

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL



**“CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO
EN EL MUNICIPIO DE SAN LORENZO”**

POR:

LAIME GOMEZ JUAN PABLO

SEMESTRE I - 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

**“CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN
DE ABONO ORGÁNICO EN EL MUNICIPIO DE SAN
LORENZO”**

POR:

LAIME GOMEZ JUAN PABLO

SEMESTRE I - 2025

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por acompañarme y darme fortaleza en cada paso de mi vida. A mi madre, Epifania Gómez Condori, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, que han sido fundamentales para alcanzar esta meta. A mi hermano Reinaldo Alexander Mamani Gómez, por ser una fuente de alegría y un apoyo constante en los momentos difíciles. Sin ellos, no habría logrado avanzar en la construcción de mis sueños.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.2.1. Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.	4
1.4.1. Justificación metodológica.	4
1.4.2. Justificación académica.	4
1.4.3. Justificación práctica.	4
1.4.4. Justificación ambiental.	5
1.4.5. Justificación social.....	5
1.5. Delimitación de trabajo.	5
1.5.1. Delimitación espacial.	6
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	7
2. MARCO TEÓRICO.	7
2.1. Residuos sólidos.	7
2.1.1. Clasificación de los residuos sólidos.....	8
2.1.2. De acuerdo con su peligrosidad.....	8
2.1.2.1. Residuos sólidos no peligrosos.....	8
2.1.2.2. Residuos sólidos peligrosos.....	9

2.1.3. De acuerdo con su origen.	9
2.1.3.1. Residuos sólidos municipales.	9
2.1.3.2. Residuos sólidos no municipales.	9
2.1.4. De acuerdo con su composición.	10
2.1.4.1. Residuos sólidos orgánicos.	10
2.1.4.2. Residuos sólidos inorgánicos.	10
2.2. Composición de los residuos sólidos.	10
2.3. Problemas ambientales y de salud originados por el manejo inadecuado.	11
2.4. Gestión de los residuos sólidos.	12
2.4.1. Jerarquización de la gestión integral de residuos sólidos.	12
2.5. Selección para su disposición y origen.	12
2.6. Aprovechamiento de residuos sólidos.	14
2.6.1. El reúso.	15
2.6.2. El reciclaje.	16
2.7. Abono orgánico.	17
2.8. Importancia del abono orgánico.	17
2.9. Propiedades de los abonos orgánicos.	17
2.10. Materia orgánica para la elaboración de abonos.	18
2.11. Tipos de abonos orgánicos.	18
2.11.1. Producción de abonos orgánicos sólidos.	19
2.11.1.1. Aboneras simples o compost.	19
2.11.1.2. Modo de preparación.	20
2.11.1.3. Fases del compostaje.	22
2.11.1.4. Factores que intervienen en el proceso de compostaje.	23
2.11.1.5. Bokashi.	29

2.11.1.6. Lombricompost.....	29
2.11.2. Abonos verdes.	30
2.11.3. Abonos líquidos orgánicos o biofertilizantes.	30
2.12. Caracterización de residuos sólidos municipales.	30
2.12.1. Parámetros para la caracterización de residuos sólidos.....	31
2.12.1.1. Parámetros físicos ara la caracterización.....	31
2.12.1.2. Parámetros químicos ara la caracterización.....	32
2.12.2. Parámetros Analizados en Laboratorio.....	33
2.13. Generación per cápita (GPC).....	33
2.14. Marco conceptual.	33
2.15. Marco legal.....	35
2.15.1. Ley del medio ambiente No1333.....	35
2.15.2. Normas bolivianas NB 745-752.	35
2.15.3. Ley N°755 Gestión integral de residuos.	36
2.16. Marco espacial.....	37
2.16.1. Zona donde se realizará el estudio.....	37
2.16.2. Tiempo de muestreo.	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	38
3. METODOLOGÍA.....	38
3.1. Tipo de investigación.	38
3.3. Población y muestra.	38
3.3.1. Población.	38
3.3.3. Muestra.	43
3.3.3.1. Muestras domiciliarias.....	43
3.3.3.2. Muestras no domiciliarias.....	46

