



**Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Medioambiente  
Ingeniería Ambiental**

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS  
ORGÁNICOS GENERADOS EN LA COMUNA DE LA LIGUA, REGIÓN DE  
VALPARAÍSO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.**

**AUTOR: MATÍAS VÁSQUEZ FARFÁN.**

**PROFESOR GUÍA: OCIEL COFRÉ CARVAJAL.**

**VALPARAÍSO, 11 DE DICIEMBRE DEL 2023**

## RESUMEN

En la actualidad la I. Municipalidad de La Ligua se hace cargo de los residuos que genera la población a través de la externalización del servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios (RSD), los cuales van aumentando a través del tiempo, comprometiendo gastos considerables en el financiamiento de los servicios externalizados mencionados.

Es por esto que el presente trabajo tiene como fin proponer un sistema de recolección y disposición de los residuos sólidos orgánicos en donde el Municipio se pueda hacer cargo de estos. Para ello, primero se realizó el levantamiento de información acerca de los residuos generados de la comuna con su correspondiente caracterización y posterior a esto, se realizó un diagnóstico en relación al grado de conocimiento y conciencia de la ciudadanía.

Como principales resultados se obtuvo que la composición orgánica de los residuos generados a nivel comunal es de una proporción del 60,3% del total de los residuos sólidos domiciliarios. En relación a la cantidad de residuos, se obtuvo que la comunidad genera mensualmente alrededor de 1.181,83 toneladas, de los cuales 709,1 toneladas corresponden a residuos orgánicos según los datos de la I. Municipalidad de La Ligua.

Dentro de las medidas propuestas para el manejo de los residuos sólidos orgánicos, se encuentran las charlas informativas y de capacitación, la recolección diferenciada de la fracción orgánica compostable casa por casa por las zonas de Placilla, La Chimba y Quinquimo y el tratamiento de esta fracción de los residuos totales generados.

A partir de estos antecedentes se seleccionó la alternativa de compostaje, en donde se dimensiono a nivel conceptual, una planta que posee una superficie aproximada de  $1.153,88 \text{ m}^2$ , capaz de tratar alrededor de 56,8 [ton/mes] de residuos sólidos orgánicos, produciendo 408,96 [ton/año] aproximadamente de compost.

Finalmente, las dos alternativas que se evaluaron técnica y económicamente, como lo son el compostaje por pilas con volteo manual y volteo mecánico, se obtuvo como resultado general de la propuesta la factibilidad del proyecto mediante el compostaje por pilas con volteo manual, donde queda demostrado que puede ser desarrollado, ya que se podrían llegar a obtener beneficios sociales, disminución en futuro de los costos de disposición final de los residuos, y el aumento de conciencia medioambiental con la participación ciudadana y robustez e independencia de dicha municipalidad.

# ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                                                                           | 1  |
| 1.1 Residuos .....                                                                                                                                                                              | 1  |
| 1.1.1 Generación de residuos sólidos en Chile .....                                                                                                                                             | 2  |
| 1.1.2 Clasificación de residuos .....                                                                                                                                                           | 2  |
| 1.1.3 Residuos sólidos municipales .....                                                                                                                                                        | 3  |
| 1.1.4 Generación de residuos sólidos municipales en Chile .....                                                                                                                                 | 4  |
| 1.1.5 Disposición final de los residuos sólidos municipales en Chile .....                                                                                                                      | 5  |
| 1.2 Gestión de los residuos sólidos .....                                                                                                                                                       | 5  |
| 1.3 Área de estudio .....                                                                                                                                                                       | 6  |
| 1.3.1 Antecedentes generales .....                                                                                                                                                              | 6  |
| 1.3.2 Caracterización ambiental comunal .....                                                                                                                                                   | 8  |
| 1.3.3 Residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua .....                                                                                                                               | 9  |
| 2. PROBLEMA .....                                                                                                                                                                               | 10 |
| 3. OBJETIVOS .....                                                                                                                                                                              | 11 |
| 3.1 Objetivo general .....                                                                                                                                                                      | 11 |
| 3.2 Objetivos específicos .....                                                                                                                                                                 | 11 |
| 4. METODOLOGÍA .....                                                                                                                                                                            | 12 |
| 4.1 Levantamiento de información referente a la generación de residuos sólidos domiciliarios orgánicos, demografía y otras variables relacionadas con la gestión de residuos de la comuna ..... | 12 |
| 4.1.1 Diseño de la encuesta .....                                                                                                                                                               | 13 |
| 4.1.2 Determinación de la muestra representativa .....                                                                                                                                          | 14 |
| 4.2 Plantear una alternativa tecnológica para el tratamiento integral de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos generados en la comuna .....                                              | 15 |
| 4.3 Propuesta de un programa de seguimiento y control del proyecto .....                                                                                                                        | 16 |
| 4.4 Evaluación técnica y económica de la alternativa planteada para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos .....                                                             | 16 |
| 4.4.1 Evaluación técnica .....                                                                                                                                                                  | 16 |
| 4.4.2 Evaluación económica .....                                                                                                                                                                | 17 |
| 5. RESULTADOS .....                                                                                                                                                                             | 18 |
| 5.1 Indicadores demográficos .....                                                                                                                                                              | 18 |
| 5.1.1 Población .....                                                                                                                                                                           | 18 |
| 5.2 Indicadores sociales .....                                                                                                                                                                  | 20 |
| 5.3 Residuos Sólidos Municipales .....                                                                                                                                                          | 20 |
| 5.3.1 Generación histórica de los residuos sólidos municipales .....                                                                                                                            | 22 |

|       |                                                                                                 |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.2 | Costos asociados al manejo de los residuos .....                                                | 24  |
| 5.3.3 | Encuesta .....                                                                                  | 25  |
| 5.4   | Normativa.....                                                                                  | 31  |
| 5.5   | Descripción de las alternativas para el manejo de los residuos sólidos orgánicos municipales... | 32  |
| 5.5.1 | Compostaje.....                                                                                 | 32  |
| 5.5.2 | Lombricultura.....                                                                              | 36  |
| 5.5.3 | Mosca soldado negra.....                                                                        | 40  |
| 5.5.4 | Fermentación y destilación.....                                                                 | 42  |
| 5.5.5 | Digestión anaerobia.....                                                                        | 44  |
| 5.5.6 | Incineración.....                                                                               | 49  |
| 5.5.7 | Gasificación.....                                                                               | 52  |
| 5.5.8 | Pirólisis.....                                                                                  | 54  |
| 5.6   | Selección de la alternativa para el manejo de los residuos sólidos orgánicos municipales.....   | 57  |
| 5.7   | Dimensionamiento de las instalaciones requeridas por la alternativa de manejo seleccionada ...  | 58  |
| 5.7.1 | Dimensionamiento de la planta de compostaje .....                                               | 60  |
| 5.8   | Organización de la planta de compostaje .....                                                   | 71  |
| 5.8.1 | Organigrama y perfiles de cargo .....                                                           | 71  |
| 5.8.2 | Fase de operación de la planta de compostaje.....                                               | 73  |
| 5.8.3 | Fase de Mantenimiento .....                                                                     | 74  |
| 5.9   | Programa de seguimiento y control.....                                                          | 75  |
| 5.10  | Evaluación técnica y económica de las alternativas seleccionadas .....                          | 77  |
| 6     | DISCUSIÓN .....                                                                                 | 86  |
| 7     | CONCLUSIONES .....                                                                              | 89  |
| 8     | BIBLIOGRAFÍA .....                                                                              | 91  |
| 9     | ANEXOS .....                                                                                    | 99  |
|       | Anexo 1: Encuesta .....                                                                         | 99  |
|       | Anexo 2: Consulta a expertos.....                                                               | 103 |
|       | Anexo 3: Respuesta de los expertos .....                                                        | 106 |
|       | Anexo 4: Consideraciones generales del trabajo .....                                            | 108 |
|       | Anexo 5: Ruta de recolección.....                                                               | 109 |
|       | Anexo 6: Planillas para seguimiento y control .....                                             | 110 |
|       | Anexo 7: Cotización camión .....                                                                | 113 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1: Clasificación de residuos mediante dos criterios: característica y origen. (Ministerio de Medio Ambiente , 2016).....                                                    | 3  |
| Tabla 1.2: Identificación por el color de los contenedores de residuos en base a la composición de los residuos sólidos municipales. (Ministerio de Medio Ambiente , 2016).....     | 4  |
| Tabla 4.1: Actividades de la metodología por objetivo específico. ....                                                                                                              | 12 |
| Tabla 4.2: Elementos que se consideraron para el diseño de la encuesta.....                                                                                                         | 13 |
| Tabla 4.3: Matriz para la consulta a expertos.....                                                                                                                                  | 15 |
| Tabla 4.4: Detalles del costo económico de la propuesta.....                                                                                                                        | 17 |
| Tabla 5.1: Datos de la población de la comuna de La Ligua según Censos con proyección de la cantidad de habitantes para los años 2027 y 2037. (Fuente: Adaptado de BCN, 2017). .... | 18 |
| Tabla 5.2: Cantidad de habitantes de la comuna de La Ligua, según rango etario. (Fuente: BCN, 2017)...                                                                              | 19 |
| Tabla 5.3: Población según pueblo originario declarado en la comuna de La Ligua. (Fuente: BCN, 2017) .....                                                                          | 19 |
| Tabla 5.4: Tasa de pobreza por ingresos y multidimensional. (Fuente: CASEN, 2015).....                                                                                              | 20 |
| Tabla 5.5: Porcentaje de personas carentes de servicios básicos y porcentaje de hogares hacinados. (Fuente: BCN, 2017). ....                                                        | 20 |
| Tabla 5.6: Comportamiento histórico de la generación de residuos sólidos municipales. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).....                                                   | 22 |
| Tabla 5.7: Costos asociados a los servicios de recolección, transporte y disposición final de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).....                    | 24 |
| Tabla 5.8: Costos por disposición final de KDM empresas por año. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua). ....                                                                       | 25 |
| Tabla 5.9: Caracterización de residuos sólidos urbanos, comuna de La Ligua. (Fuente: EcoMetro Urbanismo S.A., 2020).....                                                            | 29 |
| Tabla 5.10: Normativa Aplicable. ....                                                                                                                                               | 31 |
| Tabla 5.11: Parámetros del compostaje. (Fuente: FAO, 2013). ....                                                                                                                    | 35 |
| Tabla 5.12: Proporción general del proceso de lombricultura. (Fuente: Díaz, 2002) .....                                                                                             | 37 |
| Tabla 5.13: Condiciones óptimas de la lombriz roja californiana. (Fuente: VERNICAN, 2019).....                                                                                      | 38 |
| Tabla 5.14: Requerimientos para el cultivo de lombrices. (Fuente: Martínez et al., 2013). ....                                                                                      | 38 |
| Tabla 5.15: Ítems a considerar para la producción de hummus de lombriz. (Fuente: Díaz, 2002). ....                                                                                  | 39 |
| Tabla 5.16: Condiciones de crecimiento de la larva MSN. (Fuente: Muñoz & Parada, 2022) .....                                                                                        | 41 |
| Tabla 5.17: Grupos en los que se clasifica el bioetanol. (Fuente: Díaz, 2015) .....                                                                                                 | 43 |
| Tabla 5.18: Costos de instalación y funcionamiento de planta de incineración. (Fuente: Adaptado de SEDESOL, 2001).....                                                              | 51 |
| Tabla 5.19: Composición típica de los gases de síntesis. (Fuente: Hernández, 2015) .....                                                                                            | 53 |
| Tabla 5.20: Tipos de pirólisis: 1) Pirólisis lenta, 2) Pirólisis rápida y 3) pirólisis ultrarrápida y sus condiciones correspondientes. (Fuente: Toraman, 2022).....                | 56 |
| Tabla 5.21: Resumen de la consulta a expertos.....                                                                                                                                  | 57 |
| Tabla 5.22: Contraste entre las formas de realizar el proceso de compostaje. ....                                                                                                   | 58 |
| Tabla 5.23: Datos necesarios para el dimensionamiento de la planta de compostaje. ....                                                                                              | 61 |
| Tabla 5.24: Tabla resumen de los valores correspondiente a las áreas calculadas para la planta de compostaje.....                                                                   | 70 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 5.25: Carta Gantt del proyecto. ....                                                              | 75  |
| Tabla 5.26: Planilla de seguimiento de las actividades del proceso productivo.....                      | 76  |
| Tabla 5.27: Equipos o materiales a utilizar en el proceso productivo, junto a sus especificaciones..... | 77  |
| Tabla 5.28: Costos asociados a la alternativa de compostaje con volteo manual. ....                     | 82  |
| Tabla 5.29: Costos asociados a la alternativa de compostaje con volteo manual. ....                     | 83  |
| Tabla 5.30: Consideraciones para el cálculo de VAC.....                                                 | 84  |
| Tabla 5.31: Cálculo de VAC, para el caso 1 de volteo manual.....                                        | 84  |
| Tabla 5.32: Cálculo de VAC, para el caso 2 de volteo por maquinaria. ....                               | 85  |
| Tabla 9.1: Valoración de las alternativas por parte del experto Marco Bravo Arriagada. ....             | 106 |
| Tabla 9.2: Valoración de las alternativas por parte de la experta María Schiappacasse Dasati. ....      | 107 |
| Tabla 9.3: Consideraciones generales del trabajo. ....                                                  | 108 |

# ÍNDICE DE FIGURAS.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: Generación de residuos sólidos municipales, por región en el año 2020. (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2022).                                                                                                                                                                         | 4  |
| Figura 1.2: Jerarquización para el manejo de residuos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).                                                                                                                                                                                                                 | 6  |
| Figura 1.3: Comunas de la Provincia de Petorca. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2011).                                                                                                                                                                                                            | 7  |
| Figura 5.1: Proyección de habitantes en la comuna de La Ligua, en base a los datos de los censos.                                                                                                                                                                                                             | 18 |
| Figura 5.2: Ubicación del centro de acopio de la I. Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth)                                                                                                                                                                                                         | 21 |
| Figura 5.3: Polígono del centro de acopio de la I. Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth)                                                                                                                                                                                                          | 21 |
| Figura 5.4: Rutas de los 4 camiones del Municipio de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).                                                                                                                                                                                                        | 22 |
| Figura 5.5: Toneladas anuales de residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua)                                                                                                                                                                                | 23 |
| Figura 5.6: Proyección de las toneladas de residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua hasta el año 2030.                                                                                                                                                                                           | 23 |
| Figura 5.7: Costos asociados a la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).                                                                                                                           | 24 |
| Figura 5.8: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 1 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                     | 25 |
| Figura 5.9: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 2 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                     | 26 |
| Figura 5.10: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 3 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                    | 26 |
| Figura 5.11: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 8 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                    | 27 |
| Figura 5.12: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 10 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                   | 27 |
| Figura 5.13: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 11 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                    | 28 |
| Figura 5.14: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 12 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                    | 28 |
| Figura 5.15: Caracterización de residuos sólidos urbanos, comuna de La Ligua. (Fuente: EcoMetro Urbanismo S.A., 2020).                                                                                                                                                                                        | 29 |
| Figura 5.16: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 14 de la encuesta.                                                                                                                                                                                                                                    | 30 |
| Figura 5.17: Variación en la temperatura, oxígeno y pH en las etapas del compostaje. (Fuente: FAO, 2013)                                                                                                                                                                                                      | 33 |
| Figura 5.18: Imágenes representativas de los estadios o edad de la lombriz. 1.- Cocones, puesta o capullo; 2.-Juveniles, lombrices transparentes, o con leve pigmento rojo. 3.- Subadultos, bien pigmentados pero carentes de clítelo; y 4.-Adultos son aquellos que poseen clítelo. (Fuente: INVERSA, 2011). | 37 |
| Figura 5.19: Esquema generalizado de la disposición de los lechos. (Fuente: Díaz, 2002).                                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| Figura 5.20: Comparación de la Mosca soldado negro con la mosca común. (Fuente: Ciencia, 2022).                                                                                                                                                                                                               | 40 |
| Figura 5.21: Fases de la Mosca Soldado Negra. (Fuente: CIENCIA, 2022).                                                                                                                                                                                                                                        | 41 |
| Figura 5.22: Proceso de obtención de bioetanol, según materia prima de origen. (Fuente: UASD ,2015).                                                                                                                                                                                                          | 43 |
| Figura 5.23: Proceso sinérgico utilizando microorganismos anaerobio. (Fuente: Toraman, 2022).                                                                                                                                                                                                                 | 45 |
| Figura 5.24: Esquema básico de un biodigestor. (Fuente: Tamayo, 2010)                                                                                                                                                                                                                                         | 47 |
| Figura 5.25: Esquema general del proceso de digestión anaerobia. (Fuente: Agencia de Residuos de Catalunya, 2019)                                                                                                                                                                                             | 47 |
| Figura 5.26: Los costos de inversión para diferentes tamaños de plantas de biogás y sus respectivos costos de inversión. (Fuente: Universidad Industrial de Santander, 2023).                                                                                                                                 | 48 |
| Figura 5.27: esquema de la sección transversal de un incinerador municipal típico, el cual consta de 6 secciones. (Fuente: CEMPRE, 2012)                                                                                                                                                                      | 50 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5.28: Diagrama de bloques de una instalación de incineración. (Fuente: Romero, 2010).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 51  |
| Figura 5.29: Esquema de los tipos de gasificadores. A: gasificador flujo de arrastre, b: gasificador de lecho fluidizado, c: gasificador de lecho fijo. (Fuente: Cujia & Bula, 2010) .....                                                                                                                                                                                                                                            | 52  |
| Figura 5.30: Diagrama generalizado del proceso de gasificación y sus productos. (Fuente: CONAMA, 2014) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 53  |
| Figura 5.31: Diagrama de costes y factibilidad de la gasificación. (Fuente: Prado, 2007) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 54  |
| Figura 5.32: Esquema general del proceso de Pirólisis. (Fuente: SEDESOL, 2001).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 55  |
| Figura 5.33: Rutas de acceso al Centro de Acopio de la Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth, 2023).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 60  |
| Figura 5.34: Disposición espacial de la planta de tratamiento de residuos orgánicos, donde el Área azul corresponde al área de descomposición por pilas y el área de espaciamiento; La área celeste es la área para la recepción de los residuos; La área morada, es la área de maduración; El área verde corresponde al área de almacenamiento y el Área rosada es el área de baldes. (Fuente: Adaptado de Google Earth, 2023). .... | 71  |
| Figura 5.35: Organigrama de la planta de compostaje.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 71  |
| Figura 5.36: Flujo de cajas del proceso de compostaje y controles correspondientes a la actividad. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 76  |
| Figura 9.1: Primera hoja de la encuesta realizada a la comunidad.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 99  |
| Figura 9.2: Segunda hoja de la encuesta realizada a la comunidad.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 100 |
| Figura 9.3: Tercera hoja de la encuesta realizada a la comunidad. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 101 |
| Figura 9.4: Cuarta hoja de la encuesta realizada a la comunidad.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 102 |
| Figura 9.5: Hoja de contextualización realizada a los expertos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 103 |
| Figura 9.6: Hoja presentada para la consulta a los expertos en donde se exponen los principales resultados obtenidos de la encuesta.....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 104 |
| Figura 9.7: Hoja presentada a los expertos para la valoración de las alternativas propuestas para el tratamiento de residuos orgánicos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 105 |
| Figura 9.8: Ruta propuesta para la recolección de los residuos orgánicos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 109 |
| Figura 9.9: Primera hoja de la cotización del camión. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 113 |
| Figura 9.10: Segunda hoja de la cotización del camión. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 114 |

# 1. INTRODUCCIÓN

Según el informe Perspectivas de la Población Mundial, la población mundial debió haber alcanzado los 8.000 millones de personas el 15 de noviembre de 2022 (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

En el caso de Chile, el último censo de población y vivienda fue realizado en el 2017. Sus resultados indican que la población efectivamente censada llegó a un total de 17.574.003 personas. De ellas, 8.601.989 (48,9%) son hombres y 8.972.014 (51,1%), mujeres. El número de viviendas, en tanto, fue 6.499.355, de las cuales 6.486.533 (99,8%) corresponden a viviendas particulares y 12.822 (0,2%) a colectivas. Lo anterior refleja que entre 2002 y 2017, la tasa media anual de crecimiento de la población se ubicó en 1,0% (Instituto Nacional de Estadística, 2017).

Según World Wide Fund for Nature o Fondo Mundial para la Naturaleza en el 2012: “La demanda mundial de recursos es cada vez mayor por parte de una población creciente que está poniendo una enorme presión sobre la biodiversidad de nuestro planeta y amenaza nuestra seguridad futura, la salud y el bienestar”. Se deduce que en cuanto más gente, hay más consumo de materias primas para sustentar sus vidas, es por ello que el aumento de la población se relaciona directamente con el aumento en el consumo de los recursos y con ello la generación de residuos, ya que, existe una constante demanda de las distintas necesidades que son desde los alimentos, vivienda, salud, hasta tecnología y energía, en servicios públicos y privados.

En consecuencia, la generación de residuos producida por las necesidades humanas es una problemática ambiental a nivel mundial. El modelo lineal de producción y consumo que se basa en la lógica de extraer-producir-consumir-eliminar, provoca la acumulación de residuos en esta última etapa en donde las instalaciones que cumplen las exigencias sanitarias y ambientales establecidas para disponer los residuos sólidos domiciliarios y asimilables, son rellenos sanitarios y/o también, de manera irregular, se disponen en vertederos y basurales.

En Chile, los principales encargados de la recolección, transporte y disposición final de los residuos son los municipios.

## 1.1 Residuos

La legislación chilena, define a residuo como una sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente, según la ley N° 20.920 del Ministerio del Medio Ambiente.

### **1.1.1 Generación de residuos sólidos en Chile**

Según el séptimo Reporte del Estado del Medio Ambiente del año 2022 elaborado por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), se generaron poco más de 18 millones de toneladas de residuos. En donde el 96,7% equivalen a residuos no peligrosos, y el 3,3% equivalen a residuos peligrosos, que son residuos o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto (Ministerio de Salud, 2004). Respecto a los residuos no peligrosos generados, el 80% fue eliminado o dispuesto en relleno sanitario o vertedero, mientras que el 20% fue valorizado. De los residuos no peligrosos se desprende la clasificación de los residuos según su origen, en donde se encuentran los de origen industrial con 50,8%, los residuos sólidos municipales (RSM) con 43,6% y lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas con 2,4% respectivamente (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2022).

Según la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2023), “Entre el 2015 y 2020, la generación de residuos a nivel nacional se ha mantenido en niveles relativamente estables, con una tasa de crecimiento interanual promedio cercana a cero”.

