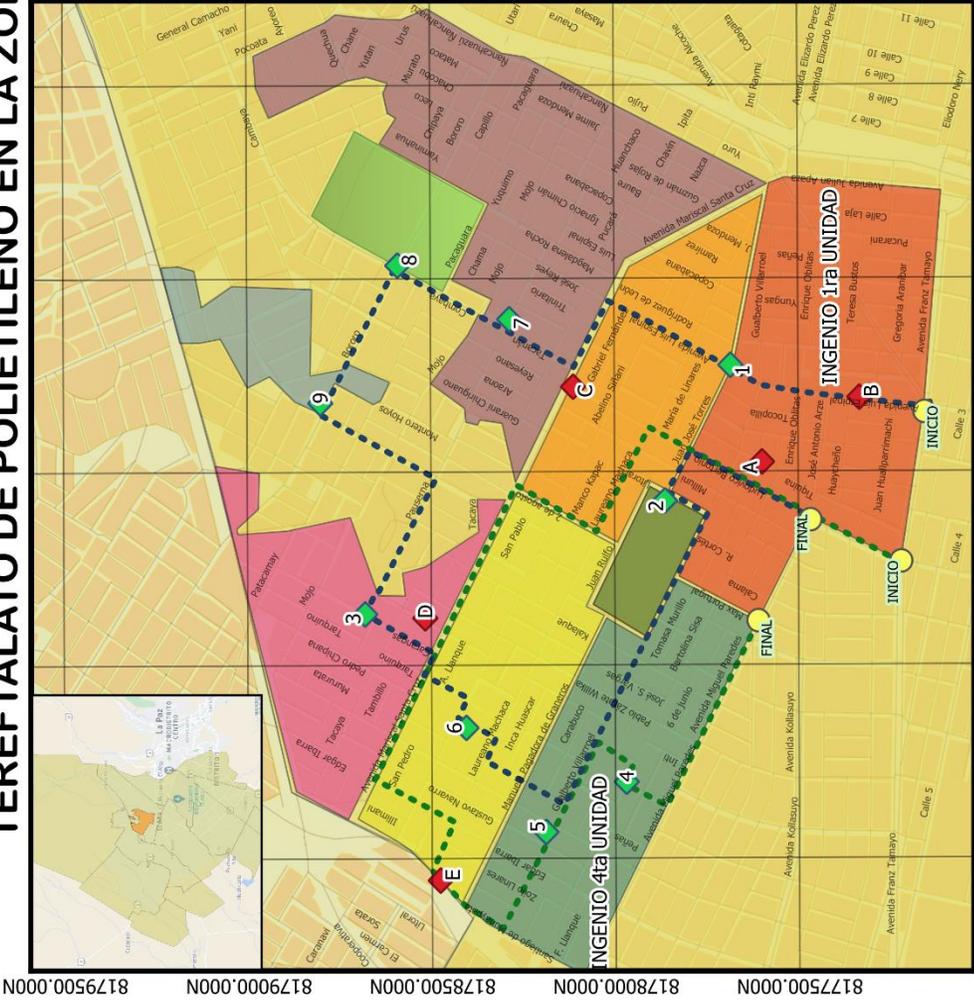
COORDENADAS UTM

Sistema de Reciclaje de residuos post-consumo de PET elaborado por la Ing. Steffi Usquiano (2021)

ANEXO 6

**SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST
CONSUMO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA
ZONA DE VILLA INGENIO
VERSION II**

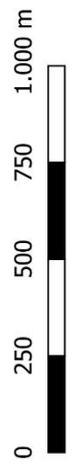
SISTEMA DE RECICLAJE A PARTIR DE RESIDUOS POST - CONSUMO DE TEREFITALATO DE POLIETILENO EN LA ZONA DE VILLA INGENIO



LEYENDA

- ◆ PUNTOS DE RECICLAJE EXISTENTES
- ◆ PUNTOS DE RECICLAJE PROPUESTOS
- - - TRAYECTORIA PROPUESTA A
- - - TRAYECTORIA PROPUESTA B
- INGENIO 1ra UNIDAD
- INGENIO 2da UNIDAD
- INGENIO 3ra UNIDAD
- INGENIO 4ta UNIDAD
- EL INGENIO DIST.2 U1
- EL INGENIO DIST.2 U2
- EL INGENIO DIST.2 U3
- EQUIPAMIENTO VILLA INGENIO
- EQUIPAMIENTO DIST.2
- DISTRITO 5

PUNTOS DE RECICLAJE DE PET PROPUESTOS	
1	Plaza Pata de Gallo
2	Carrera Ing. Gas y Petroquímica
3	U.E. Republica de Irán
4	Junta de Vecinos
5	Parada de Trufi
6	U.E. de Taiwán
7	FERIA ZONAL
8	Estadio Villa Ingenio
9	Mercado El Ingenio



COORDENADAS UTM

583500.000E 584000.000E 584500.000E 585000.000E 585500.000E

Sistema de Reciclaje de residuos post-consumo de PET elaborado por la Ing. Steffi Usquiano (2021)