3.4. Etapas para la recolección de datos.	52
3.4.1. Primera etapa: Planificación.	53
3.4.2. Segunda etapa: Trabajo de campo y operaciones.	55
3.4.2.1. Registro de los participantes.	55
3.4.2.2. Encuestas.	56
3.4.2.3. Codificación de las viviendas.	56
3.4.2.4. Recolección.	57
3.4.2.5. Traslado y descarga de los residuos.	57
3.4.2.6. Pesaje de las muestras de residuos sólidos.	57
3.4.3. Tercera etapa: Digitalización y registro de datos.	57
3.4.4. Cuarta etapa: Análisis de información.	57
 CAPÍTULO IV: INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO.	 59
 4. INFORMACIÓN ESPACIAL.	 59
4.1. Ubicación geográfica.	59
4.2. Extensión territorial.	61
4.3. Límites territoriales.	61
4.4. Altitud.	62
4.5. Clima.	62
4.5.1. Clima cálido desértico.	62
4.5.2. Clima cálido semi árido.	62
4.5.3. Clima frío árido.	62
4.5.4. Clima frío semi árido.	62
4.5.5. Clima frío semi árido húmedo.	63
4.5.6. Clima paramo bajo semi árido.	63
4.5.7. Clima templado semi árido.	63
4.6. Temperatura máxima y mínimas.	63

4.7.	División política.	63
4.8.	Educación.	71
4.9.	Principales actividades.	71
4.9.1.	Actividades productivas.	71
4.9.2.	Actividades agrícolas.	71
4.9.3.	Actividad pecuaria.	72
4.9.4.	Actividad industrial.	72
4.9.5.	Actividad manufacturero y artesanal.	72
4.9.6.	Actividad piscícola.	73
4.9.7.	Actividad forestal.	73
4.10.	Uso de suelo.	73
4.11.	Características demográficas.	78
4.11.1.	Población del municipio de san lorenzo.	78
CAPÍTULO V: SITUACIÓN ACTUAL DEL MUNICIPIO.		79
5.	SITUACIÓN ACTUAL.	79
5.1.	Manejo de los residuos sólidos.	79
5.2.	Programas y participación ciudadana.	79
5.3.	Composición de equipamiento y personal para la recolección de residuos.	79
5.3.1.	Cronograma de recojo para los residuos sólidos generados en los diferentes distritos.	81
5.4.	Generación y manejo de residuos.	89
5.5.	Desafíos y mejora en la gestión.	90
CAPÍTULO VI: TRABAJO DE CAMPO.		92

6. PERSONAL CLAVE	92
6.1. Planificación	92
6.1.1. Permisos y autorizaciones.	93
6.1.1.1. Solicitud de estudio para la caracterización de muestras domiciliarias.....	93
6.1.2. Definición de zonas de estudio.....	96
6.1.2.1. Solicitud de estudio para la caracterización de muestras no domiciliarias...	97
6.1.3. Materiales y equipos.....	99
6.1.4. Cronograma establecido.	101
6.1.5. Costos operativos y logísticos del estudio de caracterización.....	104
6.2. Trabajo de campo y operaciones.....	104
6.2.1. Empadronamiento de participantes.	104
6.2.2. Recolección de muestras.	111
6.2.2.1. No domiciliarias.	112
6.2.2.2. Domiciliarias.	113
6.2.3. Transporte y descarga de los residuos.....	114
6.2.4. Determinación de parámetros.....	115
6.2.4.1. Análisis físico químico de residuos sólidos.....	115
6.2.4.2. Determinación de densidad	117
6.2.4.3. Clasificación de residuos sólidos.....	118
6.2.5. Encuestas.....	119
6.3. Digitalización y registro de datos.....	120
6.3.1. Generación de residuos sólidos domiciliarios.....	120
6.3.2. Caracterización de residuos sólidos domiciliarios.....	127
6.3.3. Caracterización de residuos sólidos no domiciliarios.....	138
6.4. Cálculo de GPC.....	185
6.4.1. GPC domiciliaria.....	185
6.4.2. GPC zona urbana.....	220
6.4.3. GPC zona rural.....	223
6.4.4. GPC no domiciliario.....	227