### **1.1.2 Clasificación de residuos**

El Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) ha establecido una clasificación de residuos mediante dos criterios presentados en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1: Clasificación de residuos mediante dos criterios: característica y origen. (Ministerio de Medio Ambiente , 2016).**

| <b>Criterio</b> | <b>Tipo de residuo</b> | <b>Definición</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Característica  | Inerte                 | Es un residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto.                                                                                       |
|                 | No peligroso           | Residuo que no presenta riesgo para la salud pública ni efectos adversos al medio ambiente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                 | Peligroso              | Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto.                                                                                                                                                                                                                  |
| Origen          | Industrial             | Residuos resultantes de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento, generados por la actividad industrial. Son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos. |
|                 | Sólidos municipales    | Incluye residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas industrias. También se consideran residuos sólidos municipales a los derivados del aseo de vías públicas, áreas verdes y playas.                                                                                                                                   |

### 1.1.3 Residuos sólidos municipales

Los Residuos Sólidos Municipales (RSM) son principalmente generados en hogares y establecimientos tales como; locales comerciales, locales de expendio de alimentos, hoteles, establecimientos educacionales, cárceles, entre otros (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

La clasificación de los RSM se realiza de acuerdo a los elementos del cual están compuestos los residuos y para esto, se utiliza una metodología establecida en la Norma Chilena NCh 3322:2013, que establece los códigos del color para cada tipo de residuo facilitando la identificación de las distintas fracciones de residuos según el color que corresponda como se presenta en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2: Identificación por el color de los contenedores de residuos en base a la composición de los residuos sólidos municipales. (Ministerio de Medio Ambiente , 2016).**

| Composición                        | Identificación por color |
|------------------------------------|--------------------------|
| Papel y cartón                     | Azul                     |
| Cartón para bebidas                | Beige                    |
| Plásticos                          | Amarillos                |
| Vidrio                             | Verde                    |
| Metales                            | Gris claro               |
| Materia orgánica                   | Café                     |
| Residuos peligrosos                | Rojo                     |
| Residuos eléctricos y electrónicos | Burdeo                   |
| Otros                              | Gris oscuro              |

#### 1.1.4 Generación de residuos sólidos municipales en Chile

A nivel nacional, en 2020 se generaron casi 7,9 millones de toneladas de residuos municipales, con una población proyectada de poco más de 21 millones de habitantes, lo que implica un promedio de 1,03 kilos al día por habitante. De ese total de residuos municipales, un 47% corresponde a la Región Metropolitana, seguida por las regiones de Valparaíso (11,1% del total nacional), Biobío (7,3%) y Los Lagos (7,3%) como se presenta en la Figura 1.1 (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2022).



**Figura 1.1: Generación de residuos sólidos municipales, por región en el año 2020. (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2022).**

### 1.1.5 Disposición final de los residuos sólidos municipales en Chile

En los últimos años, se ha registrado una mayor escasez de sitios adecuados para la construcción de nuevos rellenos sanitarios, por los conflictos socioambientales que generan en el territorio. A su vez, los existentes cuentan con pocos años más de vida útil. El promedio a nivel nacional es de 12 años, y la construcción de un nuevo relleno toma aproximadamente 10 años en materializarse.

Entre 2015 y 2020 se observa un cambio importante en la disposición final de residuos no peligrosos. Para el año 2015, el 50% de los residuos totales declarados en Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) fueron enviados a eliminación a rellenos sanitarios y 40% a vertederos, mientras que en el año 2020 los rellenos sanitarios recibieron 38,3%, mientras que los vertederos bajaron a un 3,5% (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2021).

## 1.2 Gestión de los residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos, según Tchobanoglous, *et al* (1994) es la disciplina que se asocia al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza los mejores valores de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales, respondiendo a expectativas públicas.

En Chile, la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) describe a la GIRS como “todas las acciones relacionadas con el manejo de un residuo, desde antes de su generación hasta su eliminación, cuestión contraria al hábito tradicional de botar todo residuos que se genera” (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2005). A fin de garantizar un manejo de residuos sin riesgos para la humanidad y el medio ambiente, asegurando el desarrollo sustentable y eficiente del entorno, la política GIRS respaldada por la actual “Política Nacional de Residuos 2018-2030”, cuya visión es lograr una gestión sostenible de los recursos naturales, por medio del enfoque de la economía circular y el manejo ambientalmente racional de los residuos, fomenta la estrategia jerarquizada presentada en la Figura 1.2, que, por su parte promueve manejo de residuos por el orden de preferencia, en donde considera como primera alternativa la prevención en la generación de residuos, luego la reutilización, el reciclaje de los mismos o de uno o más de sus componentes y la valorización energética de los residuos, total o parcial, dejando como última alternativa su eliminación, acorde al desarrollo de instrumentos legales, reglamentarios y económicos pertinentes (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Además, el Ministerio de Medio Ambiente presentó en agosto del año 2020, la “Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040”, en la cual se propone como meta pasar de un 1% a un 66% de valorización de los residuos orgánicos generados a nivel municipal al 2040, considerando que aproximadamente el 58% de los residuos sólidos municipales, en peso, corresponde a residuos orgánicos, esto es, más del doble de lo que representan otras fracciones,

como los envases y embalajes (plástico, cartón, vidrio, latas, etc.). No obstante, la tasa de valorización de los residuos orgánicos es inferior al 1% del total de toneladas generadas cada año (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).



Figura 1.2: Jerarquización para el manejo de residuos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

### 1.3 Área de estudio

La información que se presenta a continuación se obtuvo de la “Actualización Plan de Desarrollo Comunal La Ligua 2019 – 2022” elaborada por la I. Municipalidad de La Ligua.

#### 1.3.1 Antecedentes generales

La comuna de La Ligua se encuentra ubicada en la región de Valparaíso, y forma parte de las 5 comunas que componen la Provincia de Petorca, siendo además su capital provincial. Ésta limita al norte con la comuna de Los Vilos que forma parte de la Región de Coquimbo, al sur con la comuna de Nogales, al este con las comunas de Petorca y Cabillo, por el sur oeste la comuna de Zapallar y por el oeste con la comuna de Papudo y el Océano Pacífico, como se presenta en la Figura 1.3.

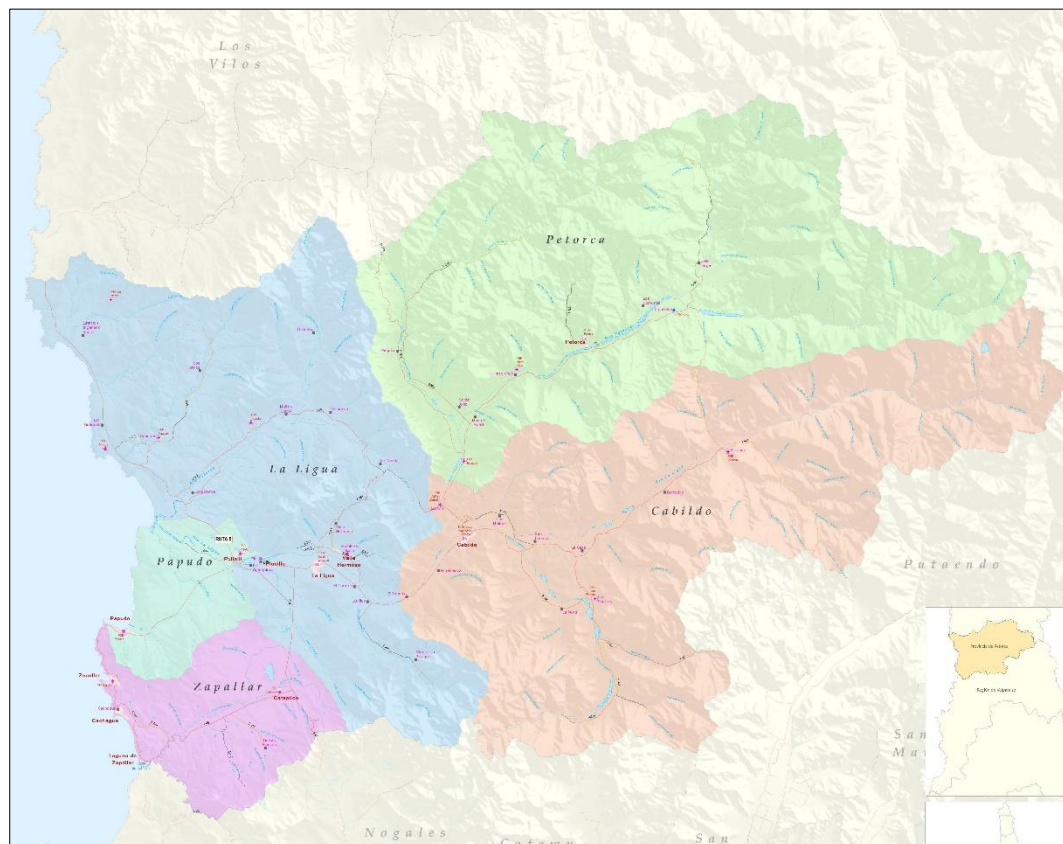


**Figura 1.3: Comunas de la Provincia de Petorca. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2011).**

La comuna se desarrolla en dos grandes áreas, por una parte, el valle interior y por otro el borde costero, lo que le otorga distintas características y condiciones geográficas. En el sector costero están los poblados de Los Molles, Pichicuy y La Ballena- Quinquelles. Adicionalmente, además de atravesar las cuencas del río Ligua y Petorca, la comuna atraviesa las cuencas de los esteros de Huaquén y Los Molles. Esta comuna ocupa una superficie de  $1.163,2 \text{ km}^2$  representando un 22% de la superficie provincial, en donde según el Censo de Población y Vivienda 2017, se cuenta con una población de 35.390 habitantes y 17.309 viviendas presentes en la comuna (Biblioteca del Congreso Nacional, 2017).

En el contexto regional, esta comuna se sitúa como un centro de mediana envergadura, que ejerce un rol relevante como centro funcional de la provincia de Petorca, y del sector norte de la región de Valparaíso, puesto que, comprende un centro secundario de servicios en áreas de salud, educación, instituciones públicas, cultura y comercio.

Las principales actividades económicas que se desarrollan en la zona de estudio están ligadas a la agricultura de cítricos y paltas principalmente, orientada al mercado internacional, persistiendo, a pesar de los problemas relacionados a la disponibilidad del recurso hídrico. Además, existen actividades de pequeña minería, industria textil y fabricación y venta de dulces.

## **1.3.2 Caracterización ambiental comunal**

### **1.3.2.1 *Clima***

El clima de la comuna, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, es principalmente Semiárido templado con lluvias invernales (BSks), hacia el poniente tiene mayor nubosidad y hacia el sur de la comuna es más templado. El promedio de precipitaciones en la Estación La Ligua durante el 2018 fue de 180 mm. En cuanto a la temperatura, el promedio anual está en torno a los 17,8 °C, siendo 24 °C y 14 °C la temperatura máxima y mínima, respectivamente, en los meses de verano y 15°C y 8°C en invierno.

### **1.3.2.2 *Geología y geomorfología***

La topografía de la zona se caracteriza por una serie de cordones o serranías que forman la Cordillera de la Costa y que se disponen principalmente según un rumbo general norte-sur. Tales cordones están interrumpidos por el valle del río La Ligua, cuyos afluentes principales son las quebradas de la Patagua, Los Ángeles y Alicahue.

Los terrenos de fundación de la ciudad de La Ligua corresponden a rellenos sedimentarios actuales a subactuales de origen coluvial y fluvial, predominando estos últimos, compuesto por mezclas en diferentes proporciones de bolones, gravas, arenas y finos. Los mantos más antiguos corresponden a secuencias volcánicas y sedimentarias marinas del cretácico.

### **1.3.2.3 *Hidrografía***

La Ligua está inserta en tres subcuencas hidrográficas, siendo las dos principales los ríos Petorca y La Ligua, las que desembocan en la bahía de la Ligua. La tercera corresponde a la subcuenca Quilimarí-Petorca.

El río La Ligua nace en la Cordillera de Los Andes con el nombre de Alicahue a unos 4.000 m.s.n.m. Antes de Cabildo cambia su nombre a río La Ligua como tal. El afluente más importante que recibe hacia aguas abajo es la quebrada La Patagua, que se une más arriba de la ciudad de La Ligua. Desemboca finalmente frente a la laguna de Longotoma.

En tanto el río Petorca nace a los 3.500 msnm de la unión de los ríos Sobrante y Pedernal, tiene una dirección noreste – suroeste, siendo el afluente más importante el estero Las Palmas. Posee un régimen hídrico nivo-pluvial con caudales mayores en primavera y largos períodos de bajo caudal.

#### **1.3.2.4 Aguas subterráneas**

En la parte norte de la región, se ubican los acuíferos de los valles de los ríos Petorca y Ligua. Ambos se encuentran declarados, por parte de la DGA, como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, desde el año 1997 Petorca, y desde el año 2004 La Ligua.

#### **1.3.2.5 Uso de suelo actual**

De acuerdo a los registros de CONAF sobre el Catastro Uso de Suelo y Vegetación para la Región de Valparaíso (2013), los usos actuales de suelo en La Ligua destacan por el alto porcentaje de bosque (53%), de los cuales la mayor parte (49%) corresponde a Bosque Nativo. Le sigue las Praderas y Matorrales con un 34%; Terrenos agrícolas en los fondos de valle y laderas de cerros con un 8%; Áreas Urbanas e industriales un 2%; Áreas desprovistas de vegetación un 2%, entre las que se incluye las playas y dunas; y los Cuerpos de agua con solo un 0,4% de la superficie comunal.

### **1.3.3 Residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua**

El Departamento de Medio Ambiente de la I. Municipalidad de La Ligua, administra el contrato de la recolección de residuos sólidos municipales de la comuna, el que corresponde en la actualidad a la empresa ECOMETRO URBANISMO S.A. en donde el destino del depósito de los residuos sólidos municipales es la empresa KDM en Tiltill, Santiago, Chile.

Cabe mencionar que el municipio cuenta con algunos convenios y programas para la valorización de residuos sólidos municipales (RSM) en donde se destaca el “Centro de Acopio” que consta de un terreno cedido por parte de Bienes Nacionales a la municipalidad para ocuparse del reciclaje. Los productos que se reciben son: papel, variedades de plásticos, envases de latas y vidrio.

## 2. PROBLEMA

Los residuos sólidos municipales (RSM) son causantes de diversos impactos ambientales, ya sean, sociales, ambientales y económicos, mediante la generación de lixiviados, olores, gases de efecto invernadero, proliferación de vectores, entre otros. Estos impactos son asociados principalmente a una inadecuada disposición final, debido a que, en la actualidad, estos residuos son destinados mayoritariamente a eliminación, mediante la disposición en rellenos sanitarios y vertederos.

La comuna de La Ligua cuenta con programas para la valorización de residuos sólidos municipales, pero ninguno se relaciona directamente a los residuos sólidos municipales orgánicos, desaprovechando de esta manera la materia orgánica, el agua, el potencial energético y los nutrientes contenidos en este tipo de residuos. Es por esto que este proyecto lo que busca es darle un aprovechamiento de oportunidades de generación de valor a este tipo de residuo.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Establecer la factibilidad técnica y económica de un sistema enfocado en el tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos generados en la comuna de La Ligua.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información, para la comuna de La Ligua, referente a la generación de residuos sólidos domiciliarios orgánicos, demografía, normativas y otras variables relacionadas con la gestión de residuos.
- Plantear una alternativa tecnológica para el tratamiento integral de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos generados en la comuna.
- Proponer un programa de seguimiento y control del proyecto.
- Evaluar técnica y económicamente la alternativa planteada para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos.

## 4 METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo se plantea una metodología dividida en cuatro fases como se presenta en la Tabla 4.1; en la primera fase se llevará a cabo un levantamiento de información referente a la generación de residuos sólidos domiciliarios orgánicos, demografía, normativas y otras variables relevantes relacionadas con la gestión de residuos de la comuna; en la segunda fase se identificará y se seleccionará la alternativa para el manejo de residuos sólidos orgánicos; luego en la tercera fase se revisará y seleccionará un programa de seguimiento y control del proyecto y por último, en la cuarta fase se evaluará técnica y económicamente la alternativa de manejo planteada para el manejo de residuos sólidos domésticos orgánicos.

**Tabla 4.1: Actividades de la metodología por objetivo específico.**

| <b>Objetivos Específicos</b> | <b>Actividades</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilar información disponible de la zona con respecto a gestión de residuos sólidos municipales.</li> <li>Diseñar y aplicar encuesta de percepción social con el objetivo de levantar información correspondiente a la determinación de hábitos y también, para la caracterización de residuos.</li> </ul> |
| 2                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de las alternativas para el manejo de residuos sólidos orgánicos.</li> <li>Seleccionar alternativa para el manejo de residuos sólidos orgánicos, mediante una consulta a expertos.</li> </ul>                                                                                                  |
| 3                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Definir los objetivos y metas que se desea alcanzar con el programa de seguimiento y control en el proyecto.</li> </ul>                                                                                                                                                                                       |
| 4                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Selección de los equipos a utilizar mediante la revisión de las fichas técnicas de los proveedores.</li> <li>Flujo de costos para ordenar y controlar los egresos de la alternativa.</li> </ul>                                                                                                               |

### 4.1 Levantamiento de información referente a la generación de residuos sólidos domiciliarios orgánicos, demografía y otras variables relacionadas con la gestión de residuos de la comuna

Se recopiló toda la información disponible sobre la zona, donde se generó una descripción detallada de ésta, en base a los antecedentes ambientales y socioculturales que estaban disponibles en otros estudios de la zona. Para esto, se realizó una revisión de antecedentes en cuales se enfocan en informes, tesis de postgrado y pregrado, papers científicos, Ley Chile, entre otros. Para esto se utilizaron plataformas webs, revistas científicas, informes comunales y nacionales, normativa, entre otros.

Además, fue necesaria la aplicación de una encuesta para el levantamiento de información comunal referente a la caracterización de los residuos como también a los hábitos y costumbre que se tengan respecto a la gestión de residuos sólidos.

Las encuestas tienen una variedad de propósitos y se pueden llevar a cabo de muchas maneras dependiendo de la metodología elegida y los objetivos que se deseen alcanzar. En este caso, se realizó una encuesta de percepción social de tipo analítica con respuestas abiertas y cerradas, según corresponda la pregunta. Esta encuesta tuvo como objetivo levantar información correspondiente a la determinación de hábitos y costumbres de la población comunal y, a su vez, obtener información con respecto a la caracterización de los residuos sólidos domésticos generados por los encuestados. En la encuesta se hicieron preguntas como el rango etario, si en su sector existen contenedores de basura y retiro de ella, que deja en mayores cantidades en su contenedor de la basura, entre otras preguntas.

El diseño y sistema de aplicación de las encuestas se ajustaron al contexto social, demográfico y contingente en que se encuentre la comuna de La Ligua.

#### 4.1.1 Diseño de la encuesta

El diseño de la encuesta fue acorde a las necesidades de información que se requería medir. En la Tabla 4.2 se presentan los elementos en los cuales se basó el diseño de la encuesta aplicada presente en el Anexo 1.

**Tabla 4.2: Elementos que se consideraron para el diseño de la encuesta.**

| Elementos                            | Consideraciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medio utilizado para recopilar datos | Se consideró el medio por el cual se realizó la recopilación de la información, esta fue vía internet mediante redes sociales personales y oficiales del municipio de La Ligua, mediante la herramienta de Google Formularios, y también, se realizó de manera personal, en donde la entrevista fue directamente a las personas. |
| Esfuerzo para responder              | La encuesta fue simple de leer y comprender.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Redacción de preguntas               | Se evitaron sesgos mediante la utilización de conceptos claros y bien definidos.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Formato de las preguntas             | Se buscó la manera más simple de realizar la encuesta, evitando las preguntas abiertas, ya que, generan mayor heterogeneidad en las respuestas.                                                                                                                                                                                  |
| Precisión de la información          | Para la obtención de información fue necesaria la utilización de un lenguaje correcto para que las personas encuestadas comprendieran el fin de las preguntas.                                                                                                                                                                   |
| Presentación visual                  | La presentación visual de la encuesta debe ser visualmente agradable en función de la plantilla y letra que se utilizó.                                                                                                                                                                                                          |
| Plan analítico                       | Se basó en los objetivos de la investigación utilizando preguntas filtros para evitar sesgos.                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 4.1.2 Determinación de la muestra representativa

Para que la muestra fuera representativa, se debió determinar el tamaño de la muestra mínima a encuestar para una población finita y conocida. Para esto se aplicó la fórmula de toma de muestra aleatoria simple, en donde todos los elementos de la población total tienen la misma probabilidad de ser seleccionados.

El tamaño muestral mínimo a encuestar se obtiene a partir de la Ecuación 1 (Cárdenas, 2021).

$$n = \frac{Za^2 * N * p * q}{d^2 * (N - 1) + Za^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

“n”, tamaño de la muestra.

“Za”, corresponde a la constante que depende del nivel de confianza que se asignó (el nivel de confianza utilizado fue del 95%, por lo que el valor de Za es de 1,96).

“N”, corresponde al tamaño de la población total (se considera la población total de la comuna de La Ligua según el Censo del año 2017 que fueron 35.390 habitantes)

“p”, corresponde a la proporción de individuos que poseen en la población la característica del estudio (se considera que el 50% de la población tiene conocimiento del tema).

“q”, corresponde a la proporción de individuos que no poseen en la población la característica del estudio (se considera que el 50% de la población se encuentra en desconocimiento del tema).

“d”, corresponde al error muestral deseado, se utiliza un 6%.

Para el cálculo, se utilizó la opción gratuita del software QuestionPro, el cual es una herramienta para crear encuestas, que permite realizar el cálculo correspondiente a la muestra representativa en base a los datos anteriormente mencionados y también, brinda la posibilidad de analizar los datos obtenidos, ya sea de respuestas cerradas, como respuestas abiertas. En lo que corresponde al análisis de los datos, se usó el software de administración de encuestas que se incluye como parte del conjunto gratuito Google Docs Editors basado en la web que ofrece Google. Esta herramienta se llama Google forms y permite ver los resultados al instante, en el momento en que se envían, y organizarlos en gráficos para consultarlos fácilmente.

## 4.2 Plantear una alternativa tecnológica para el tratamiento integral de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos generados en la comuna

Para planteamiento de la alternativa tecnológica para el tratamiento integral de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos generados en la comuna de La Ligua, fue necesario identificar todas aquellas alternativas factibles que permitan dar solución a la problemática planteada. Para esto, se realizó una revisión de las distintas alternativas disponibles para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos de manera aplicada, donde se busca que la opción de tratamiento satisfaga las necesidades particulares de la comuna por los aspectos legales, técnicos y económicos que conlleva la selección de dicha alternativa. Estas, pueden ir desde el compostaje hasta la obtención de biogás, por ejemplo. De dicha preselección de las alternativas, se preparó y realizó una consulta dirigida a un grupo de expertos con el fin de obtener una priorización de las alternativas para la posterior selección en base al contexto de la realidad comunal de la zona de estudio seleccionada.

La consulta a expertos para la selección de la alternativa correspondiente al tratamiento integral de residuos sólidos domiciliarios orgánicos se realizó con el fin de obtener alguna observación o comentario de la priorización de las alternativas preseleccionadas. El grupo de expertos a consultar debió al menos presentar una formación ligada al área de tratamiento de residuos o gestión de estos. Esta consulta, de tipo analítica, se presentó de manera individual. La priorización de estas alternativas se realizó mediante una matriz como la que se presenta en la Tabla 4.3 en donde los expertos en base a su conocimiento y la contextualización generada de la zona de estudio, completaron la matriz que considera los criterios técnicos, económicos y legales, de cada una de las alternativas preseleccionadas, con el fin de seleccionar la alternativa mediante la que obtenga el mayor puntaje. A dicha matriz y criterios mencionados, se les definieron puntajes y rangos correspondientes, los cuales cada criterio posee un rango desde el 1 al 3, en donde se podrá llegar a obtener como valor máximo 9 puntos por alternativa.

**Tabla 4.3: Matriz para la consulta a expertos.**

| Alternativa | Valoración |           |       | Comentario | Puntaje total |
|-------------|------------|-----------|-------|------------|---------------|
|             | Técnico    | Económico | Legal |            |               |
| 1           |            |           |       |            |               |
| 2           |            |           |       |            |               |
| 3           |            |           |       |            |               |
| 4           |            |           |       |            |               |
| 5           |            |           |       |            |               |
| 6           |            |           |       |            |               |
| 7           |            |           |       |            |               |
| 8           |            |           |       |            |               |

### **4.3 Propuesta de un programa de seguimiento y control del proyecto**

Para la aplicación de un formulario de seguimiento y control, fue necesario la definición de los objetivos y metas que se deseaban alcanzar con el programa de seguimiento y control, en donde, una meta se le define como el “fin al cual se dirigen las acciones o deseos de alguien” según la Real Academia Española (RAE), donde el resultado esperado que se desea lograr es a largo plazo, mientras que un objetivo se define como las acciones a corto plazo para lograr la meta general. De esta manera, se establecerán los indicadores de rendimiento en donde se utilizó un Indicador Clave de Desempeño, los cuales “son indicadores o valores cuantitativos que se pueden medir, comparar y monitorear, con el fin de exponer el desempeño de los procesos y trabajar en las estrategias de un negocio. Se trata de medir los resultados en números para aportar información real a las decisiones, no sólo percepciones y conjeturas” (SYDLE, 2023). También, en esta fase se deben definir los hitos del proyecto, que son aquellos que marcan el cambio o una etapa en el desarrollo del mismo, estos simbolizan momentos claves de los proyectos, ya que son eventos y no actividades o tareas específicas (Instituto Europeo de Posgrado, 2018).