CAPÍTULO VII: APROVECHAMIENTO DE RESIDUO ORGÁNICO.....	229
7. EVALUACIÓN DEL DISTRITO MÁS OPTIMO.....	229
7.1. Identificación del distrito con mayor potencial.	229
7.1.1. Factores por evaluar para seleccionar el distrito.	229
7.2. Selección de los distritos con mayor potencial para el programa de abono.	232
7.2.1. Parámetros de residuos orgánicos como materia prima para abono.....	233
7.2.2. Condiciones de los residuos orgánico para iniciar la elaboración de compost. .	234
7.3. Proyección de la recolección de residuos orgánicos en el distrito VI.	235
7.4. Estimación del ahorro económico por aprovechamiento de residuos orgánicos....	236
7.5. Cálculo anual de producción de abono.....	237
7.6. Proyección de Ingresos por la Comercialización del Abono en el Distrito VI.....	237
7.7. Días y rutas para la recolección en el distrito VI.....	238
CAPÍTULO VIII: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	239
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	239
8.1. Análisis del padrón de muestras para la recolección residuos sólidos.	239
8.2. Análisis de zonas rurales y urbanas.	240
8.3. Análisis de los resultados de las encuestas realizadas.	241
8.4. Análisis de la composición de los residuos sólidos recolectados.....	248
8.5. Interpretación de los resultados de los ensayos fisicoquímicos.	251
8.6. Variaciones de los parámetros físico y químico en diferentes meses.....	253
8.7. Análisis de la GPC calculada.	254

8.7.1. GPC domiciliaria.	254
8.7.2. GPC de zonas rurales.....	255
8.7.3. Comparación de GPC zonas rurales vs urbanas	257
8.8. Análisis comparativo de la GPC 2021 - 2024.	258
8.9. Variaciones de la GPC durante los meses del año.....	260
8.10. Cantidad de residuos en pampa galana 2021 – 2024.....	261
8.11. Análisis de distrito con el mayor potencial.	262
8.12. Manual de buenas prácticas para la elaboración de compost en el hogar.	263
8.12.1. Introducción.....	263
8.12.2. Importancia de la separación de residuos.	264
8.12.3. Guía para hacer compost en casa.....	267
8.12.4. Condiciones necesarias para un buen compostaje.....	270
8.12.5. Participación en el programa de elaboración de abono orgánico.	273
8.12.6. Nota importante	274
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	275
Conclusión.	275
Recomendaciones.	276
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEBGRAFÍAS.	277
Bibliografía	277
Webgrafía.	279
ANEXOS.....	280
ANEXOS I: Permisos y autorizaciones para el estudio.	280

ANEXOS II: Permisos y autorizaciones para el estudio en instituciones educativas.	283
ANEXOS III: Equipo necesario para el estudio de campo.....	285
ANEXOS IV: Folleto orientativo para las viviendas participantes del estudio	286
ANEXOS V: Muestras no domiciliarias participantes	287
ANEXOS VI: Recolección de residuos domiciliarios.....	292
ANEXOS VII: Transporte y zona autorizada para la clasificación de residuos.....	296
ANEXOS VIII: Muestra para el laboratorio	297
ANEXOS IX: Obtención de la densidad de residuos	306
ANEXOS X: Clasificación y separación de residuo	307
ANEXOS XI: Encuestas realizadas.....	309