Es por esto que la creación de una Carta Gantt para el proyecto permite ordenar lo mencionado anteriormente, debido que este diagrama organiza los proyectos, planificar el uso de los recursos económicos principalmente, y además ayuda a mantener las metas claras con sus correspondientes responsables.

Para la confección de la Carta Gantt se deben considerar los siguientes pasos:

1. Asignar un responsable del plan general (que velará porque cada uno cumpla sus tareas).
2. Hacer una lista de las tareas necesarias para llevar a cabo un proyecto.
3. Determinar una fecha de inicio y de término para cada actividad.
4. Determinar a un responsable a cada actividad que se haga.

### **4.4 Evaluación técnica y económica de la alternativa planteada para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios orgánicos**

#### **4.4.1 Evaluación técnica**

Para la evaluación técnica del proyecto es necesaria la definición de los equipos a utilizar, con su correspondiente espacio a ocupar, en conjunto con esto, la cantidad de personas a trabajar en las maquinarias e instalaciones del proyecto. Para definir las funciones de cada integrante de la planta de compostaje fue necesaria la creación de un organigrama que permitió definir los perfiles

laborales y los roles que cumple cada trabajador. Por otra parte, para definir los equipos a utilizar, fue necesaria la revisión de las fichas técnicas de los proveedores de los equipamientos para considerar las dimensiones, coeficientes de rendimientos, entre otras variables de los equipos a seleccionar. Los resultados obtenidos del primer objetivo específico sirvieron de base para el desarrollo de esta evaluación y el dimensionamiento del proyecto propuesto.

#### 4.4.2 Evaluación económica

En lo que respecta a la evaluación económica de la alternativa planteada para el manejo de estos residuos sólidos domiciliarios orgánicos, se debió efectuar una estimación de los costos e inversión (activos fijos, activos intangibles y capital de trabajo) para la implementación de las alternativas, en donde se consideran las fases de diseño, operación y mantención. En la Tabla 4.4 se presentan los costos económicos a considerar.

**Tabla 4.4: Detalles del costo económico de la propuesta.**

| <b>Etapas</b> | <b>Detalle</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Costo unitario</b> | <b>Total</b> | <b>Referencia</b> |
|---------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------|-------------------|
| Inversión     |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
| Subtotal      |                |                 |                       |              |                   |
| Operación     |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
| Subtotal      |                |                 |                       |              |                   |
| Mantención    |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
|               |                |                 |                       |              |                   |
| Subtotal      |                |                 |                       |              |                   |
| TOTAL         |                |                 |                       |              |                   |

Posterior a esto, se realizará el flujo de costos para ordenar y controlar los egresos de la alternativa planteada, en un tiempo determinado en la fase anterior, comprendiendo de mejor manera el proyecto y los costos asociados a este. Para la evaluación del proyecto se utilizara el criterio de Valor Actual de Costos (VAC) en donde se escogió la alternativa con el correspondiente al valor de VAC inferior (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Indicadores demográficos

#### 5.1.1 Población

Los datos presentados en la Tabla 5.1 fueron extraídos de los Censos de Población y Vivienda, realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), desde el año 1982 hasta el último censo que se realizó el año 2017. Además, gracias a estos datos obtenidos se hizo una proyección de los habitantes en la comuna hasta el año 2037 considerando que se realizaran censos cada 10 años. Por lo tanto, se pronostica la población para los años 2027 y 2037 como se presenta en la Figura 5.1, donde se consideran los límites de confianza, tanto inferior como superior.

**Tabla 5.1: Datos de la población de la comuna de La Ligua según Censos con proyección de la cantidad de habitantes para los años 2027 y 2037. (Fuente: Adaptado de BCN, 2017).**

| Datos       | Año  | Población |
|-------------|------|-----------|
| Obtenidos   | 1982 | 10.032    |
|             | 1992 | 27.322    |
|             | 2002 | 31.987    |
|             | 2017 | 35.390    |
| Proyectados | 2027 | 42.981    |
|             | 2037 | 48.414    |

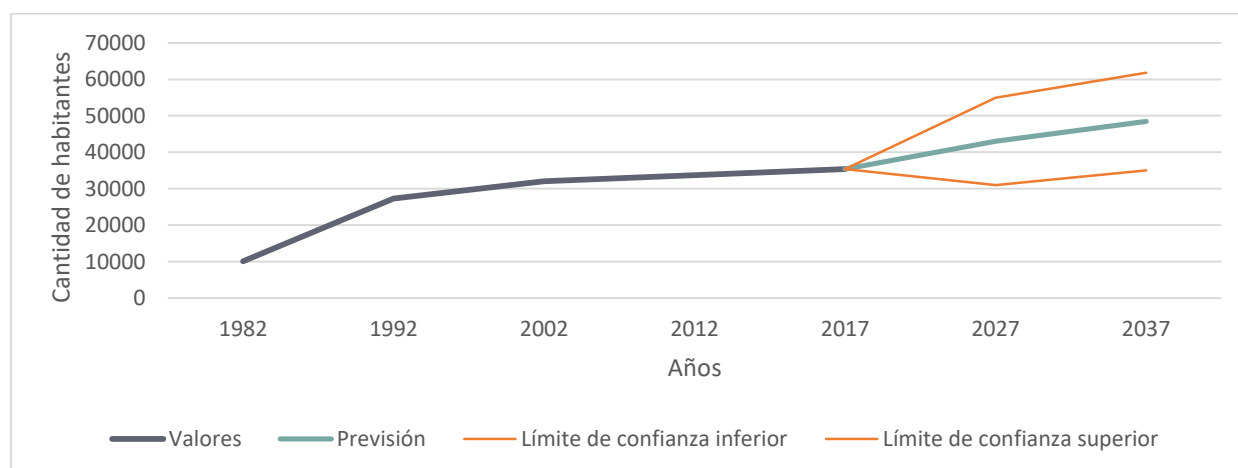


**Figura 5.1: Proyección de habitantes en la comuna de La Ligua, en base a los datos de los censos.**

### 5.1.1.1 Población por rango etario

De la población total censada el año 2017, se obtuvieron los valores de la población por rango etario como se presenta en la Tabla 5.2, en donde el 19,11% de la población era menor a 15 años, el 18,47% se encontraba en el grupo de edad de 15 a 29, el 21,23% entre los 30 a 44 años, el 26,25% entre 45 y 65 años, y, por último, el 14,94% se encontraba entre el rango de 60 o más años.

**Tabla 5.2: Cantidad de habitantes de la comuna de La Ligua, según rango etario. (Fuente: BCN, 2017)**

| Año 2017 |                        |
|----------|------------------------|
| Edad     | Cantidad de habitantes |
| 0 a 14   | 7.149                  |
| 15 a 29  | 6.980                  |
| 30 a 44  | 7.080                  |
| 45 a 64  | 9.383                  |
| 65 o más | 4.798                  |
| Total    | 35.390                 |

### 5.1.1.2 Población por pueblos originarios

En la Tabla 5.3 se presenta la población censada en el año 2017 que declaró ser de algún pueblo originario, en donde destaca la población Mapuche con un 4,5% de la totalidad de pueblos originarios.

**Tabla 5.3: Población según pueblo originario declarado en la comuna de La Ligua. (Fuente: BCN, 2017)**

| Pueblo Originario    | Total 2017 | % 2017 | Pueblo Originario         | Total 2017 | % 2017 |
|----------------------|------------|--------|---------------------------|------------|--------|
| Kawésqar/Alacalufe   | 0          | 0,0    | Yámana/Yagán              | 0          | 0,0    |
| Atacameño/LikanAntai | 6          | 0,02   | Diaguita                  | 641        | 1,87   |
| Aimara               | 271        | 0,79   | Otro pueblo               | 204        | 0,6    |
| Colla                | 21         | 0,06   | Total pueblos originarios | 2.714      | 7,94   |
| Mapuche              | 1.539      | 4,5    | Total no p. originarios   | 31.482     | 92,06  |
| Quechua              | 23         | 0,07   | Total población comuna    | 34.169     | 100,0  |
| Rapanui              | 9          | 0,03   |                           |            |        |

## 5.2 Indicadores sociales

Los datos que se presentan fueron extraídos de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 2015, y del Registro Social de Hogares (antigua Ficha de Protección Social), ambos del Ministerio de Desarrollo Social (MDS). En la Tabla 5.4 se presenta la Tasa de Pobreza de la comuna de La Ligua y en la Tabla 5.5 se presentan el porcentaje de habitantes carentes de servicios básicos y porcentaje de hogares hacinados.

**Tabla 5.4: Tasa de pobreza por ingresos y multidimensional. (Fuente: CASEN, 2015).**

| <b>Unidad Territorial</b> | <b>Por ingreso, personas (%)</b> | <b>Multidimensional, personas (%)</b> |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Comuna de La Ligua        | 17,67                            | 23,31                                 |

**Tabla 5.5: Porcentaje de personas carentes de servicios básicos y porcentaje de hogares hacinados. (Fuente: BCN, 2017).**

| <b>Unidad Territorial</b> | <b>% Personas sin servicios básicos</b> | <b>% hogares hacinados</b> |
|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| Comuna de La Ligua        | 15,3                                    | 13,7                       |

## 5.3 Residuos Sólidos Municipales

La comuna de La Ligua, actualmente dispone sus residuos sólidos municipales (RSD) en el relleno sanitario Loma Los Colorados, que se encuentra ubicado en la comuna de Tiltil, Región Metropolitana y el titular responsable es KDM empresas. Además, cabe mencionar que el municipio cuenta con algunos convenios y programas para la valorización de residuos sólidos municipales como se mencionó anteriormente, destacando de esta manera el “Centro de Acopio” que consta de un terreno cedido por parte de Bienes Nacionales a la municipalidad para ocuparse del reciclaje de productos como lo son: papel, variedades de plásticos, envases de latas y vidrio. La ubicación del Centro de Acopio se muestra en la Figura 5.2 y Figura 5.3.



**Figura 5.2: Ubicación del centro de acopio de la I. Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth)**

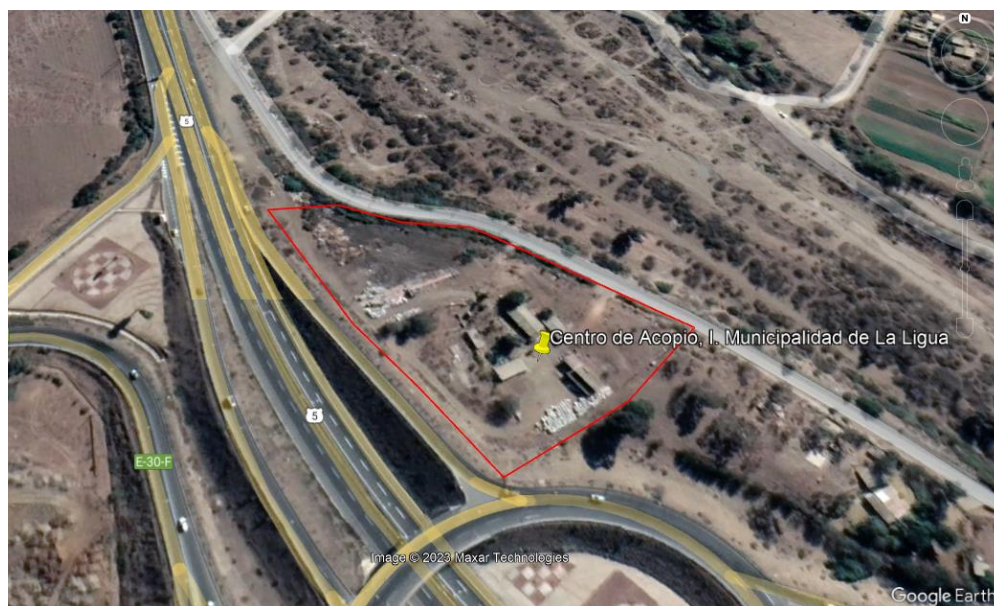


**Figura 5.3: Polígono del centro de acopio de la I. Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth)**

Por otra parte, el municipio cuenta con 4 camiones de basura los cuales sus rutas se presentan en la Figura 5.4. Generalmente, la periodicidad con la cual estos camiones transitan es de una ruta por día por cada camión, pasando por cada sector 2 veces por semana.

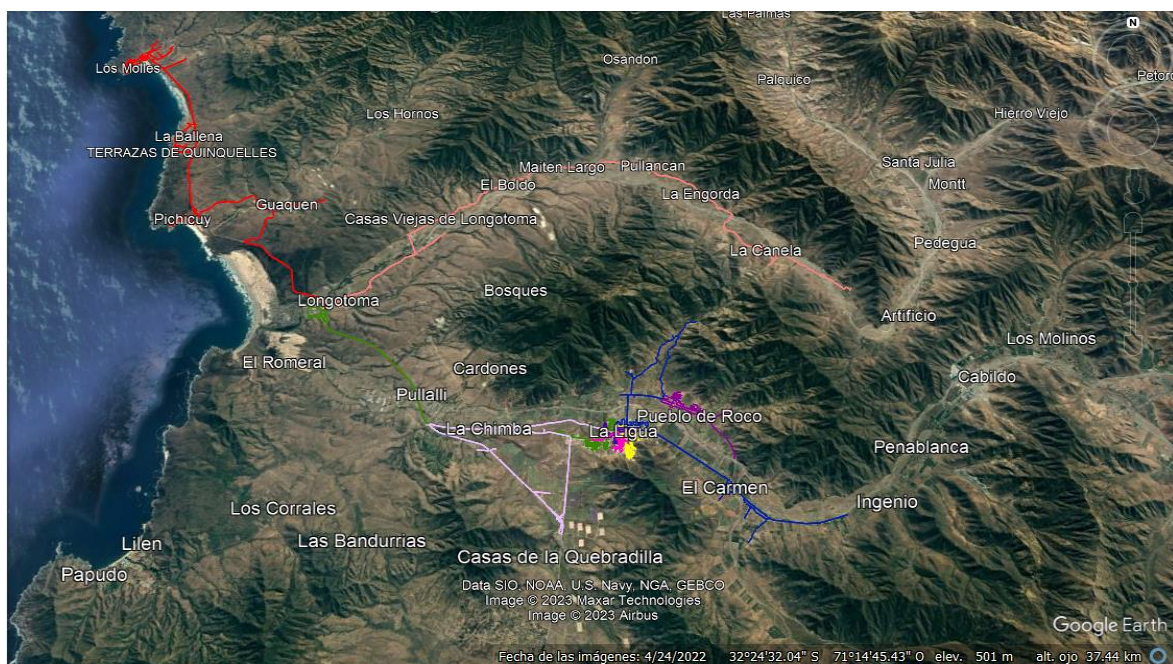


**Figura 5.4: Rutas de los 4 camiones del Municipio de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua)**

### 5.3.1 Generación histórica de los residuos sólidos municipales

En la Tabla 5.6 y en la Figura 5.5 se aprecia el comportamiento histórico de la generación de residuos sólidos municipales en disposición final por toneladas en la comuna de La Ligua.

**Tabla 5.6: Comportamiento histórico de la generación de residuos sólidos municipales. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua)**

| <b>Año.</b> | <b>Generación de residuos anual (Toneladas/año).</b> |
|-------------|------------------------------------------------------|
| 2012        | 9392,14                                              |
| 2013        | 10093,37                                             |
| 2014        | 10637,62                                             |
| 2015        | 11163,39                                             |
| 2016        | 11601,41                                             |
| 2017        | 12381,00                                             |
| 2018        | 13361,28                                             |
| 2019        | 12938,47                                             |
| 2020        | 13590,03                                             |
| 2021        | 15769,36                                             |
| 2022        | 15250,57                                             |

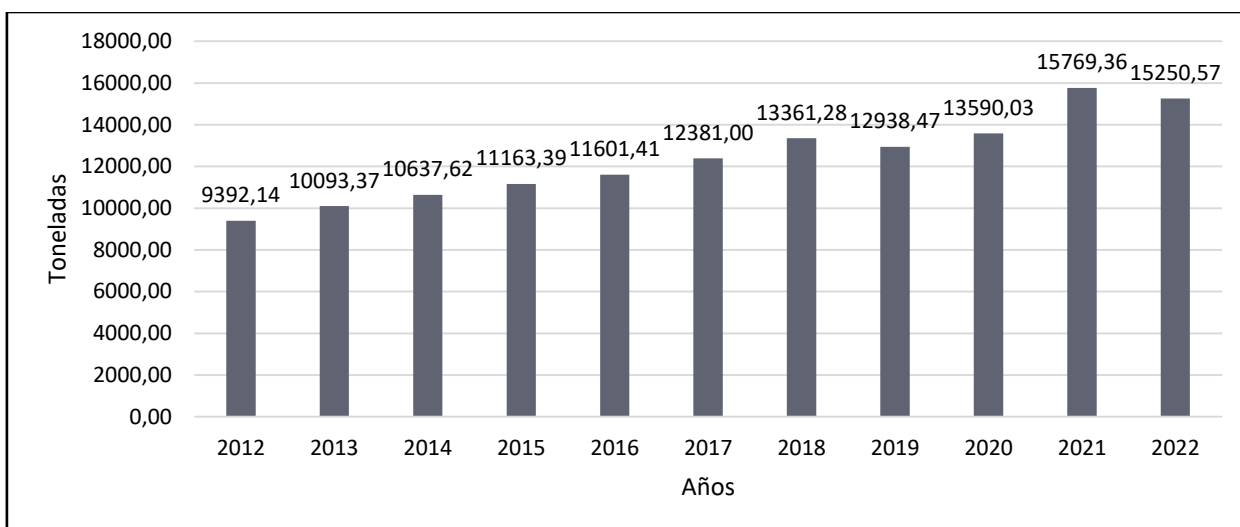


**Figura 5.5: Toneladas anuales de residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua)**

En base a la información obtenida se hizo una proyección de las toneladas de los residuos al año 2030, como se presenta en la Figura 5.6, donde se consideran los límites de confianza, tanto inferior como superior.

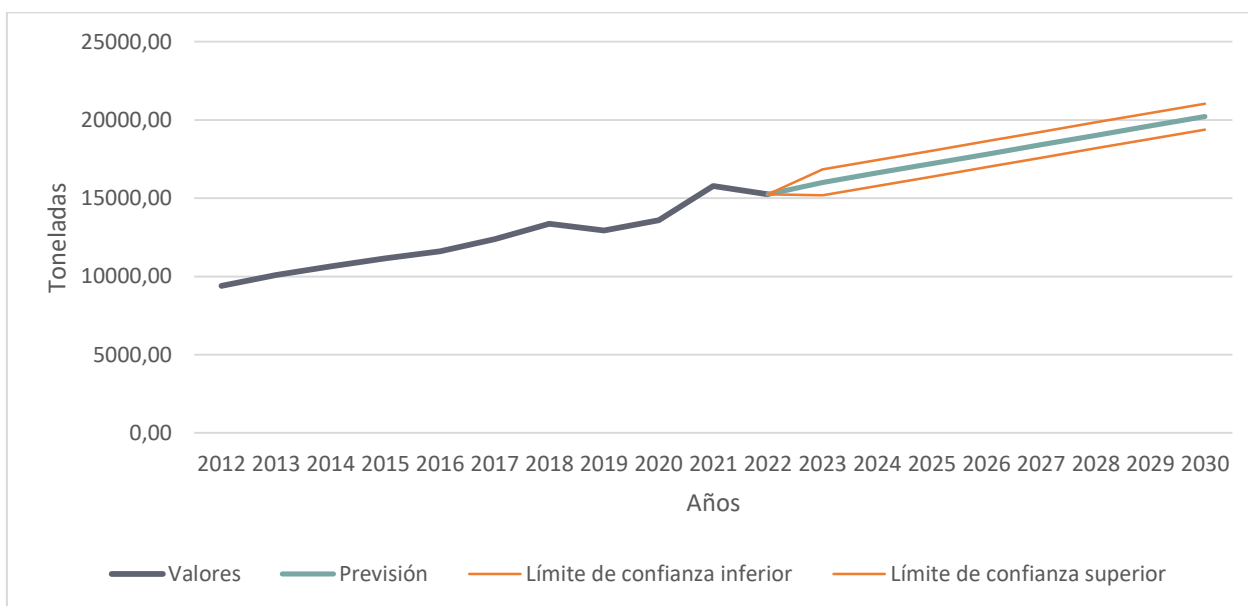


**Figura 5.6: Proyección de las toneladas de residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua hasta el año 2030.**

### 5.3.2 Costos asociados al manejo de los residuos

Los costos asociados a los servicios de recolección, transporte y disposición final de la comuna presentados en la Tabla 5.7 y Figura 5.7 consideran también los costos asociados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales fueron licitados y se los adjudicó a KDM empresas. En la Tabla 5.8 se muestra el cobro de disposición final por tonelada desde el año 2019 al año 2023 cobrados por dicha empresa. En lo que respecta a los costos de recolección y transporte, éstos son licitados y han sido adjudicados a la empresa EcoMetro Urbanismo S.A.

**Tabla 5.7: Costos asociados a los servicios de recolección, transporte y disposición final de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua)**

| Año  | Costos disposición final | Costos de recolección y transporte | Costos totales   |
|------|--------------------------|------------------------------------|------------------|
| 2018 | \$ 81.931.369            | \$ 755.412.000                     | \$ 837.343.369   |
| 2019 | \$ 81.695.882            | \$ 778.200.099                     | \$ 859.895.981   |
| 2020 | \$ 86.079.970            | \$ 803.296.386                     | \$ 889.376.356   |
| 2021 | \$ 105.638.941           | \$ 827.878.467                     | \$ 933.517.408   |
| 2022 | \$ 108.369.642           | \$ 1.021.184.257                   | \$ 1.129.553.899 |

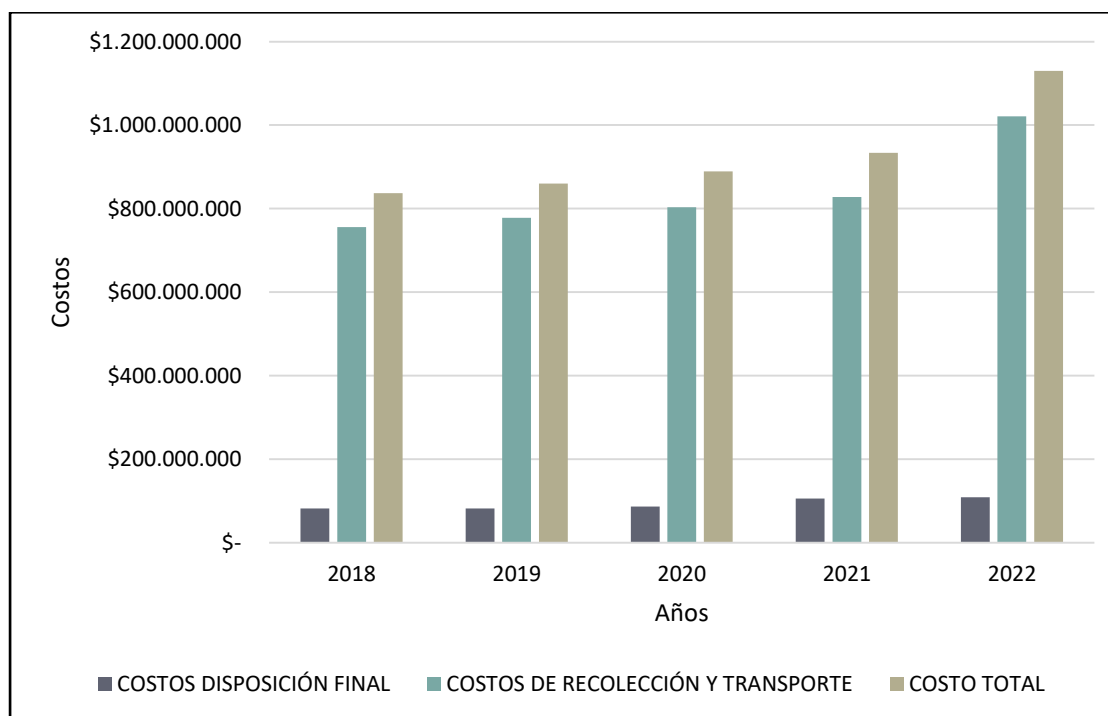


**Figura 5.7: Costos asociados a la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).**

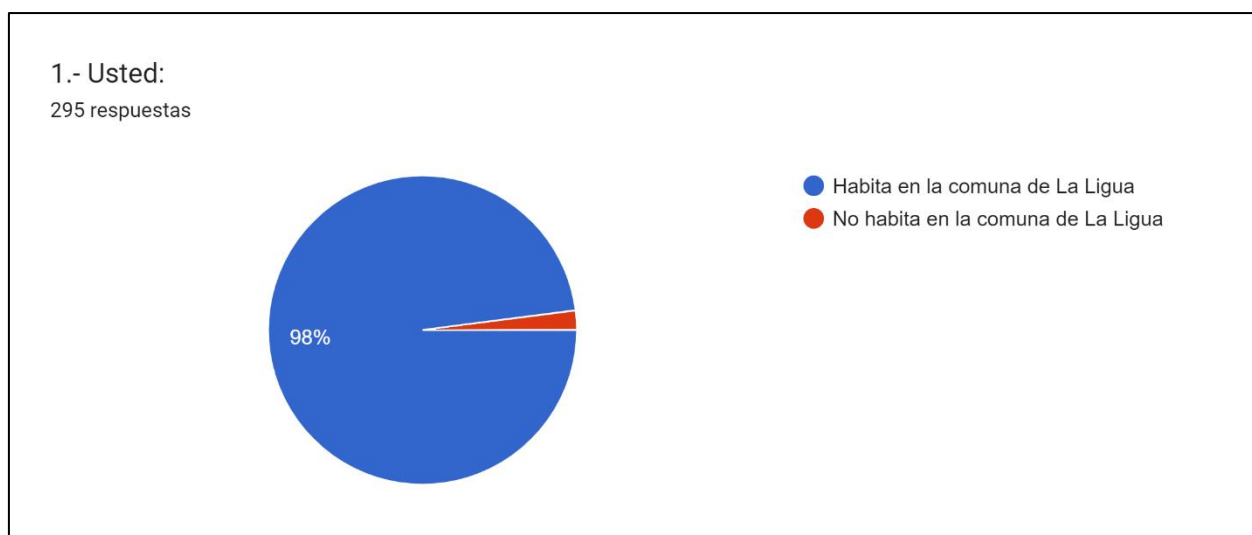
**Tabla 5.8: Costos por disposición final de KDM empresas por año. (Fuente: I. Municipalidad de La Ligua).**

| Costos por disposición final |                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Año                          | KDM empresas                                                                                                                                                                   |
| 2019                         | Licitación 2784 - 6 LQ18 Contrato por dos años 1 enero 2019 al 31 diciembre 2020, \$6.316 por tonelada, reajutable según IPC.                                                  |
| 2020                         |                                                                                                                                                                                |
| 2021                         | Licitación 2784 - 6 LQ18 anexo de Contrato por sesis meses desde el 1 de enero 2021, anexo de contrato extendido hasta junio 2021, \$6.699 por tonelada, reajutable según IPC. |
| 2022                         | Licitación 2784-7-LQ22 Contrato por dos años desde el 1 de agosto 2022 hasta 31 julio 2024 \$7.148 por tonelada.                                                               |
| 2023                         |                                                                                                                                                                                |

### 5.3.3 Encuesta

La encuesta de percepción realizada a los habitantes de la Comuna de La Ligua se presenta en el Anexo 1. Esta fue respondida a través de la herramienta Google Forms con un total de 293 respuestas, superando las 267 respuestas necesarias para que la muestra sea representativa de los habitantes de la comuna. Las encuestas fueron realizadas a través de dos métodos; difusión a través de redes sociales, la cual fue asistida además por la Ilustre Municipalidad de La Ligua y por medio de encuestas presenciales realizadas en la Plaza de Armas de La Ligua, playa de Los Molles y en la localidad de Longotoma pertenecientes a la misma comuna.

De estas, 289 respuestas pasaron la pregunta filtro, en donde los encuestados respondieron que habitaban en la comuna como se presenta en el Figura 5.8.

**Figura 5.8: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 1 de la encuesta.**

De la totalidad de la población encuestada que habita en la comuna, solamente 2 pertenecen al rango de menor de 15 años de edad (0,7%) y la mayor proporción, con 120 (41.5%) personas, se encuentra en el rango de 31 a 50 años de edad, como se presenta en el Figura 5.9

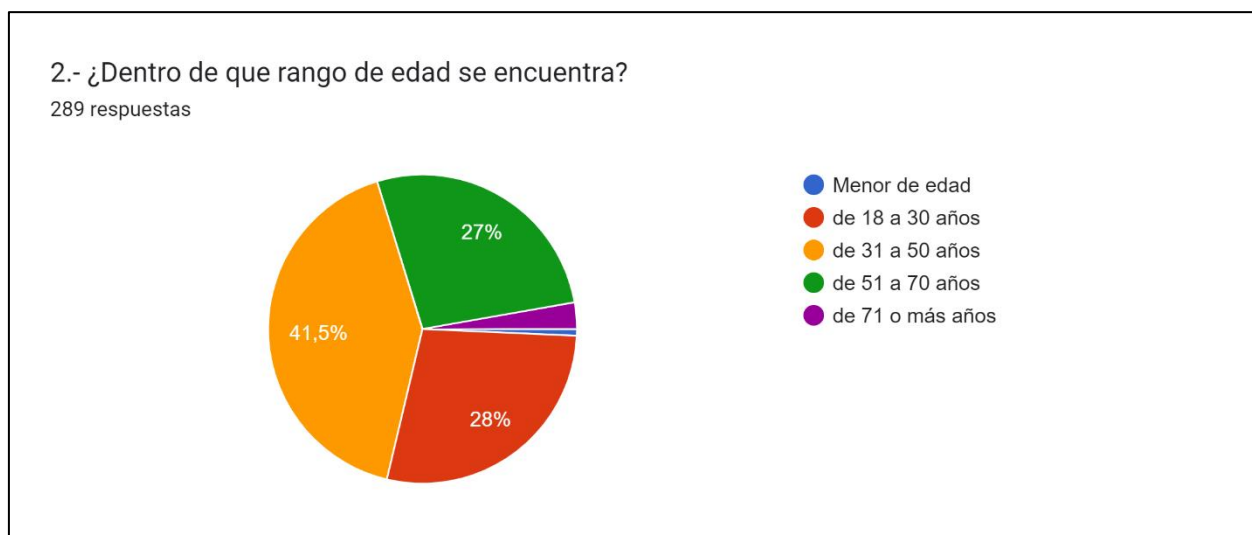


Figura 5.9: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 2 de la encuesta.

### 5.3.3.1 Residuos sólidos municipales

En lo que respecta a residuos sólidos municipales, la población encuestada menciona que lo que desecha en mayor proporción al contenedor de basura son residuos orgánicos con un 42.9%, lo sigue con un 24,2% papeles y/o cartón y 24.2% en lo que respecta a plásticos, como se presenta en la Figura 5.10

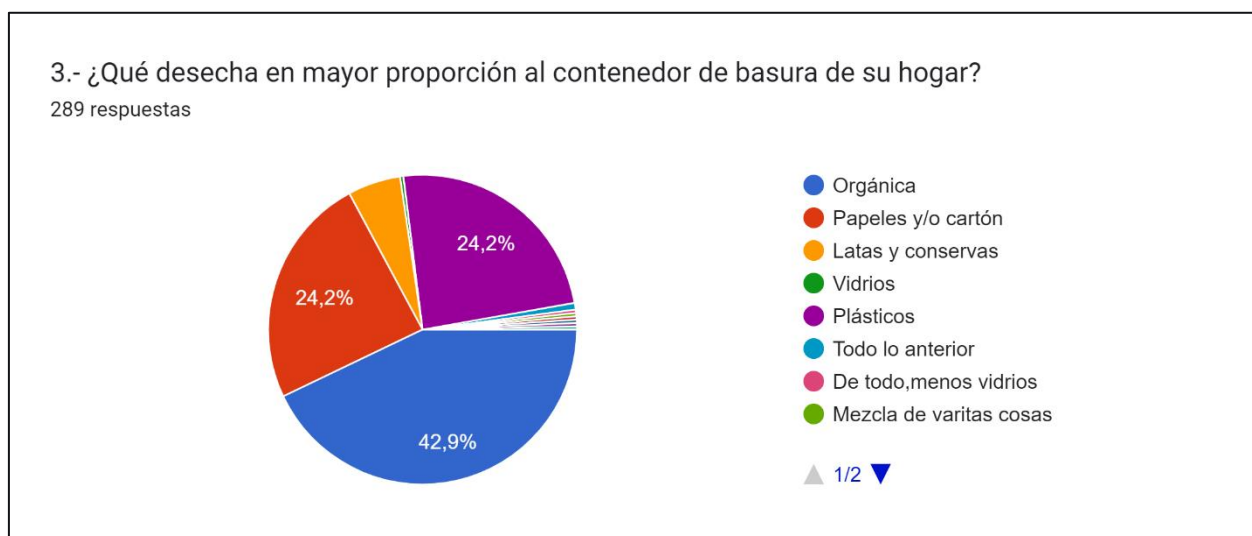


Figura 5.10: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 3 de la encuesta.

Además, según lo solicitado en la encuesta, la municipalidad de la Ligua le presta servicio de aseo de retiro de residuos al 87,2% (252 personas) de la población encuestada y 12,8% (37 personas) a la que no cubre el servicio de aseo, como se presenta en la Figura 5.11.



**Figura 5.11: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 8 de la encuesta.**

De la totalidad de la población encuestada el 63% no conoce los puntos verdes o puntos limpios de la comuna de La Ligua, mientras que solo el 37% de la población encuestada conoce estos puntos. Esta situación se refleja en la Figura 5.12.

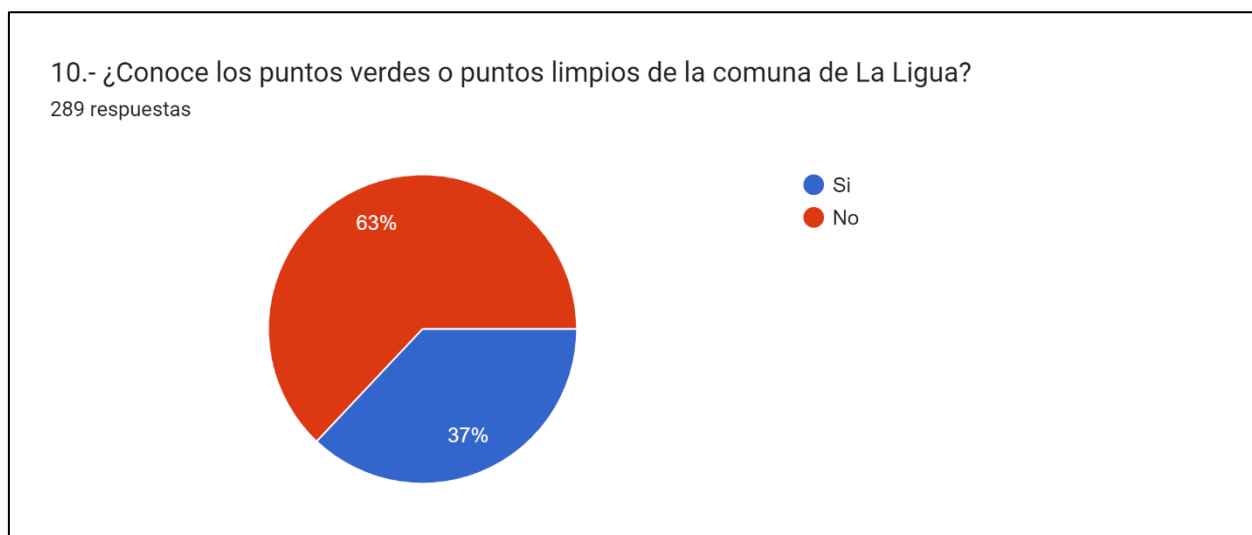


**Figura 5.12: Respuestas en porcentaje (%) de la pregunta 10 de la encuesta.**

El porcentaje de la población que recicla o separa algún material es de 49,1% con una cantidad de 142 personas como se presenta en la Figura 5.13, en donde en mayor proporción separa vidrios con un 62,7%, plásticos con un 52,8% y residuos orgánicos con un 36,6%, de acuerdo a lo presentado en la Figura 5.14.

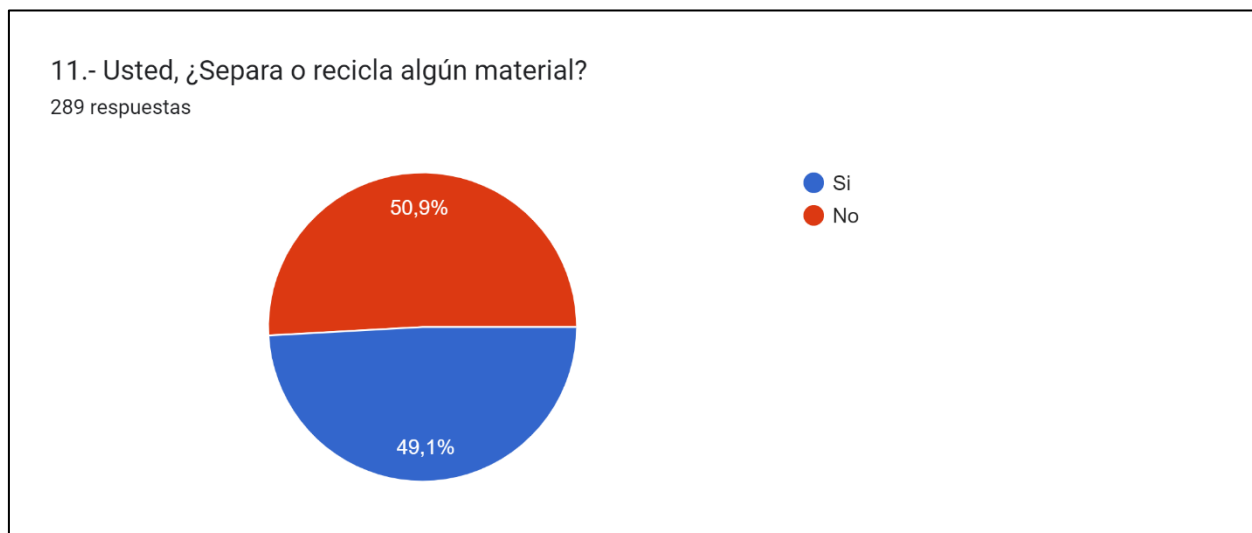


**Figura 5.13: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 11 de la encuesta.**

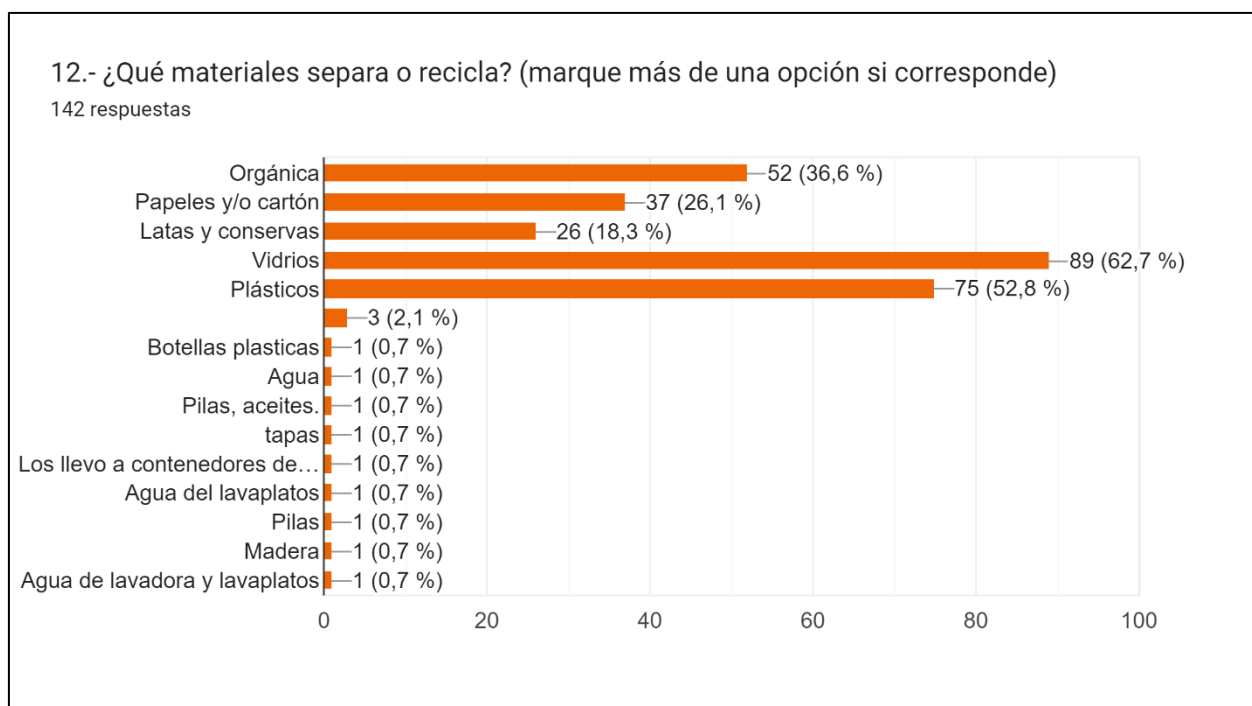


**Figura 5.14: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 12 de la encuesta.**

### 5.3.3.2 Caracterización de residuos

La empresa encargada de la recolección y transporte de los residuos sólidos municipales de la comuna de La Ligua, EcoMetro Urbanismo S.A. realizó un estudio de caracterización de residuos en marzo del año 2020, obteniendo como principal resultado la composición de los residuos sólidos municipales generados en la comuna presentado en la Figura 5.15 y en la Tabla 5.9.

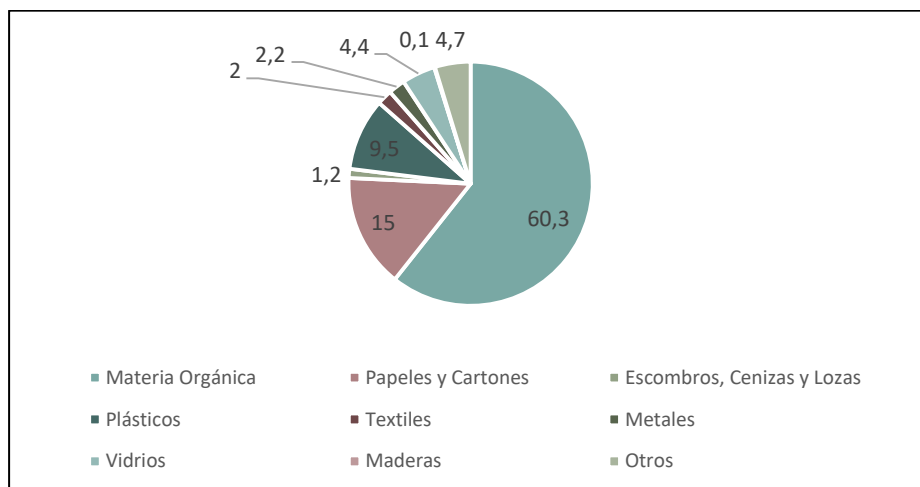


**Figura 5.15: Caracterización de residuos sólidos urbanos, comuna de La Ligua. (Fuente: EcoMetro Urbanismo S.A., 2020).**

**Tabla 5.9: Caracterización de residuos sólidos urbanos, comuna de La Ligua. (Fuente: EcoMetro Urbanismo S.A., 2020).**

| Componente                 | Composición (%) |
|----------------------------|-----------------|
| Materia Orgánica           | 60,3            |
| Papeles y Cartones         | 15              |
| Escombros, Cenizas y Lozas | 1,2             |
| Plásticos                  | 9,5             |
| Textiles                   | 2               |
| Metales                    | 2,2             |
| Vidrios                    | 4,4             |
| Maderas                    | 0,1             |
| Otros                      | 4,7             |

Según lo consultado a los habitantes de La Ligua, estiman que de la totalidad de los residuos sólidos domiciliarios desechados están compuestos del 30% en primera mayoría de residuos orgánicos domiciliarios y 50% en segunda mayoría, estos resultados se presentan en la Figura 5.16.

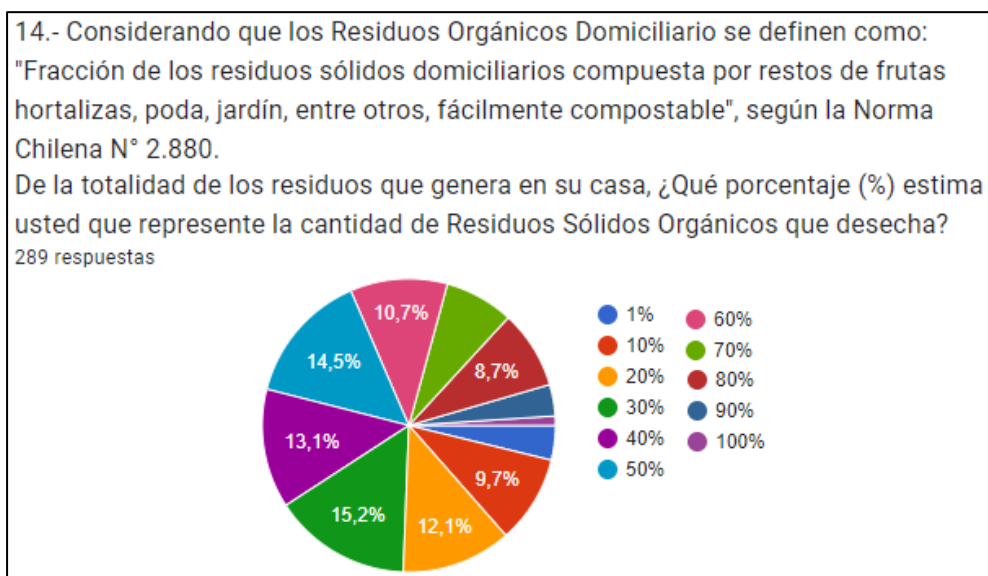


**Figura 5.16: Respuesta en porcentaje (%) de la pregunta 14 de la encuesta.**

## 5.4 Normativa

En la Tabla 5.10 se presenta la normativa relacionada al tratamiento de residuos orgánicos, esta puede ser directamente relacionada a la alternativa escogida, como puede ser normativa aplicable para cualquiera de las otras alternativas propuestas para su selección.