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	16
Residuos sólidos reciclables vs no reciclables.	16
Tabla 2.	20
Tabla de residuos usados para el compost.	20
Tabla 3.	24
Tabla de rango para el parámetro de temperatura.	24
Tabla 4.	26
Tabla de rango para el parámetro de humedad.	26
Tabla 5.	27
Tabla de rango para el parámetro de relación c/n.	27
Tabla 6.	37
Tabla de zonas donde se realizará el estudio.	37
Tabla 7.	39
Distritos por donde pasa el basurero.	39
Tabla 8.	39
Número de familias, viviendas y población con el servicio de recojo de basura.	39
Tabla 9.	41
Instituciones educativas que son parte del servicio de recojo de basura.	41
Tabla 10.	44

Número de muestras requeridas de acuerdo con el número de viviendas.....	44
Tabla 11.	45
Número de muestras por distrito/comunidad.....	45
Tabla 12.	52
Muestras de instituciones educativas.....	52
Tabla 13.	53
Materiales y equipos para utilizarse en el estudio.	53
Tabla 14.	55
Equipos de protección personal requeridos para el estudio.....	55
Tabla 15.	64
Organización territorial del municipio de san lorenzo.	64
Tabla 18.	74
Uso de suelos en la serranía.....	74
Tabla 19.	75
Uso de suelos en pie de monte.....	75
Tabla 20.	75
Uso de suelos en la llanura.	75
Tabla 21.	76
Uso de suelos en lomerío.....	76
Tabla 22.	78

Proyección de la población del municipio de san lorenzo 2012-2024.	78
Tabla 23.	81
Cronograma de recojo del servicio de recolección de residuos sólidos.	81
Tabla 24.	81
Días de recojo de residuos sólidos por semana.	81
Tabla 25.	88
Personal encargado de la gestión de residuos sólidos.	88
Tabla 26.	89
Cantidad de residuos orgánicos mensuales generados.	89
Tabla 27.	101
Cronograma para el estudio de caracterización.	101
Tabla 28.	102
Cronograma de actividades para el trabajo de campo.	102
Tabla 29.	104
Tabla 30.	110
Zona de las diferentes instituciones educativas participantes.	110
Tabla 31.	113
Orden de recolección de muestras no domiciliarias.	113
Tabla 32.	114
Orden de recolección de muestras domiciliarias por distrito.	114

Tabla 33.	118
Cálculo de densidad.	118
Tabla 34.	121
Residuos generados durante los 8 días de estudio.	121
Tabla 35.	127
Caracterización de residuos sólidos domiciliarios totales por distrito.	127
Tabla 36.	132
Caracterización de residuos sólidos domiciliarios municipales.	132
Tabla 37.	138
Caracterización de residuos sólidos – plaza central del distrito I.	138
Tabla 38.	142
Caracterización de residuos sólidos – plaza central del distrito II.	142
Tabla 39.	146
Caracterización de residuos sólidos – barrido de calles distrito I.	146
Tabla 40.	151
Caracterización de residuos sólidos – barrido de calles distrito II.	151
Tabla 41.	156
Caracterización de residuos sólidos – mercado distrito I.	156
Tabla 42.	161
Caracterización de residuos sólidos – u.e. Luis carrasco salinas - distrito V.	161

Tabla 43.	164
Caracterización de residuos sólidos – u.e. Prof. Julio sucre - distrito I.	164
Tabla 44.	167
Caracterización de residuos sólidos – u.e. Cnl. Eustaquio méndez - distrito I.	167
Tabla 45.	170
Caracterización de residuos sólidos – u.e. Luisa zilveti a. - distrito I.	170
Tabla 46.	173
Caracterización de residuos sólidos – u.e. Bordo el mollar- distrito I.	173
Tabla 47.	176
Caracterización de residuos sólidos – u.e. La calama - distrito IV.	176
Tabla 48.	179
Caracterización de residuos sólidos no domiciliarios totales.	179
Tabla 49.	185
Identificación de muestras incompletas.	185
Tabla 50.	191
Descarte de muestras que no contaban con datos completos.	191
Tabla 51.	198
Cálculo de generación per cápita y desviación estándar.	198
Tabla 52.	206
Descarte de datos que no cumplieron la condición $z_c > 1,96$	206