**Tabla 5.10: Normativa Aplicable.**

| <b>Fecha de Publicación</b> | <b>Normativa</b>    | <b>Organismo</b>                                    | <b>Título</b>                                                                                                   |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09/03/1994                  | Ley 19.300          | Ministerio Secretaría General de la Presidencia     | Aprueba Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente                                                            |
| 05/01/2008                  | Decreto 189         | Ministerio de Salud, Subsecretaría de Salud Pública | Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios               |
| 01/06/2016                  | Ley 20.920          | Ministerio del Medio Ambiente                       | Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. |
| 09/10/1947                  | Decreto 4.740       | Ministerio del Interior                             | Aprueba el Reglamento Sobre Normas Sanitarias Mínimas Municipales                                               |
| 31/03/1968                  | DFL 725             | Ministerio de Salud                                 | Código Sanitario                                                                                                |
| 02/02/2017                  | Decreto 119         | Ministerio de Energía                               | Aprueba el reglamento de plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas.     |
| 17/03/2005                  | Decreto supremo 138 | Ministerio de Salud                                 | Establece la obligación para declarar las emisiones generadas.                                                  |
| 29/08/2016                  | NCh 3382            | Instituto Nacional de Normalización                 | Gestión de residuos – Plantas de compostaje – Consideraciones para el diseño y operación                        |
| 2004                        | NCh 2880            | Instituto Nacional de Normalización                 | Compost – Clasificación y requisitos.                                                                           |
| 29/08/2016                  | NCh 3381            | Instituto Nacional de Normalización                 | Gestión de Residuos - Plantas de digestión anaeróbica - Consideraciones para el diseño y operación              |
| 27/09/2013                  | NCh 3321            | Instituto Nacional de Normalización                 | Caracterización de residuos sólidos municipales (RSM)                                                           |

Para no todas las alternativas posibles del tratamiento de residuos orgánicos existe normativa aplicable, pero para evitar estos sesgos se le realiza una consulta a expertos, a los cuales se les solicita realizar una valoración respecto al criterio legal, entre otros, que ellos conozcan, en donde se considera la normativa para al diseño, operación y si es necesario, el control de la alternativa seleccionada según corresponda.

## **5.5 Descripción de las alternativas para el manejo de los residuos sólidos orgánicos municipales.**

### **5.5.1 Compostaje**

El compostaje es un proceso biotecnológico que combina fases mesófilas y termófilas, sumamente eficaz en la descomposición y estabilización de la materia orgánica como consecuencia de las actividades metabólicas combinadas de una amplia gama de microorganismos, cuyo crecimiento está condicionado por la temperatura de la masa, el porcentaje de humedad y la concentración de oxígeno, así como la naturaleza variable del sustrato. El compostaje es, por tanto, un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica. Las poblaciones que intervienen varían continuamente, sustituyéndose unos grupos por otros, ya que el carácter dinámico del proceso implica la aparición gradual de diferentes sustratos y distintas condiciones ecológicas (Jiménes, 2014)

Debido a lo mencionado anteriormente, la descripción de los microorganismos que intervienen es complicada, ya que las poblaciones y las comunidades varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, nutrientes, oxígeno, contenido de agua, pH, etc. Los microorganismos que más participan en el proceso son hongos y actinomicetos por su capacidad para degradar residuos de plantas y animales como celulosa, quitina y pectina, y en algunos por su termotolerancia (Camacho et al., 2014).

En el compostaje de residuos orgánicos se puede diferenciar una fase biooxidativa, donde predominan las reacciones enzimáticas degradativas de las moléculas orgánicas (en condiciones termófilas fundamentalmente) y una fase de maduración, con reacciones de condensación y polimerización semejantes al proceso de humificación en el medio natural. La separación en el tiempo de estas dos fases, se realiza por motivos prácticos, ya que ambos procesos, aunque comportan velocidades de reacción diferentes, son interdependientes en ciertos aspectos y en parte presentan un elevado grado de simultaneidad (Jiménes, 2014).

En la Figura 5.17 se presentan las cuatro (4) fases del compostaje según el Manual del compostaje del agricultor de la FAO del año 2013, estas son:

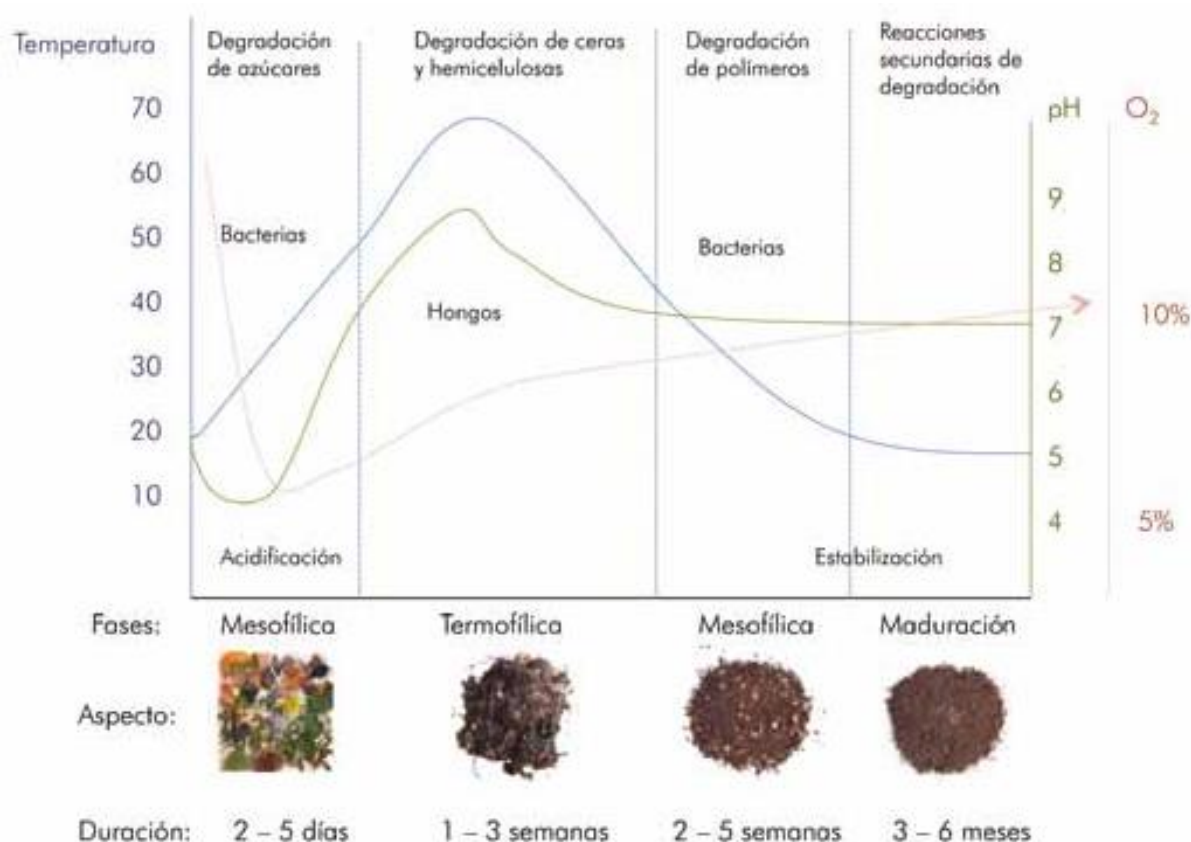


Figura 5.17: Variación en la temperatura, oxígeno y pH en las etapas del compostaje. (Fuente: FAO, 2013)

### Fase Mesófila:

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

### Fase Termófila o de higienización:

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros

compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y el lugar, entre otros factores.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, como se verá en el capítulo 3.4, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

### **Fase de Enfriamiento o Mesófila II:**

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista (Figura 4). Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

### **Fase de Maduración:**

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Factores principales a considerar en el proceso de compostaje (Docampo, 2013):

- **Temperatura:** La temperatura de la biomasa es el parámetro del proceso de compostaje más comúnmente utilizado para describir la evolución y el estado del mismo, al tiempo que permite un fácil seguimiento del proceso, debido a que el proceso genera calor, lo cual es beneficioso pues se logra conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.
- **Humedad:** El agua es un elemento esencial para la sobrevivencia de los microorganismos más activos en el proceso de compostaje, considerándose óptimo para el proceso un contenido de humedad de 50-60%. Se debe evitar generar una sobre humectación, ya que, puede generar que el proceso se vuelva anaerobio y si el contenido de humedad es menor, el proceso se vuelve lento.
- **pH:** El nivel de acidez o alcalinidad que se da en el proceso de compostaje es importante, si bien el proceso tiene lugar en un amplio rango de valores de pH. Se considera que los valores adecuados para la mezcla de partida se encuentran en el rango entre 5,5 y 8,0. Este influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. Si es necesario corregir el pH inicial de las materias primas, se agrega cal apagada en caso que el medio este muy ácido y sales acidas cuando el medio este alcalino.
- **Oxígeno:** El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. Sin suficiente oxígeno el proceso se convertirá en anaerobio, el objetivo del

proceso no se alcanzará, se perderá nitrógeno y se liberarán gases al ambiente con la producción de olores indeseables.

El compostaje es una tecnología de bajo costo, que garantiza que los residuos orgánicos vinculen sus componentes en el ciclo de la cadena de producción primaria, además permite mejorar las condiciones físico-químicas del suelo y aumenta la productividad de los cultivos (Torres Mora, Trujillo González, & Vargas Pineda, 2019). Los sistemas más comunes de compostaje utilizados a pequeña y mediana escala son los de tipo pilas estáticas, hileras con volteo y las de pilas estáticas con aireación.

### Parámetros del compostaje

En la Tabla 5.11 se presentan los parámetros del compostaje al paso del tiempo, según el Manual del compostaje del agricultor de la FAO, del año 2013.

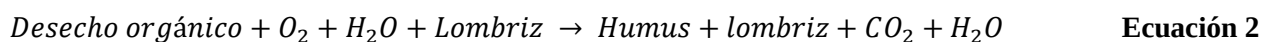
**Tabla 5.11: Parámetros del compostaje. (Fuente: FAO, 2013).**

| Parámetro                    | Rango ideal al comienzo (2-5 días) | Rango ideal para compost fase termófila II (2-5 semanas) | Rango ideal de compost maduro (3-6 meses) |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| C:N                          | 25:1 – 35:1                        | 15/20                                                    | 10:1 – 15:1                               |
| Humedad                      | 50% - 60%                          | 45% - 55%                                                | 30% - 40%                                 |
| Concentración de oxígeno     | -10%                               | -10%                                                     | -10%                                      |
| Tamaño de partícula          | <25 cm                             | ~ 15 cm                                                  | <1,6 cm                                   |
| pH                           | 6,5-8,0                            | 6,5-8,0                                                  | 6,5-8,0                                   |
| Temperatura                  | 45-60 °C                           | 45°C– temperatura ambiente                               | Temperatura ambiente                      |
| Densidad                     | 250-400 $kg/m^3$                   | <700 $kg/m^3$                                            | <700 $kg/m^3$                             |
| Materia orgánica (Base seca) | 50%-70%                            | >20%                                                     | >20%                                      |
| Nitrógeno                    | 2,5-3 %                            | 1-2 %                                                    | ~1 %                                      |

### 5.5.2 Lombricultura

La lombricultura es un proceso mediante el cual todo tipo de desechos biodegradables, como desechos agrícolas, desechos de cocina, desechos de mercado, biorresiduos de industrias agrícolas, desechos de ganado, etc., se convierten en vermicompost rico en nutrientes mientras pasan a través del intestino de lombriz. Aquí se utilizan gusanos “vermi” que actúan como agentes biológicos para consumir esos desechos y depositar excrementos en el proceso llamado vermicompost. Este es un proceso biotecnológico simple de compostaje, en el que se utilizan ciertas especies de lombrices para mejorar el proceso de conversión de desechos y producir un mejor producto. El lombricompostaje es un proceso mesófilo que utiliza microorganismos y lombrices de tierra que están activos entre 10°C y 32°C (temperatura dentro de la pila de material orgánico húmedo). El proceso es más rápido que el compostaje debido a que el material pasa a través del intestino de las lombrices, se produce una transformación significativa, aunque no completamente comprendida, mediante la cual los excrementos de lombrices resultantes (estiércol de lombriz) son ricos en actividad microbiana y reguladores del crecimiento de las plantas, y también están fortificados con atributos de repelencia de plagas. (Adhikary, 2012)

El fundamento de la lombricultura se resume en la Ecuación 2 (Moya Arteaga, 2011):



Para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, a pesar de ser originaria de Europa. Recibe la especie el nombre de foetida por el olor de los exudados que produce, los cuales presumiblemente son una adaptación antipredadores. Esta especie de lombriz, es muy hábil en su alimentación, de forma que cada 24 horas consume alimento correspondiente a su propio peso. La lombriz obtiene su alimento a partir de materiales orgánicos vegetales, animales o mixtos, frescos o en diferente estado de descomposición, para producir más biomasa de lombriz (crecimiento y nuevas lombrices) y estiércol. Esta especie requiere de altas concentraciones de materia orgánica para su alimentación, y de igual forma requiere de ciertas condiciones ambientales como una temperatura óptima de 19-25°C, con humedad del 80%, pH de 6,5-7,5 y baja luminosidad. La supervivencia de la lombriz depende de la cantidad de materia orgánica en el medio, disminuyendo la supervivencia según baja el porcentaje de materia orgánica (Martínez et al., 2013). La proporción general del proceso de lombricultura se presenta en la Tabla 5.13.

**Tabla 5.12: Proporción general del proceso de lombricultura. (Fuente: Díaz, 2002)**

| Unidad              | Proporción                                            |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| 1 lombriz           | Pesa 1 [g]                                            |
|                     | Consume 1 [g] de materia orgánica                     |
| Del total consumido | Transforma en 60% humus                               |
|                     | Utiliza el 40% en mantención y crecimiento de tejidos |
| 1000 lombrices      | Generan 0,6 [kg/día] de humus                         |
|                     | Generan 0,4 [kg/día] de proteína                      |

Las lombrices son hermafroditas, es decir, están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de autofecundarse, y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada. Durante el apareamiento se intercambian espermatozoides que no fecundan inmediatamente a los óvulos. Luego de producirse la fecundación, depositan en el lugar donde se alimentan 3 cápsulas de paredes resistentes (llamadas cocones o cocun o capullo) conteniendo cada una de 3 a 10 lombrices pequeñas. Estas lombrices, que son iguales a las adultas pero de color blanco y más pequeñas, están sometidas a peligros que puedan ser mortales para su delicada textura como: falta de comida, presencia de algún producto tóxico, enemigos naturales, etc. Haciendo que disminuya apreciablemente el número inicial, llegando aproximadamente un 50% al estado adulto (Díaz, 2002).

Los individuos juveniles inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses, cuando pasan a ser adultos y están sexualmente maduros. Para este momento alcanzan más o menos 3 cm. Finalmente a los 7 meses, alcanzan su peso y tamaño final de 1 g y 7-8 cm de largo, viviendo en promedio 10 años (Martínez et al., 2013). En la Figura 5.18 se presentan los 4 estadios o edades de las lombrices.



**Figura 5.18: Imágenes representativas de los estadios o edad de la lombriz. 1.- Cocones, puesta o capullo; 2.- Juveniles, lombrices transparentes, o con leve pigmento rojo. 3.- Subadultos, bien pigmentados pero carentes de clitelo; y 4.- Adultos son aquellos que poseen clitelo. (Fuente: INVERSA, 2011).**

En la Tabla 5.13 se presentan las condiciones óptimas para la lombriz roja californiana.

**Tabla 5.13: Condiciones óptimas de la lombriz roja californiana. (Fuente: VERNICAN, 2019)**

|             |                                       |
|-------------|---------------------------------------|
| Temperatura | 15 – 20% (límites 4 - 35%             |
| Humedad     | 80 – 90% (límites 60 - 90%)           |
| pH          | Entre 5 y 9                           |
| Oxígeno     | Requiere oxígeno, respira por su piel |

En la Tabla 5.14 se presentan los requerimientos para el cultivo de lombrices.

**Tabla 5.14: Requerimientos para el cultivo de lombrices. (Fuente: Martínez et al., 2013).**

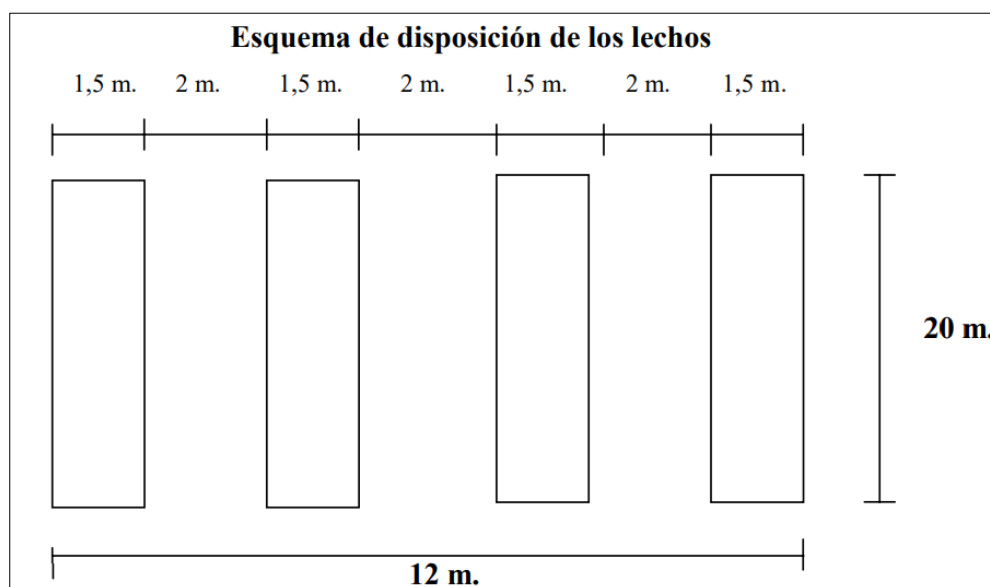
|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contenedor o cama   | Existen diferentes opciones, tamaños y calidad de contenedores para cultivar lombrices, lo importante es que sean recipientes abiertos para que se facilite la alimentación y la visualización, normalmente estos contenedores son de madera. Las lombrices normalmente profundizan en el sustrato buscando alimento, pero no lo hacen más allá de 40 cm, por lo que la cama debe tener una profundidad de 50-60 cm y 1 m de ancho, siendo el largo en función del área disponible en la finca. La cama debe estar protegida de la lluvia, la luz del sol y temperaturas extremas en tiempos de heladas o invierno. |
| Sustrato            | Normalmente se emplea una mezcla de suelo con material orgánico fresco (restos de vegetales, estiercol, etc) en una proporción de 3:1, o material orgánico compostado con material fresco en proporción 2:1 respectivamente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Pie de cría-lombriz | El pie de cría se obtiene comercialmente. La recomendación más común es un kilo de lombriz comercial por metro cuadrado de lecho. También se puede obtener el pie de cría a partir de las mismas camas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

En la Tabla 5.15 se mencionan los ítems principales a considerar para la producción de humus de lombriz del proceso de vermicompostaje (Díaz, 2002).

**Tabla 5.15: Ítems a considerar para la producción de hummus de lombriz. (Fuente: Díaz, 2002).**

|               |                                                                                                                                                                                        |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Herramientas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Palas anchas</li> <li>- Carretillas</li> <li>- Rastrillos</li> <li>- Mangueras</li> </ul>                                                     |
| Instrumental  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Termómetro para la cuna o contenedor</li> <li>- Peachímetro</li> <li>- Higrómetro</li> </ul>                                                  |
| Maquinarias   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trituradora para los residuos</li> <li>- Balanzas</li> <li>- Harneros o cribas</li> </ul>                                                     |
| Instalaciones | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura protectora del proceso</li> <li>- Cunas o contenedores de producción</li> <li>- Cunas o contenedores para reproducción.</li> </ul> |

El cultivo al aire libre, en donde la lombriz no posee al respecto exigencias específicas, mediante lechos colocados sobre cualquier tipo de terreno es el modo más sencillo y menos costoso para la producción de humus de lombriz, sin instalaciones ni estructuras de ningún tipo. La altura de estos lechos puede alcanzar unos 40cm de altura, lo que le da una excelente superficie para el proceso. En la Figura 5.19 se presenta la disposición de los lechos de manera teórica. Los lechos se disponen de forma paralela y continua, debido a que se utiliza el sistema de trapeo de lombrices que consiste en dejar de alimentar a las lombrices por 8-10 días y el objetivo es lograr que las lombrices californianas se pasen de cama a medida que se va alimentando con el “alimento fresco” que se coloca a un costado de la pila en la que se alojan. Posteriormente es posible cosechar el humus del costado contrario de la pila a medida que se marchan en busca de alimento nuevo.

**Figura 5.19: Esquema generalizado de la disposición de los lechos. (Fuente: Díaz, 2002)**

### 5.5.3 Mosca soldado negra

*Hermetia illucens*, la mosca soldado negra-BSF (Black Soldier FLY), se clasifica en el orden Diptera, el cual se conforma principalmente de insectos que cuentan con alas posteriores en su anatomía como se presenta en la Figura 5.20. Físicamente se caracteriza por tener una estructura alargada en color negro, muy diferente a la mosca común (Olvido et al., 2022).



**Figura 5.20: Comparación de la Mosca soldado negro con la mosca común. (Fuente: Ciencia, 2022)**

Gobbi et al. (2013) indican que “Las larvas de *Hermetia illucens* se alimentan de diferentes tipos de materia orgánica en descomposición y su desarrollo depende de la calidad y cantidad de alimento ingerido”.

Es una especie de mosca endémica de las zonas tropicales, subtropicales y templadas cálidas de América. Esta especie saprófaga depende de su entorno donde encuentra la materia en descomposición para que crezcan las larvas. La dieta polífaga y la calidad de los macronutrientes (principalmente lípidos y proteínas) de estas larvas las convierten en excelentes candidatas para diversas aplicaciones como gestión de residuos y materia orgánica, incorporación en alimentación animal o fuente de energía alternativa (Hoc et al, 2019).

Es cosmopolita que devora materia orgánica durante su etapa larvaria y reserva nutrientes en su cuerpo en forma de proteínas, grasas y carbohidratos. En la fase adulta presenta altas tasas de reproducción, con las hembras depositando alrededor de 600 huevos en un lugar seco cerca de la materia orgánica en descomposición. Los huevos eclosionan y sufren transformaciones larvarias, como se presenta en la Figura 5.21, mientras se alimentan de desechos orgánicos, animales y vegetales hasta convertirse en adultos. En condiciones óptimas, cada larva consume de 25 a 500 miligramos de materia orgánica por día. Sin embargo, si el sustrato no está disponible adecuadamente, el rendimiento se ve reducido. A diferencia de otros insectos que consumen

desechos, este no se considera un vector de enfermedades o plaga. Su rápida capacidad para procesar materia orgánica reduce los malos olores y el desarrollo de bacterias, incluida *Escherichia coli*. (Del Hierro et al, 2021).



**Figura 5.21: Fases de la Mosca Soldado Negra. (Fuente: CIENCIA, 2022)**

Los factores abióticos como la temperatura, la humedad relativa, la luz y otros factores como el pH y la aireación, son agentes que influyen en gran medida en la oviposición y el desarrollo de las larvas, al contar con las condiciones adecuadas permite un aumento en la eficiencia del tratamiento de larvas de mosca soldado negro, así como el crecimiento y desarrollo de la especie. En la Tabla 5.16 se presentan las condiciones de crecimiento de la larva MSN (Singh & Kumari, 2019).