Tabla 53.	210
Determinación de la nueva generación per cápita y desviación estándar.....	210
Tabla 54.	214
Validación de número de muestras.....	214
Tabla 55.	215
Generación per cápita por distrito.	215
Tabla 56.	219
Verificación de la generación per cápita.	219
Tabla 57.	220
Generación per cápita de zona urbana.	220
Tabla 58.	223
Generación per cápita de zona rural.	223
Tabla 59.	227
Gpc de instituciones educativas.....	227
Tabla 60.	227
Gpc de barrido de calles.	227
Tabla 61.	228
Gpc de las plazas.	228
Tabla 62.	228
Gpc de mercados	228

Tabla 63.	232
Cantidad de residuo orgánico estimado que se genera por distrito.	232
Tabla 64.	232
Selección del distrito con mayor potencial.	232
Tabla 65.	233
Verificación de parámetros.	233
Tabla 69.	235
Condiciones de rso para la elaboración de compost.	235
Tabla 70.	236
Estimación de cantidad de residuos orgánico.	236
Tabla 71.	236
Ahorro económico.	236
Tabla 72.	237
Cantidad de abono generado si se incluyera el distrito vi.	237
Tabla 73.	237
Proyección de ingreso económico si se vendiera el abono generado por el distrito I y VI.	237
Tabla 74.	240
Numero de muestras – instituciones educativas.	240
Tabla 75.	240
Identificación de zonas urbanas.	240

Tabla 76.	252
Resultados de los parámetros químicos.	252
Tabla 77.	253
Resultados de los parámetros físicos.	253
Tabla 78.	254
Tabla de gpc domiciliaria por distrito.	254
Tabla 79.	255
Tabla de gpc zonas rurales.	255
Tabla 80.	256
Tabla de GPC zonas urbanas.	256
Tabla 81.	257
Tabla de GPC zona urbana vs rural.	257
Tabla 82.	259
Cantidad de residuos sólidos generados en 2021.	259
Tabla 83.	260
Gpc en 2021.	260
Tabla 84.	261
Grs 2021 - 2024.	261
Tabla 85.	263
Distrito con mayor potencial.	263

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	13
Color de recipientes según el tipo de residuos.	13
Figura 2.....	14
Selección en origen de los residuos sólidos.	14
Figura 3.....	15
Reúso de residuos sólidos.....	15
Figura 4.....	47
Plaza central del municipio de San Lorenzo - distrito I.	47
Figura 5.....	47
Ubicación de la plaza central del municipio de San Lorenzo - distrito I.....	47
Figura 6.....	48
Plaza central del municipio de Tomatitas - distrito I.....	48
Figura 7.....	48
Ubicación de la plaza de la comunidad “La Victoria”.	48
Figura 8.....	49
Ubicación de las calles con servicio de barrido en el municipio de San Lorenzo - D-II.	49
Figura 9.....	50
Ubicación de las calles con servicio de barrido en el municipio de San Lorenzo - D-I.....	50
Figura 10.....	51

Mercado principal del municipio de San Lorenzo - distrito I.....	51
Figura 11.....	51
Ubicación del mercado principal del municipio de San Lorenzo - distrito I.....	51
Figura 12.....	56
Modelo de sticker para identificación de predios.....	56
Figura 13.....	60
Ubicación geográfica de tarija y San Lorenzo.....	60
Figura 14.....	61
Límites territoriales del municipio de San Lorenzo	61
Figura 15.....	80
Camioneta del municipio.....	80
Figura 16.....	80
Volquetas medianas del municipio.....	80
Figura 17.....	80
Volqueta grande del municipio.	80
Figura 18.....	82
Recojo de residuos sólidos - lunes - distrito II.	82
Figura 19.....	83
Recojo de residuos sólidos - lunes - distrito VI.....	83
Figura 20.....	83