**Tabla 5.16: Condiciones de crecimiento de la larva MSN. (Fuente: Muñoz & Parada, 2022)**

| Parámetro   | Descripción                                                                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Humedad     | De 50% a 90% de humedad relativa del aire.                                                                      |
| Temperatura | Rango de 24°C a 29°C donde su temperatura optima está ubicada en 27°C                                           |
| pH          | Por encima de 6 hasta 10 es más apropiado para el crecimiento larvario                                          |
| Aireación   | El peso y rendimiento larvario máximo alcanzado es el 95% con un l aireación de 0.57 y 0.05 mL/min de aire seco |

Alrededor del 30% de la biomasa de la mosca soldado negra cultivada de desecho se puede extraer como grasa cruda, que es una valiosa materia prima no alimentaria para la producción de biodiesel,

esto es debido a que los desechos orgánicos se pueden convertir en biomasa de insectos con un alto rendimiento. (Li, 2011)

La alimentación es hoy en día la aplicación más interesante para larvas de mosca soldado negro. Las larvas secas se pueden utilizar tal cual, en forma integral, en aceite o en polvo. Por otra parte, el aceite de las larvas tienen un perfil lipídico y una composición peculiar que permiten diferentes usos, como lo son la utilización en cosméticos para el cuidado de la piel, complementos alimenticios y medicamentos, gracias al preciado quitosano con función quelante, biopolímeros y material para bioplásticos e incluso biodiesel.

#### **5.5.4 Fermentación y destilación**

La fermentación es un proceso que transforma las moléculas de azúcar a diferentes productos que dependerán del sustrato y del tipo de microorganismo que se utilice. Las principales sustancias que se obtienen de la fermentación son: alcohol etílico, ácido láctico, ácido butírico, ácido acético, entre otros y de acuerdo a estos se denomina el tipo de fermentación, además algunas fermentaciones como la alcohólica producen dióxido de carbono. (Santos & Zabala, 2016)

Por otra parte, la destilación es una operación unitaria, siendo uno de los métodos más utilizados para separar y purificar líquidos. El objetivo principal de este proceso es aprovechar las diferentes volatilidades de los componentes presentes en una mezcla y separar los volátiles de los no volátiles. La efectividad de esta operación unitaria depende de la cantidad de la muestra, el equipo de destilación que se utilice, entre otros. (Santos & Zabala, 2016)

Los residuos vegetales son una fuente importante de azúcares, almidones y materiales celulósicos que se pueden considerar como materias primas directas e indirectas para la obtención de alcohol combustible, por medio de procesos de fermentación e hidrólisis química o enzimática. (Fonseca & Maturana, 2010)

Cabe considerar que estos contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. El etanol generalmente se produce utilizando como materia prima la caña de azúcar, los cereales y el betabel (Santos et al, 2022).

Para obtener los azúcares, se debe tratar con ácidos o enzimas que facilitan su obtención y posterior fermentación. Los principales métodos para extraer estos azúcares son tres: la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática. En la Figura 5.22 se muestra las diferencias entre los procesos de obtención de bioetanol de manera resumida, según sea su materia prima de origen.

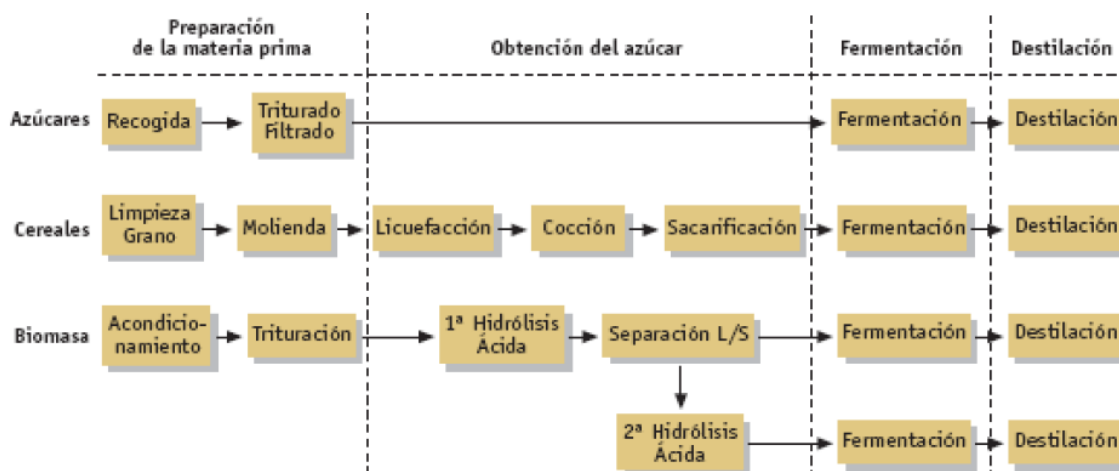
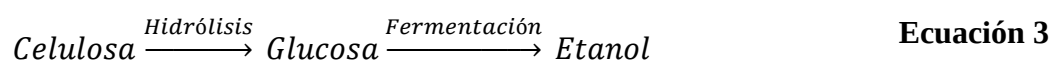
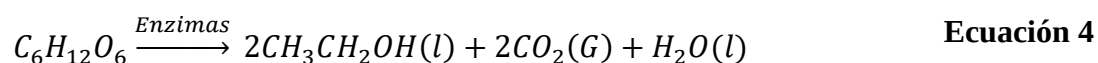


Figura 5.22: Proceso de obtención de bioetanol, según materia prima de origen. (Fuente: UASD ,2015)

El producto (bioetanol) es un alcohol que resulta de la fermentación de la glucosa extraída de la biomasa, tal como se aprecia en la Ecuación 3 y la Ecuación 4.



Mediante la fermentación directa de productos azucarados obtenemos:



En función de la materia prima seleccionada, el bioetanol obtenido se clasifica en dos grupos como se presenta en la Tabla 5.17. La selección de la materia prima más apropiada para la producción de bioetanol, depende fuertemente de las condiciones locales

Tabla 5.17: Grupos en los que se clasifica el bioetanol. (Fuente: Díaz, 2015)

|                                                   |                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bioetanol de primera generación<br>(Bioetanol 1G) | La fuente de azúcares proviene de biomasa con valor alimenticio, principalmente materiales azucarados y amiláceos, como la caña de azúcar y el maíz.                              |
| Bioetanol de segunda generación<br>(Bioetanol 2G) | Las fuentes de azúcares fermentables son materiales que no compiten en la generación de alimentos con alta disponibilidad y escaso coste, principalmente de tipo lignocelulósico. |

Entre los principales usos del etanol está la preparación de carburantes para vehículos automotores. El etanol permite un aumento del índice de octano, y por lo tanto, la reducción del consumo y reducción de la contaminación (10 a 15 % menos de monóxido de carbono e hidrocarburos). El etanol se puede mezclar con la gasolina sin plomo de un 10 % a un 25 % sin dificultad. (Barrera & Aurora, 2014)

Se puede utilizarse como único combustible, realizando modificaciones a los motores, o en mezclas con la gasolina desde un 10% hasta mezclas mucho más altas como el E-85 como lo hace la Unión Europea, EE.UU. y Brasil. El E-85 por ejemplo, es un combustible que contiene hasta el 85% de etanol y sólo un 15% de gasolina, que puede utilizarse en los vehículos denominados FFV (Flexible Fuel Vehicle).

Aunque producir un bioetanol o biodiesel resulta más costoso que generar gasolina y gasóleo, gracias a los decrecientes costos de las materias primas agrícolas y a las mejoras en la tecnología procesadora, se espera que los costos de la producción de biocombustibles se reduzcan

#### **5.5.5 Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia, también denominada biometanización o producción de biogás, es un proceso biológico, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica de las deyecciones se transforma, por la acción de microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono (Campos et al, 2004). La composición del biogás consta principalmente entre 60-70 % de metano ( $\text{CH}_4$ ) y 30-40 % dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Bello et al., 2015).

Se trata de un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos, que son transformados en ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios y moduladores del proceso. Estos ácidos son consumidos por microorganismos metanogénicos que producen metano y dióxido de carbono. (Campos et al, 2004).

Este es un proceso que ocurre naturalmente en pantanos, sedimentos lacustres, océanos y tractos digestivos. Las vacas contienen una de las cubas de fermentación más conocidas, el rumen, que forma parte del estómago (también en otros animales). Las bacterias fermentan y convierten materiales orgánicos complejos en acetato e hidrógeno. Hay cuatro fases básicas de la digestión anaeróbica, como se presenta en la Figura 5.23, en donde se presenta el proceso sinérgico utilizando microorganismos anaerobios: 1) hidrólisis, 2) acidogénesis, 3) acetogénesis y 4) metanogénesis (Toraman, 2022).

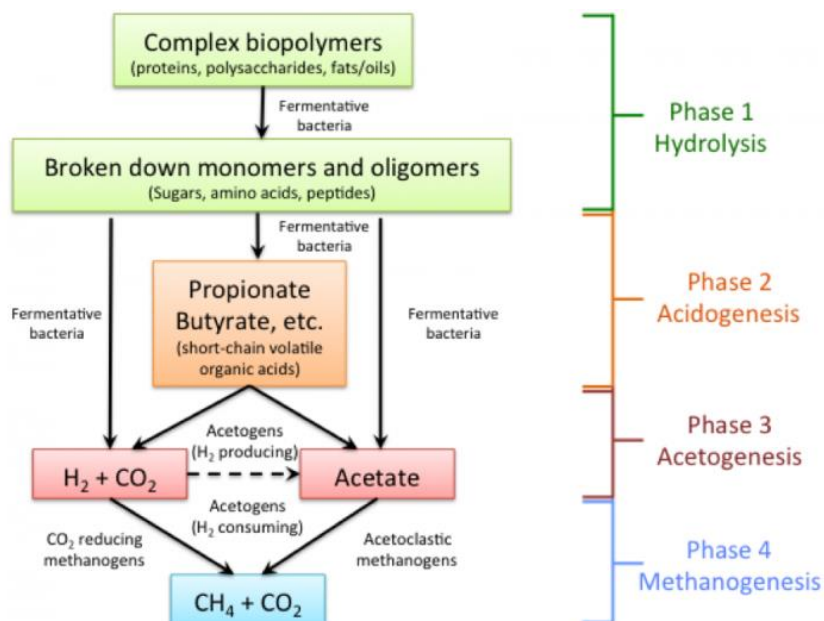
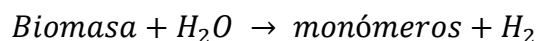


Figura 5.23: Proceso sinérgico utilizando microorganismos anaerobio. (Fuente: Toraman, 2022)

#### Fase 1: Hidrólisis

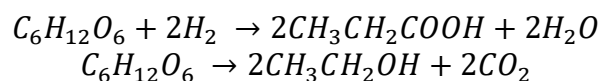
La hidrólisis es una reacción con agua como se presenta en la Ecuación 5. El ácido y la base se pueden utilizar para acelerar la reacción. Sin embargo, esto ocurre también en las enzimas. La celulosa, el almidón y los azúcares simples se pueden descomponer por el agua y las enzimas. En la digestión anaerobia, las enzimas son exoenzimas (celulosoma, proteasa, etc.) de varias bacterias, protozoos y hongos.



**Ecuación 5**

#### Fase 2: Acidogénesis

En esta etapa como se presenta en la Ecuación 6 y 7, los productos de la hidrólisis, que incluyen azúcares, aminoácidos y ácidos grasos, son convertidos por bacterias acidogénicas en ácidos orgánicos más simples, como ácido acético, ácido butírico y ácido propiónico. Esta etapa genera ácidos y protones como subproductos.

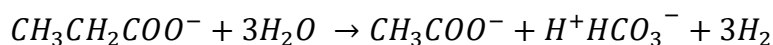


**Ecuación 6**

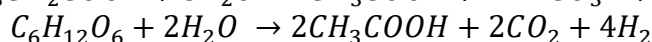
**Ecuación 7**

### Fase 3: Acetogénesis

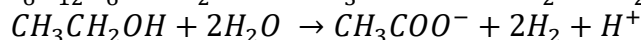
En esta etapa, los ácidos orgánicos producidos en la etapa de acidogénesis son convertidos en acetato, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>) por bacterias acetogénicas como se presentan en las ecuaciones 8, 9, 10 y 11. Estos compuestos pueden ser utilizados en etapas posteriores del proceso de digestión anaerobia.



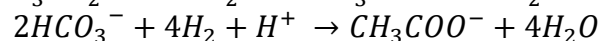
**Ecuación 8**



**Ecuación 9**



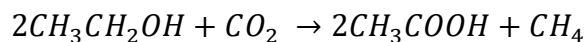
**Ecuación 10**



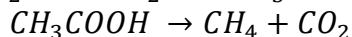
**Ecuación 11**

### Fase 4: Metanogénesis

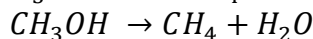
En la última etapa, los productos finales de la acetogénesis, como el hidrógeno y el acetato, son utilizados por las bacterias metanogénicas para producir metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta etapa es esencial en la digestión anaerobia, ya que elimina los productos finales tóxicos y produce metano, que puede ser capturado y utilizado como biogás.



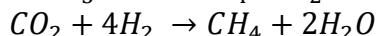
**Ecuación 12**



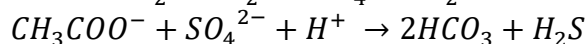
**Ecuación 13**



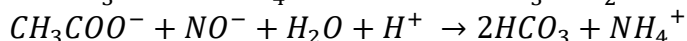
**Ecuación 14**



**Ecuación 15**



**Ecuación 16**



**Ecuación 17**

En la Figura 5.24 se puede observar un esquema básico de un biodigestor y en la Figura 5.25, se presenta un esquema generalizado de lo que es el proceso de digestión anaerobia.

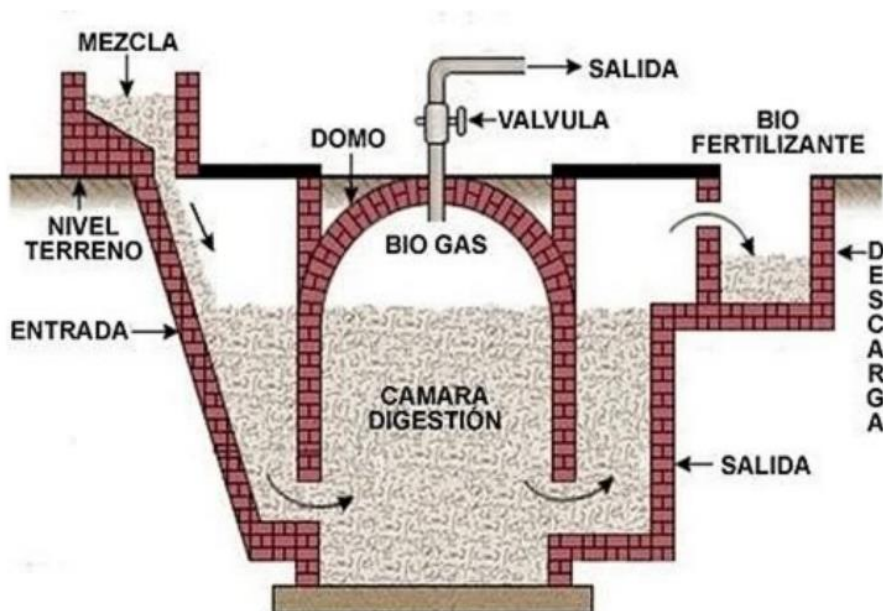


Figura 5.24: Esquema básico de un biodigestor. (Fuente: Tamayo, 2010)

Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto.

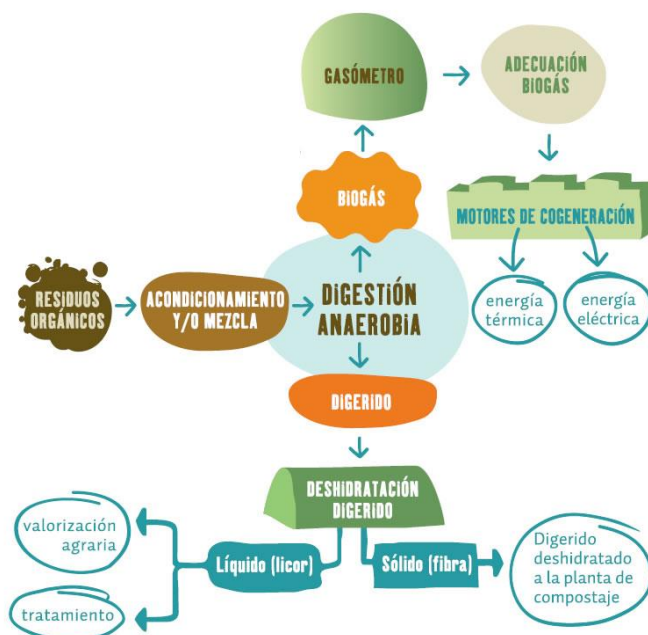


Figura 5.25: Esquema general del proceso de digestión anaerobia. (Fuente: Agencia de Residuos de Catalunya, 2019)

Europa ha publicado el 12% del total de patentes mundiales en este ámbito. De las patentes presentadas en Europa, un 48% están relacionadas con el equipamiento utilizado en digestión anaerobia y un 12% en la purificación del biogás. En cuanto a los países, Alemania muestra una fuerte dominancia, ya que un 47% de las patentes en este ámbito son de este país y además, se considera como el país con máxima producción de biogás en Europa (UABDivulga, 2017).

Los costos de inversión para diferentes tamaños de plantas de biogás y sus respectivos costos de inversión pueden ser apreciados en la Figura 5.26. Los datos relacionados con los costos de inversión total varían en función del tamaño de la planta de biogás, pudiendo tener plantas de biogás instalados con costos de inversión entre 8 - 9 USD/ kWe y otras con costos de inversión de 3 USD/kWe. La diferencia de costos para una inversión en plantas de biogás no sigue necesariamente una tendencia lineal, sino más bien sigue una tendencia basada en el factor de escala de la inversión, en el cual, a medida que el tamaño de planta se incrementa, la inversión por cada kWe instalado puede llegar a disminuir, pudiendo esto ayudar a inversiones mayores ser más rentables para este tipo de biodigestores.

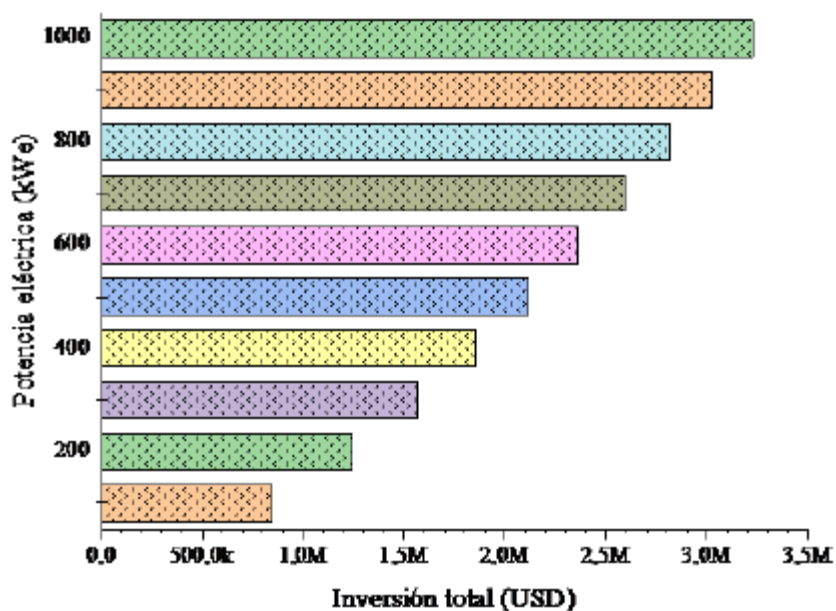


**Figura 5.26: Los costos de inversión para diferentes tamaños de plantas de biogás y sus respectivos costos de inversión. (Fuente: Universidad Industrial de Santander, 2023).**

La gestión operativa de estos procesos está supeditada en su mayoría, en la experiencia del operador, lo que resulta en prácticas de gestión no estandarizadas, bajo nivel de automatización e inestabilidad de los procesos. Por lo tanto, los esfuerzos deben enfocarse en la capacitación de los operarios y en la estandarización de los procesos para garantizar el éxito operativo de estos proyectos.

### 5.5.6 Incineración

Etimológicamente hablando el concepto incineración proviene del latín “*incinerare*”, que significa reducir una cosa a cenizas, en otras palabras, consiste en una combustión controlada de los residuos para la reducción de su peso y volumen, en un medio oxidante.

El objetivo de la incineración de residuos, al igual que la mayoría de los tratamientos de estos, es tratarlos con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y por lo tanto concentrando) o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de los residuos. (López, 2018)

La incineración se puede definir como la quema de materiales a alta temperatura (generalmente superior a 900°C), mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado. En el caso de incineración de los residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a sus constituyentes minerales, principalmente dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua, y sólidos inorgánicos (cenizas).

En base a lo anterior, la combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas a que se produce. El comportamiento cinético de la combustión de los residuos sólidos depende de su heterogeneidad y de la evolución de la temperatura. No existe una partícula real o hipotética que pueda representar al residuo que se incinera, excepto en ciertos tipos de residuos industriales. Por ello, hay que considerar que los sólidos que se alimentan al horno están formados por una mezcla de partículas que difieren entre ellas en composición, en densidad, en tamaño, en forma y en estructura. A diferencia de las otras alternativas, en la incineración se puede realizar sin una separación muy exhaustiva, pudiéndose recuperar de las escorias o cenizas, un producto con valor económico. (Salvador, 2010)

En la Figura 5.27 se muestra un esquema de la sección transversal de un incinerador municipal típico, el cual consta de 6 secciones. La primera es por donde se alimenta el horno de combustión primaria que, junto con el de combustión secundaria constituyen la segunda sección. Después se encuentra la cámara de enfriamiento. La siguiente es la sección de depuración de los gases de combustión. La quinta es la de evacuación de escorias, cenizas y gases de combustión. La última es la sección de recuperación del calor de los gases emitidos antes de ser enviados a la atmósfera.

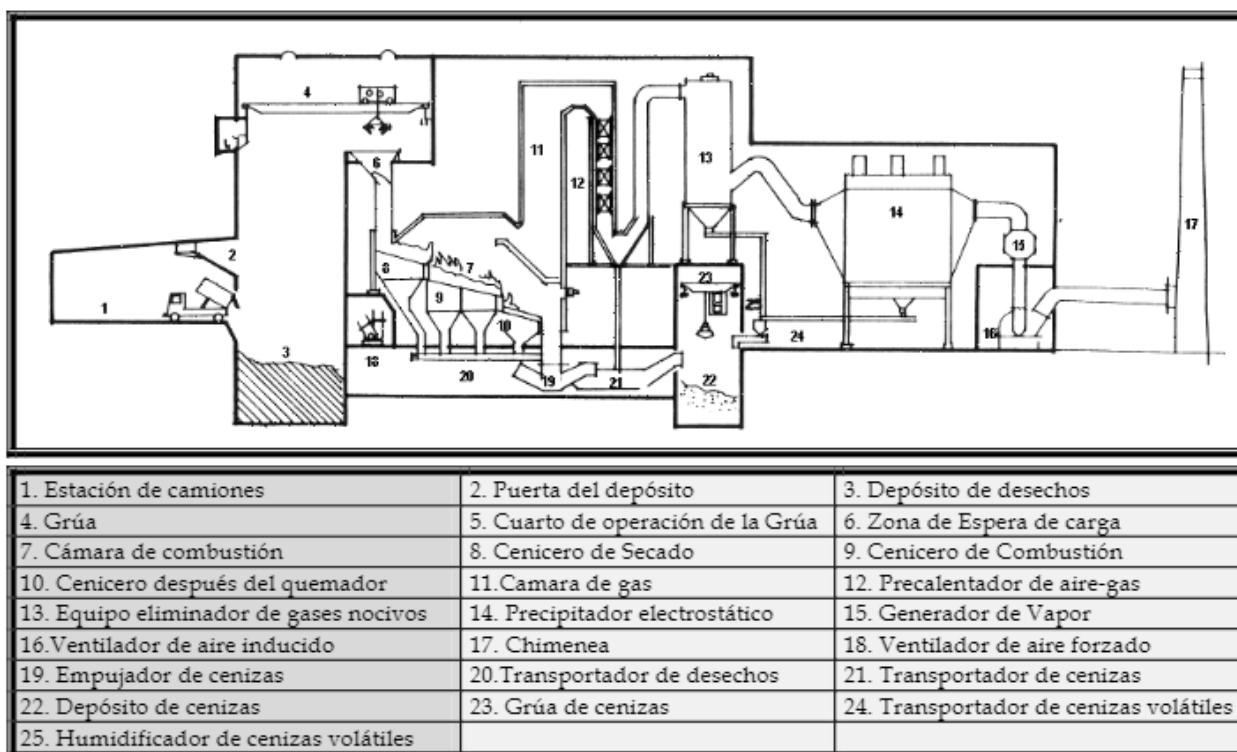


**Figura 5.27: esquema de la sección transversal de un incinerador municipal típico, el cual consta de 6 secciones. (Fuente: CEMPRE, 2012)**

Esta alternativa debe poseer un proceso de tratamiento de emisiones a la atmosfera como se presenta en la Figura 5.28, para cumplir con las normativas del país o sector que será emplazada la planta, pero esta medida solo generarán distintos tipos de residuos o rechazos, que tendrán que ser sometidos a un sub tratamiento en el lugar o ser dispuestos bajo condición de residuos peligrosos, si es que corresponde. Para este tratamiento se pueden implementar filtros de mangas o scrubbers, que permitan retener las partículas que van en suspensión en las emisiones del proceso de incineración, dependiendo de las características del gas portador y del tamaño de partículas se selecciona el más adecuado. El problema de la decisión radica en la naturaleza de los residuos y si se consideró una separación de la porción orgánica, ya que si no se separa el contenido de humedad presente solo permitirá la utilización de scrubbers, el considerar tratamiento más sofisticados supondría un aumento en la inversión que no en todo los casos puede ser viable, en especial para los RSD.



**Figura 5.28: Diagrama de bloques de una instalación de incineración. (Fuente: Romero, 2010)**

La instalación de una planta de incineración de desechos municipales implica casi siempre un elevado costo de inversión. En la Tabla 5.18 se presentan los costos de instalación y funcionamiento según SEDESOL (2001)

**Tabla 5.18: Costos de instalación y funcionamiento de planta de incineración. (Fuente: Adaptado de SEDESOL, 2001)**

| Tipo de planta | Residuos sólidos municipales [toneladas/año] | Costo de inversión [millones de dólares] | Costo de tratamiento por tonelada de residuos [dólares/toneladas] |
|----------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Grande         | 320.000                                      | 142                                      | 60                                                                |
| Mediana        | 150.000                                      | 88                                       | 70                                                                |
| Pequeña        | 90.000                                       | 53                                       | 80                                                                |

Actualmente la incineración es uno de los métodos más utilizados en los países desarrollados para el control de los residuos sólidos municipales. En Japón, el porcentaje de residuos sólidos incinerados llega al 80%. La imposibilidad de disponer los residuos sólidos en rellenos sanitarios,

a causa de la escasez de terrenos, llevó a este país a adoptar la incineración como alternativa de tratamiento y de forma intensiva. Actualmente dispone de centenares de incineradores. Sólo en Tokio funcionan trece usinas. Por otra parte, en los Estados Unidos, de los 200 millones de toneladas de residuos sólidos generados por año, 16% es incinerado.

### 5.5.7 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que se transforma un combustible sólido en uno gaseoso. El proceso está conformado por varios fenómenos complejos que van desde los mecanismos de transferencia de masa y energía en un sistema reactivo heterogéneo, derivando las etapas de secado y devolatilización del combustible, para dar paso a la oxidación de los volátiles y el carbón, con el consecuente cambio del diámetro de las partículas y las pérdidas de presión en el lecho (Pérez et al., 2010).

En la gasificación, un material orgánico sólido o líquido, como la biomasa, es convertido a través de una oxidación parcial a un producto gaseoso denominado gas de síntesis, el cual está compuesto principalmente de hidrógeno ( $H_2$ ) y monóxido de carbono ( $CO$ ), y en menor cantidad por  $CO_2$ , agua, metano ( $CH_4$ ), hidrocarburos pesados ( $C_2+$ ) y nitrógeno ( $N_2$ ). Las reacciones son llevadas a cabo a temperaturas comprendidas entre  $500^\circ C$  y  $1400^\circ C$  y a presiones que van desde la atmosférica hasta presiones elevadas de 33bar. El agente oxidante empleado puede ser aire, oxígeno ( $O_2$ ) puro, vapor o mezclas de éstos. Generalmente los gasificadores que usan aire producen un gas con altas concentraciones de  $N_2$  y con bajo valor energético ( $4-6 MJ/Nm^3$ ). Los gasificadores que emplean  $O_2$  y vapor como oxidante producen un gas de síntesis que contiene altas concentraciones de  $H_2$  y  $CO$ , con valores caloríficos entre 10 y  $20 MJ/Nm^3$  (Cujia & Bula, 2010). En la Figura 5.29 se presentan tres tipos de gasificadores.

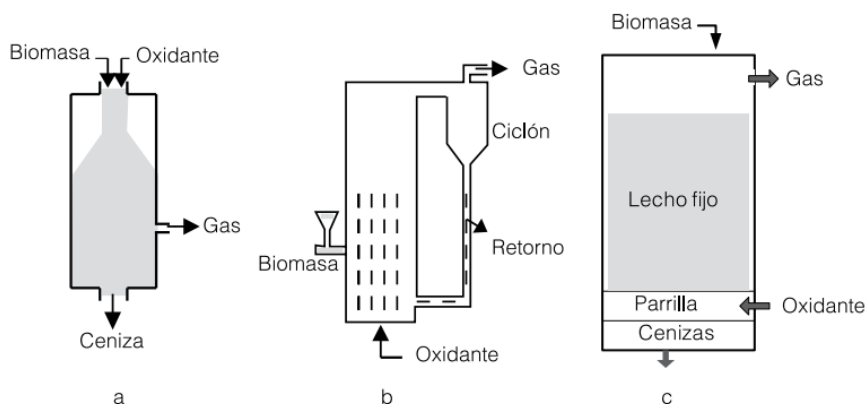


**Figura 5.29:** Esquema de los tipos de gasificadores. A: gasificador flujo de arrastre, b: gasificador de lecho fluidizado, c: gasificador de lecho fijo. (Fuente: Cujia & Bula, 2010)

En la Figura 5.30 se presenta un diagrama generalizado correspondiente al proceso de gasificación y sus productos.

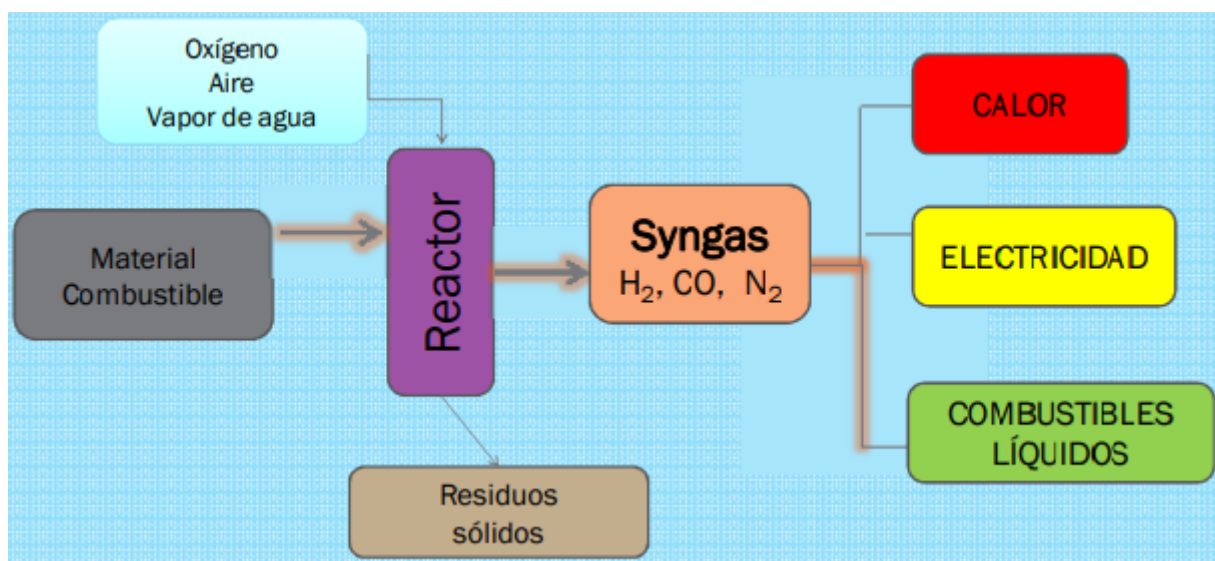


Figura 5.30: Diagrama generalizado del proceso de gasificación y sus productos. (Fuente: CONAMA, 2014)

La composición final del gas de síntesis depende de las condiciones de presión y temperatura del proceso de gasificación, así como también del combustible y los agentes gasificantes empleados. A elevadas temperaturas, disminuyen las concentraciones de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , mientras que aumentan las de  $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ . En cambio, al aumentar la presión, disminuyen las concentraciones de  $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ , aumenta la de  $\text{H}_2\text{O}$ , y apenas varía la de  $\text{CO}_2$  (Plaza, 2018). En la Tabla 5.19 se presenta la composición de los gases de síntesis según el agente gasificante utilizado.

Tabla 5.19: Composición típica de los gases de síntesis. (Fuente: Hernández, 2015)

| Agente Gasificante | PCS ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ) | Composición del gas (% volumen, base seca) |             |               |              |               |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------|
|                    |                                | $\text{H}_2$                               | $\text{CO}$ | $\text{CO}_2$ | $\text{N}_2$ | $\text{CH}_4$ |
| Aire               | 4-6                            | 9-20                                       | 14-24       | 9-20          | 48-53        | 1-7           |
| Oxígeno            | 10-20                          | 32                                         | 48          | 15            | 3            | 2             |
| Vapor de Agua      | 10-20                          | 50                                         | 20          | 22            | -            | 6             |

La técnica de la gasificación es prometedora, pero ha tenido malas experiencias a nivel mundial, donde en algunos casos ha generado importantes problemas técnicos y medioambientales. Esta alternativa pierde el atractivo económico debido a que la producción y su composición son variantes del tiempo. En la Figura 5.31 se presenta un diagrama de costes y factibilidad de la gasificación.

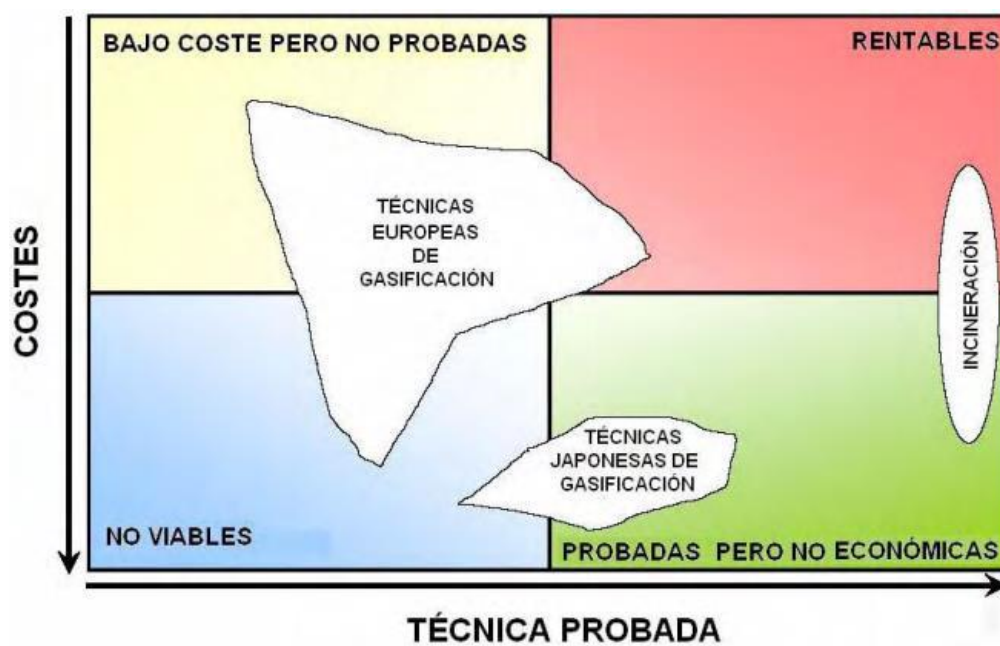


Figura 5.31: Diagrama de costes y factibilidad de la gasificación. (Fuente: Prado, 2007)

### 5.5.8 Pirólisis

El objetivo de la pirólisis es disponer de forma sanitaria y ecológica los residuos sólidos cuyo proceso permite la disminución del volumen mismo de los residuos y entrega como producto final un residuo líquido a gaseoso (Galvis Ocampo, 2019).

La pirólisis se define como un proceso fisicoquímico mediante el cual el material orgánico de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor, en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua. Durante este proceso, la materia orgánica de poco valor se transforma en productos de alto contenido energético como el carbón, alquitrán, los gases de hidrógeno, nitrógeno, metano, etano, propano, butano, pentano, amoníaco, oxígeno, monóxido y bióxido de carbono que pueden ser utilizados como combustibles, además de aceites ligeros (mezclas de benceno, tolueno, xileno y otros), sales y metales reducidas que se pueden usar como materia prima en otros procesos. La proporción de la mezcla resultante de la pirólisis de los residuos sólidos, depende de las condiciones

del proceso como es la temperatura de operación, la velocidad del calentamiento y la composición de los desechos de alimentación (SEDESOL, 2001). En la Figura 5.32 se presenta un esquema generalizado del proceso de pirólisis.

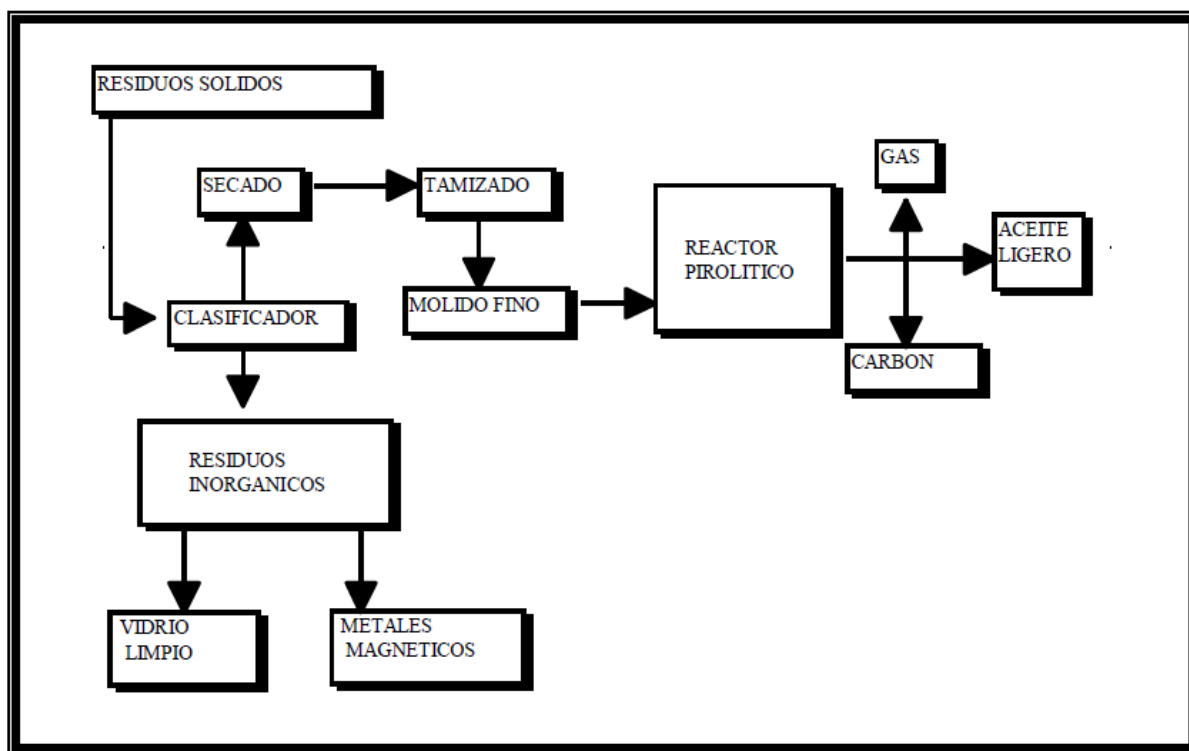


**Figura 5.32: Esquema general del proceso de Pirólisis. (Fuente: SEDESOL, 2001)**

Hay tres (3) tipos de pirólisis: 1) Pirólisis lenta, 2) Pirólisis rápida y 3) pirólisis ultrarrápida. En la Tabla 5.20 se resume como cada método difiere en tiempo de residencia, temperatura, velocidad de calentamiento y producto (Toraman, 2022).

#### 1.- Pirolisis lenta

La pirólisis lenta se utiliza típicamente para modificar el material sólido, minimizando el aceite producido. Es la exposición de la biomasa residual a temperaturas moderadas por un periodo de tiempo prolongado en ausencia de oxígeno. La pirólisis lenta se aplica en un intervalo de contenido de humedad entre 15% y 20% para obtener el carbón vegetal conocido como biochar como principal producto del proceso térmico (Gosgot et al., 2021).

#### 2.- Pirolisis rápida

La pirólisis rápida está caracterizada por una temperatura de operación alta junto con una velocidad de calentamiento rápida, la cual aumenta el rendimiento y calidad del bio-aceite como su principal producto (Gosgot et al., 2021).

Es una rápida descomposición térmica de materiales carbonosos en ausencia de oxígeno en velocidades de calentamiento moderadas a altas. Es el más común de los métodos, tanto en investigación como en uso práctico. El producto principal es el bio-aceite. La pirólisis es un proceso endotérmico. La materia prima debe estar seca; de partículas más pequeñas ( $< 3$  mm); y típicamente realizada a temperatura atmosférica con enfriamiento rápido de los productos. Los rendimientos de los productos son: condensados líquidos — 30-60%; gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e hidrocarburos ligeros) — 15-35%; y carbón — 10-15% (Toraman, 2022).

### 3.- Pirolisis ultrarrápida

Es una pirólisis de descomposición térmica extremadamente rápida, con una alta velocidad de calentamiento. Los principales productos son los gases y el bioaceite. Las tasas de calentamiento pueden variar de 100-10,000  $^{\circ}\text{C/s}$  y los tiempos de residencia son de corta duración. Los rendimientos de los productos son: condensado líquido  $\sim 10$ -20%; gases — 60-80%; y carbón — 10-15% (Toraman, 2022).

**Tabla 5.20: Tipos de pirolisis: 1) Pirólisis lenta, 2) Pirólisis rápida y 3) pirólisis ultrarrápida y sus condiciones correspondientes. (Fuente: Toraman, 2022).**

| Método                       | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Tiempo de residencia | Velocidad de calentamiento ( $^{\circ}\text{C/s}$ ) | Productos finales                       |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Pirólisis convencional/lenta | Med-alta<br>400-500                | Largo<br>5-30 min    | Bajo<br>10                                          | Gases<br>Char<br>Bioaceite (alquitrán)  |
| Pirólisis rápida             | Med-alta<br>400-650                | Corto<br>0,5-2 s     | Alto<br>100                                         | Bio-aceite (diluyente)<br>Gases<br>Char |
| Pirólisis ultrarrápida/flash | Alto<br>700-1000                   | Muy corto<br>< 0,5 s | Muy alto<br>>500                                    | Gases<br>Bio-aceites                    |

La fracción gaseosa obtenida de la pirolisis, se considera como un combustible de alto poder calorífico, pudiendo ser utilizado en la fase de calentamiento del mismo proceso, siendo los principales componentes de la misma, el metano, etano, etileno y propileno. La fracción líquida se compone de hidrocarburos alifáticos de peso molecular alto, en función al residuo plástico pirolizado, y la fracción sólida o residuo carbonoso obtenida de la pirolisis de polímeros, que puede usarse como carbón activado pasando previamente por un proceso de activación (Díaz, 2020).

El principal uso del biogás, producido a nivel industrial en el mundo, es la generación de energía eléctrica. Algunos de los países que a la fecha han implementado de manera eficiente el biogás, como fuente de ERNC para su matriz energética, son Alemania, España, Brasil y Suecia, los cuales presentan modelos exitosos de desarrollo de este mercado. De estos países, Alemania es el mayor productor de biogás en el mundo como se mencionó anteriormente, con más de 5.000 plantas en todo el país y con una potencia instalada que supera los 1.700 [MW] (Martínez, 2015).

El líquido de pirolisis no presenta separación de fases, tiene un contenido en agua del 27,3% en masa y un Poder Calorífico Superior (PCS) de 17,5 MJ/kg. Se trata de un líquido con un alto contenido en carbono y oxígeno (43,4% en masa y 49,1% en masa, respectivamente) y un bajo contenido en nitrógeno y azufre (inferior al 0,2%) (Atienza-Martínez, 2017).

Es necesario ahondar más al respecto del aceite pirolítico, ya que es uno de los principales subproductos obtenidos de los diferentes procesos de aprovechamiento en la pirolisis, sin embargo, sigue siendo un reto indagar más sobre las limitantes asociadas a estos en su aplicación y potencial uso. (Mejia & Upegui , 2021)

## 5.6 Selección de la alternativa para el manejo de los residuos sólidos orgánicos municipales

Como se mencionó en el apartado 4.2.1, la preselección de la alternativa se realizó en base a una consulta a expertos. Esta consulta se les realizó a 4 expertos en tratamiento de residuos mediante correo electrónico, en donde se les envió una contextualización del caso para la posterior valoración de los criterios con sus correspondientes rangos definidos y presentado en el Anexo 2. De la consulta se obtuvo la respuesta de tres de los cuatro expertos, de las cuales dos respuestas se consideran debido a que uno de los expertos no respondió el ítem solicitado. A modo de resumen, se presenta las alternativas de mayor valoración en la Tabla 5.21, según estos dos expertos mencionados.

**Tabla 5.21: Resumen de la consulta a expertos.**

| <b>Experto</b>                                                                                          | <b>Alternativas con mayor valoración</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Marco Bravo Arriagada<br>Consultor Regional, Oficina para América Latina y el Caribe ONU-Medio Ambiente | Compostaje 6pts.                         |
|                                                                                                         | Lombricultura 5pts.                      |
|                                                                                                         | Digestión anaerobia 5pts.                |
| María Cristina Schiappacasse Dasati<br>Académica Escuela de Ingeniería Bioquímica PUCV                  | Compostaje 8pts.                         |
|                                                                                                         | Digestión anaerobia 6pts.                |
|                                                                                                         | Lombricultura 5pts.                      |

Debido a lo anteriormente mencionado, es que la alternativa que se preselecciona para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos es la alternativa de compostaje.

Existen variados tipos de compostaje, como se mencionó en el ítem 5.5.1, es por esto que se realizó una revisión bibliográfica para la toma de decisión sobre qué tipo de compostaje se adecua a la zona de estudio, considerando los ámbitos de costos de inversión, costo de operación, necesidad

de terreno y control operacional, entre otros. En la Tabla 5.22 se presenta el contraste entre las distintas alternativas de compostaje.