Recojo de residuos sólidos - lunes - distrito I.....	83
Figura 21.....	84
Recojo de residuos sólidos - martes - distrito I y IV.	84
Figura 22.....	84
Recojo de residuos sólidos - martes - distrito II y III.	84
Figura 23.....	85
Recojo de residuos sólidos - miércoles - distrito III y I.	85
Figura 24.....	85
Recojo de residuos sólidos - miércoles - distrito IV.....	85
Figura 25.....	86
Recojo de residuos sólidos - jueves - distrito V.	86
Figura 26.....	86
Recojo de residuos sólidos - jueves - distrito II.	86
Figura 27.....	87
Recojo de residuos sólidos - viernes - distrito I y IV.	87
Figura 28.....	87
Recojo de residuos sólidos - viernes - distrito II y III.	87
Figura 29.....	88
Recojo de residuos sólidos - viernes - distrito I.	88
Figura 30.....	90
Abono realizado por el municipio.	90

Figura 31.....	92
Personal clave.	92
Figura 32.....	94
Comunidades urbanas del municipio de San Lorenzo.....	94
Figura 33.....	95
Alcaldía del municipio de San Lorenzo - distrito I.	95
Figura 34.....	96
Oficinas del departamento de medio ambiente - distrito I.....	96
Figura 35.....	98
Señora que se encarga del barrido de calles.	98
Figura 36.....	99
Zona donde se almacenan los residuos generados por el mercado - distrito I.....	99
Figura 37.....	99
Material entregado a participantes para el almacenamiento y recolección de residuos.	99
Figura 38.....	100
Balanzas digitales usadas para el peso de residuos sólidos.	100
Figura 39.....	105
Adhesivo colocado a viviendas participantes.	105
Figura 40.....	106
Registro de participantes.	106

Figura 41.....	111
Aprovechamiento del residuo orgánico generado en la u.e. La calama.	111
Figura 42.....	115
Vehículo usado para el transporte.	115
Figura 43.....	116
Cuarteo de muestras para el análisis en laboratorio.	116
Figura 44.....	117
Determinación densidad.	117
Figura 45.....	118
Separación de residuos sólidos.	118
Figura 46.....	119
Material separado para su aprovechamiento.	119
Figura 47.....	119
Zona donde se almacenaba los residuos aprovechables.	119
Figura 48.....	120
Encuestas realizadas a participantes del estudio.....	120
Figura 49.....	234
Material usado para la estabilización de contenido de humedad.....	234
Figura 50.....	238
Recojo de residuos sólidos - lunes - distrito VI.....	238

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	11
Composición de los residuos sólidos.	11
Gráfico 2.	23
Temperatura de desarrollo de bacterias.	23
Gráfico 3.	52
Etapas para elaborar e implementar el estudio de caracterización de residuos sólidos.	52
Gráfico 4.	137
Porcentaje residuos generados por generadore domiciliario.	137
Gráfico 5.	184
Porcentaje residuos generados por generadores no domiciliarios.	184
Gráfico 6.	229
Gpc de residuos orgánicos por distrito.	229
Gráfico 7.	230
Distancia de la zona de compostaje al centro de cada distrito.	230
Gráfico 8.	241
Pregunta n° 1 de encuesta.	241
Gráfico 9.	242
Pregunta n° 2 de encuesta.	242
Gráfico 10.	243

Pregunta nº 3 de encuesta.	243
Gráfico 11.	244
Pregunta nº 4 de encuesta.	244
Gráfico 12.	245
Pregunta nº 5 de encuesta.	245
Gráfico 13.	246
Pregunta nº 6 de encuesta.	246
Gráfico 14.	247
Pregunta nº 7 de encuesta.	247
Gráfico 15.	248
Pregunta nº 8 de encuesta.	248
Gráfico 16.	249
Composición de residuos sólidos domiciliarios.	249
Gráfico 17.	250
Composición de residuos sólidos no domiciliarios.	250