**Tabla 5.22: Contraste entre las formas de realizar el proceso de compostaje.**

| <b>Ítem</b>             | <b>Compostaje con Pilas estáticas</b>        | <b>Compostaje con Pilas estáticas aireadas</b>                                           | <b>Compostaje de volteo</b>       | <b>Autor</b>                 |
|-------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Costos de inversión     | Generalmente bajos                           | En sistemas pequeños, son generalmente bajos. Altos en sistemas grandes                  | Generalmente bajos                | (Tchobanoglous et al., 1994) |
| Costo operacional       | Generalmente bajos                           | Altos                                                                                    | Generalmente bajos                |                              |
| Necesidad de terreno    | Alta                                         | Altos                                                                                    | Alta                              |                              |
| Control operacional     | Reciclaje con adición de compost, enmendado. | Completo, tasa de flujo de aire                                                          | Frecuencia de volteo              |                              |
| Problemas operacionales | Sensible a cambios meteorológicos            | El control de la tasa de aire es crítico, para canalizar o cortar el suministro de aire. | Sensible a cambios meteorológicos |                              |

Debido al contraste realizado, es que se escogen para evaluar las alternativas de compostaje en pilas con volteo, ya sea de forma manual como con maquinaria.

## **5.7 Dimensionamiento de las instalaciones requeridas por la alternativa de manejo seleccionada**

La propuesta de diseño es ideada en base a las consideraciones de la NCh 3382:2016 - Gestión de residuos - Plantas de compostaje - Consideraciones para el diseño y operación. Además se realizó una estimación de cantidad de residuos a recolectar y tratar, el cual se detalla en el Anexo 3.

Algunos aspectos que se consideraron fueron:

- Tipo y cantidad de materia prima: La materia prima provendrá de los residuos orgánicos generados en hogares de la comuna de La Ligua, en donde se espera recibir los residuos orgánicos separados en origen. La cantidad mensual estimada de residuos orgánicos en base al pronóstico para los años 2023, 2024 y 2025 que se genera en la comuna es de 1.139 toneladas. Al ser una planta de compostaje de carácter piloto se considera una cantidad de 56,8 toneladas por recolectar de residuos orgánicos al mes, los cuales corresponden al 5% de la totalidad de residuos orgánicos generados en la comuna. Por lo tanto, lo que se espera recolectar por semana será 14,2 toneladas de residuos orgánicos, considerando que la recolección se realizará 2 veces por semana se obtendrán 7,1 toneladas por recolección.
- Características del sitio, accesibilidad y áreas de operación: El sitio donde se desea emplazar el proyecto se encuentra ubicado en el sector de Pullally, en donde se ubica el centro de acopio de la comuna de La Ligua, se encuentra fuera del área habilitada para visitantes y cuenta con una superficie de 12.455 m<sup>2</sup> aproximadamente (Figura 5.33).

En cuanto a la accesibilidad, dentro de la propuesta de compostaje se podrán identificar las siguientes exigencias por la NCh 3382/2016:

- Control de acceso: Inmediatamente cruzando el portón de entrada se encuentra la casa de recepción, en la cual se controla el acceso al centro de acopio.
- Delimitación: Dado que dentro del fundo circulan algunos animales como perros, gatos, vacas y aves, la zona en donde se dispondrá el compostaje está cercada a fin de evitar el acceso de estos y de personas no autorizadas a las pilas. Este cerco cubrirá la totalidad del perímetro del polígono y contará con un portón de acceso.
- Vía de acceso: Desde la ruta E-39 hasta la zona de compostaje propuesta existe un camino de tierra por el que pueden transitar vehículos y personas. Desde la ruta 5 Norte también existe un acceso. En la Figura 5.33 se muestra el detalle de estas vías.



**Figura 5.33: Rutas de acceso al Centro de Acopio de la Municipalidad de La Ligua. (Fuente: Google Earth, 2023)**

- Flujo de vehículos y señalización: El vehículo que transporte los residuos será una camión 3/4, que contará con contenedores propios. El flujo vehicular se mantendrá diariamente. Ya se cuenta con una señalética que indica donde se encuentra el centro de acopio, la cual se deberá modificar para agregar el “planta de compostaje”.
- Sistema de pesaje y registro de la materia prima: Puesto que la cancha de compostaje contempla una cantidad superior a las 1.000 toneladas mensuales que indica la norma, es necesaria la existencia de un sistema de pesaje. Se considera la pesa y además, se considera a su vez un registro de ingreso de la materia prima.

### 5.7.1 Dimensionamiento de la planta de compostaje

Para el dimensionamiento de la planta de compostaje se utilizó lo indicado por Ávila y Moyano (2019).

Los datos utilizados para realizar el dimensionamiento de la planta se muestran en la Tabla 5.23

Tabla 5.23: Datos necesarios para el dimensionamiento de la planta de compostaje.

| Datos                                                            | Cantidad    | Unidades        |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Cantidad de residuos orgánicos de entrada por día de recolección | 7,1         | $\frac{t}{día}$ |
| Densidad de residuos orgánicos                                   | 0,45        | $\frac{t}{m^3}$ |
| Densidad de residuos orgánicos compostados                       | 0,6         | $\frac{t}{m^3}$ |
| Tiempo en cámara de recepción                                    | 14 (2)      | días (semanas)  |
| Forma pila                                                       | Rectangular |                 |
| Base pila                                                        | 3           | m               |
| Altura pila                                                      | 1,5         | m               |
| Tiempo de descomposición                                         | 196 (7)     | días (semanas)  |
| Longitud estándar de pila                                        | 20          | m               |
| Fracción de volumen tratado                                      | 1/3         |                 |
| Altura cámara de recepción                                       | 2           | m               |

### 5.7.1.1 Cámara de recepción

#### Área de la cámara de recepción

La ecuación 18 contempla el área de recepción y almacenamiento correspondiente a la cámara de recepción, por lo que utiliza la cantidad de residuos sólidos orgánicos que ingresan en la planta los cuales se dividen entre la densidad de los residuos orgánicos y la altura total de los residuos dispersos. Debido a que se considera la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados en un día de los dos por semana, y considerando que el tiempo de los residuos en la cámara es de 2 semanas, es que el área de la cámara recepción se multiplica por 4 debido a la necesidad de secado de los residuos para su posterior tratamiento.

$$A_c = \left( \frac{U_{RSUorgánicos}}{\rho_{orgánico} * H_c} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde,

$U_{RSUorgánicos}$  = Cantidad de residuos sólidos urbanos ( $\frac{t}{día}$ ), donde se considera  $7,1 \frac{t}{día}$ , debido las 2 veces a la semana que se recolectan los residuos orgánicos.

$\rho_{orgánico}$  = Densidad de residuos orgánicos ( $\frac{t}{m^3}$ ), se considera  $0,45 \frac{t}{m^3}$

$H_c$  = Altura de la cámara (m), se considera de 2 m

$A_c$ = Área de la cámara de recepción ( $m^2$ ).

Se obtuvo un área de  $7,9 m^2$  por recepción diaria de residuos orgánicos.

### **Volumen de la cámara**

Se tiene en cuenta para la determinación del volumen de la cámara, la cantidad de los residuos orgánico que ingresan a la planta, la densidad de los mismos y el tiempo requerido para el almacenamiento temporal.

$$V_c = \frac{U_{RSUorgánicos} * T_c}{\rho_{orgánico}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde,

$U_{RSUorgánicos}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos ( $\frac{t}{día}$ ), donde se considera  $7,1 \frac{t}{día}$

$\rho_{orgánico}$  = Densidad de residuos orgánicos ( $\frac{t}{m^3}$ ), se considera  $0,45 \frac{t}{m^3}$

$T_c$ = tiempo de los residuos en la cámara (días), se considera unas 2 semanas, 14 días.

$V_c$ = volumen de la cámara ( $m^3$ ),

Se obtuvo un volumen de la cámara de recepción de  $220,9 m^3$ .

#### **5.7.1.2 Área de descomposición**

El área de descomposición busca que mediante la disposición de los residuos orgánicos provenientes de la cámara de recepción, posterior a la trituradora se acumulen en pilas/camas, en donde se realizan actividades de mezcla, riego y control de los parámetros del proceso de compostaje, a fin de que el material con la ayuda del consorcio microbiano se degrade.

Las pilas se cubrirán, a fin de prevenir la evaporación y pérdida del agua.

Las siguientes ecuaciones, cuentan con la determinación del volumen, la forma de la pila, el espaciamiento que debe existir entre las pilas y además en este numeral se contempla el área de almacenamiento del producto final.

### Volumen de la Parcial de la planta

Para el cálculo del volumen parcial de la planta se considera una cantidad de 2,36  $t/día$  de entrada de residuos sólidos urbanos, debido a que la cantidad total de entrada a la planta es de 14,2 toneladas por semana, en donde se dividen las toneladas por días a la semana que se trabaja (6 días) y resulta que diariamente en promedio se espera disponer al proceso de compostaje una cantidad de 2,36 toneladas

$$V_{planta} = \frac{U_{RSUorgánicos} * Tdes}{\rho_{orgánico}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde,

$U_{RSUorgánicos}$  = Cantidad de residuos sólidos urbanos ( $\frac{t}{día}$ ), donde se considera 2,36  $\frac{t}{día}$

$Tdes$  = Tiempo de descomposición (días), 7 meses aproximadamente, 28 semanas, 196 días.

$\rho_{orgánico}$  = Densidad de los residuos ( $\frac{t}{m^3}$ ), se considera 0,45  $\frac{t}{m^3}$

$V_{planta}$  = Volumen de la planta parcial ( $m^3$ ).

Se obtuvo un volumen parcial de la planta de 1.027,91  $m^3$ .

Posteriormente, teniendo en cuenta que el espacio primordial dentro de este proceso son la forma y ubicación de las pilas de compostaje, se debe tener en cuenta su área transversal y para ello se escoge la forma geométrica rectangular para el apilamiento:

### Área trasversal de la Pila rectangular

$$A_T = h_p * B_p \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde,

$B_p$  = Base de la pila ( $m$ ), donde se considera la proporción de 2:1 con la altura. 3  $m$

$h_p$  = Altura de la pila ( $m$ ), se considera una altura de 1,5  $m$

$A_T$  = Área transversal de la pila ( $m^2$ ) .

Se obtuvo un área transversal de la pila rectangular de  $4,5m^2$ .

Utilizando el valor anterior del área transversal de la pila y la longitud estándar de la pila, se puede calcular el volumen de esta, que será útil luego para determinar el número de pilas que se tendrán en la zona de descomposición de la planta

### Volumen de la Pila

$$V_{Pila} = A_T * L_p$$

**Ecuación 22**

Donde,

$A_T$ = Área transversal de la pila ( $m^2$ ) , de  $4,5m^2$ .

$L_p$ = Longitud estándar de la Pila ( $m$ ), se considera una longitud de 20  $m$ .

$V_{Pila}$  =Volumen de la Pila ( $m^3$ )

Se obtuvo un volumen de  $90m^3$  por pila de compostaje.

### Número de pilas

$$N^{\circ}_{Pilas} = \frac{V_{Planta}}{V_{Pila}}$$

**Ecuación 23**

Donde,

$V_{Planta}$ = Volumen de la planta parcial ( $m^3$ ), se obtuvo un volumen de  $1.027,91 m^3$

$V_{Pila}$ = Volumen de la pila ( $m^3$ ), obteniendo un volumen de  $90m^3$

$N^{\circ}_{Pilas}$ = Número de pilas,

Se obtuvo una cantidad de  $11,4 \approx 11$  pilas.

Según indica la bibliografía, la longitud puede ser recalculada teniendo en cuenta el volumen de la planta, el área transversal de una pila y el número de pilas. Dicha longitud debe encontrarse dentro del rango de los criterios de la pila estándar (2 a 20m).

**Longitud recalculada**

$$L_{P.recalculada} = \frac{V_{Planta}}{(A_T * N^{\circ}_{Pilas})} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde,

$V_{Planta}$  = Volumen de la planta parcial ( $m^3$ ), se obtuvo un volumen de 1.027,91  $m^3$

$N^{\circ}_{Pilas}$  = Número de pilas, 11 pilas.

$A_T$  = Área transversal de la pila ( $m^2$ ), de 4,5  $m^2$ .

$L_{P.recalculada}$  = Longitud recalculada de las pilas ( $m$ ).

La longitud recalculada de la pila de compostaje es igual a 20,76  $\approx$  21  $m$ .

Para determinar el área inicial de descomposición, se contempla la base y la longitud de una pila.

**Área inicial de descomposición**

$$A_{Cides} = B_p * L_p \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde,

$L_p$  = Longitud estándar de la Pila ( $m$ ), se considera una longitud de 20  $m$ .

$B_p$  = Base de la pila ( $m$ ), donde se considera la proporción de 2:1 con la altura. 3  $m$

$A_{Cides}$  = Área inicial de descomposición ( $m^2$ )

Se obtuvo un área de descomposición inicial de 60  $m^2$

**Área total de descomposición**

$$A_{CTdescom} = A_{Cides} * N^{\circ}_{Pilas}$$

**Ecuación 26**

Donde,

$A_{Cides}$  = Área inicial de descomposición ( $m^2$ ), área de  $60m^2$

$N^{\circ}_{Pilas}$  = Número de pilas, 11 pilas.

$A_{CTdescom}$  = Área total de descomposición ( $m^2$ ),

Se obtuvo un área total de descomposición de  $660m^2$ .

Entre cada pila debe existir una separación, para que se desplacen los equipos, maquinaria o personal encargado, dicho espacio se denomina espaciamiento ( $S_h$ ) y debe ser calculado como un área superficial.

**Área total de espaciamiento**

$$A_E = S_h * N^{\circ}_{Pilas} * L_p$$

**Ecuación 27**

Donde,

$S_h$  = Separación entre hileras ( $m$ ), donde se considera una separación de  $2m$ .

$N^{\circ}_{Pilas}$  = Número de pilas, 11 pilas.

$L_p$  = Longitud estándar de la Pila ( $m$ ), se considera una longitud de  $20 m$ .

$A_E$  = Área total de espaciamiento ( $m^2$ ).

Se obtuvo un área total de espaciamiento de  $440m^2$

Por lo tanto, el área final de descomposición ( $A_{CT}$ ), sería entonces la sumatoria entre el área total de descomposición junto al área total de espaciamiento.

### Área final de descomposición

$$A_{CfT} = A_{CT} + A_E \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde,

$A_E$ = Área total de espaciamiento ( $m^2$ ), obteniendo un área de  $440m^2$

$A_{CT}$ = Área total de descomposición ( $m^2$ ), donde se obtuvo un valor de  $660m^2$ .

$A_{CfT}$ = Área final de descomposición ( $m^2$ ).

Se obtuvo por lo tanto un área final de descomposición de  $1100m^2$ .

#### 5.7.1.3 Área de almacenamiento

Finalmente, para el cálculo del área superficial de almacenamiento se requiere de la identificación del volumen diario de residuos que ingresaron a la planta respecto a la densidad del material luego del proceso de descomposición.

### Volumen total de la planta de compostaje

$$V_{TPC} = \frac{U_{RSUorgánico}}{\rho_{RSUcompostaje}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde,

$U_{RSUorgánicos}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos ( $\frac{t}{día}$ ), donde se considera  $2,36 \frac{t}{día}$

$\rho_{RSUcompostaje}$ = Densidad de residuos orgánicos compostados ( $\frac{t}{m^3}$ ), se considera  $0,6 \frac{t}{m^3}$

$V_{TPC}$  = Volumen total de la planta de compostaje ( $\frac{m^3}{día}$ )

Se obtuvo un volumen de  $3,93 \frac{m^3}{día}$  la planta de compostaje.

Continuando con el cálculo del área total de almacenamiento, se debe tener en cuenta una base de la planta y los días que serán almacenados los productos compostados.

### Área total de almacenamiento

$$A_{TA} = \frac{V_{TPC}}{A_{CT}} * B_{Planta} * 60 \text{ días} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde,

$V_{TPC}$  = Volumen total de la planta de compostaje ( $\frac{m^3}{día}$ ), volumen de  $3,93 \frac{m^3}{día}$ .

$A_{CT}$  = Área total de descomposición ( $m^2$ ), valor de  $660m^2$ .

$B_{Planta}$  = Base planta ( $m$ ), valor de 20m

$A_{TA}$  = área total de almacenamiento ( $m^2$ ),

Se obtuvo un área total de almacenamiento de  $7,15m^2$ .

#### 5.7.1.4 Área de maduración

La zona de maduración es un área amplia, donde se deben conformar pilas con el material que proviene del proceso de descomposición, y se da continuidad a la fase final de degradación alcanzando una estabilización de temperaturas lo que ratificaría la maduración y generación de compost. En esta área se tendrán se tiene en cuenta la cantidad de residuos sólidos urbanos orgánicos, la operación de reagrupación de material y la duración del proceso.

### Área de maduración de residuos sólidos orgánicos en pilas

$$A_M = \frac{T_{om} * 1,10 * U_{RSUorgánicos} * B_{Planta}^2}{L_p + B_{Planta}} * \frac{V_{RSU}}{V_e} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde,

$T_{om}$  = Tiempo de maduración (semanas), se consideran 2 semanas

1,10 = factor de seguridad

$U_{RSUorgánicos}$  = Cantidad de residuos sólidos urbanos ( $\frac{t}{día}$ ), donde se considera  $2,36 \frac{t}{día}$

$B_{Planta}$  = Base planta (m), valor de 20m

$L_p$  = Longitud estándar de la Pila (m), se considera una longitud de 20 m

$\frac{V_{RSU}}{V_e}$  = Fracción del volumen de residuos tratados tras la descomposición, se considera 0,33.

$A_M$  = Área de maduración ( $m^2$ ),

Se obtuvo un área de maduración de  $17,13m^2$ .

#### 5.7.1.5 Área de almacenamiento posterior al tratamiento

Para el cálculo del área de almacenamiento se tiene presente los tiempos requeridos y la altura para almacenar los productos de compost.

$$A_{alm} = \frac{V_{Pila} * \frac{1}{3} * t_{alm}}{h_{alm}}$$

**Ecuación 32**

Donde,

$V_{Pila}$  = Volumen de la Pila ( $m^3$ ), obteniendo un volumen de  $90m^3$

$t_{alm}$  = Tiempo de almacenamiento (días), se considera 2 semanas, 14 días.

$h_{alm}$  = Altura de almacenamiento (m), se considera 2m

$\frac{1}{3}$  = Material orgánico reducido.

$A_{alm}$  = Área de almacenamiento ( $m^2$ ).

Se obtuvo un área de almacenamiento de los residuos posterior al tratamiento de  $210m^2$ .

### 5.7.1.6 Área total de la planta de compostaje.

Para el dimensionamiento del área total de la planta de compostaje se suman todas las áreas necesarias para el proceso.

$$A_{TPC} = (4 * A_c) + A_{CTdescom} + A_E + A_{TA} + A_M \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde,

$A_c$  = Área de la cámara de recepción ( $m^2$ ). Se obtuvo un área de  $7,4 m^2$

$A_{CTdescom}$  = Área total de descomposición ( $m^2$ ), donde se obtuvo un valor de  $660 m^2$ .

$A_E$  = Área total de espaciamiento ( $m^2$ ), obteniendo un área de  $440 m^2$

$A_{TA}$  = área total de almacenamiento ( $m^2$ ), obteniendo un área de  $7,15 m^2$ .

$A_M$  = Área de maduración ( $m^2$ ), se obtuvo un área de  $17,13 m^2$ .

$A_{TPC}$  = Área total de la planta de compostaje ( $m^2$ ).

Donde se obtuvo un área total de  $1.153,88 m^2$ .

En la Tabla 5.24 se presenta un resumen con las dimensiones calculadas anteriormente.

**Tabla 5.24: Tabla resumen de los valores correspondiente a las áreas calculadas para la planta de compostaje.**

| Datos                                   | Cantidad | Unidades |
|-----------------------------------------|----------|----------|
| Área cámara de recepción                | 7,9      | $m^2$    |
| Volumen cámara de recepción             | 220,9    | $m^3$    |
| Volumen por pila                        | 90       | $m^3$    |
| Cantidad de pilas                       | 11       | Pilas    |
| Área total de descomposición            | 660      | $m^2$    |
| Área total de espaciamiento             | 440      | $m^2$    |
| Área total de almacenamiento            | 7,15     | $m^2$    |
| Área total de maduración                | 17,13    | $m^2$    |
| Área de almacenamiento post tratamiento | 210      | $m^2$    |
| Área total de la planta de compostaje   | 1.153,88 | $m^2$    |

En la Figura 5.34 se presenta la disposición grafica de la planta de tratamiento de residuos orgánicos dimensionada.

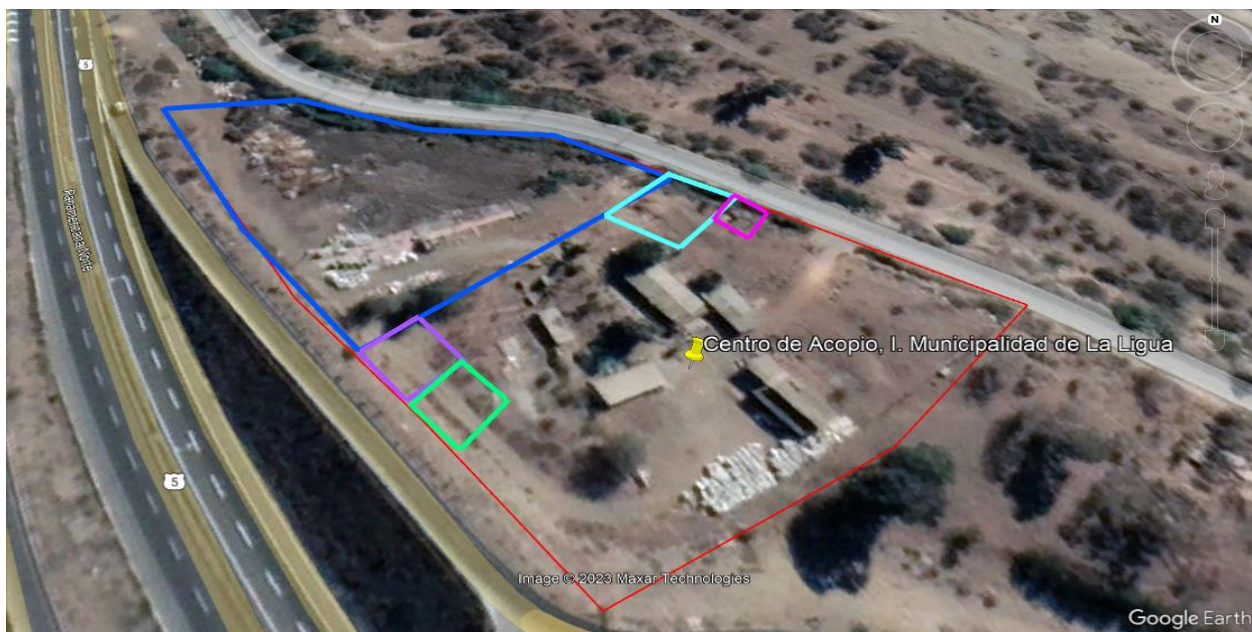


**Figura 5.34:** Disposición espacial de la planta de tratamiento de residuos orgánicos, donde el Área azul corresponde al área de descomposición por pilas y el área de espaciamiento; La área celeste es la área para la recepción de los residuos; La área morada, es la área de maduración; El área verde corresponde al área de almacenamiento y el Área rosada es el área de baldes. (Fuente: Adaptado de Google Earth, 2023).

## 5.8 Organización de la planta de compostaje

### 5.8.1 Organigrama y perfiles de cargo

En la Figura 5.35 se presenta el organigrama de la planta de compostaje que representa la estructura administrativa de la planta de compostaje.

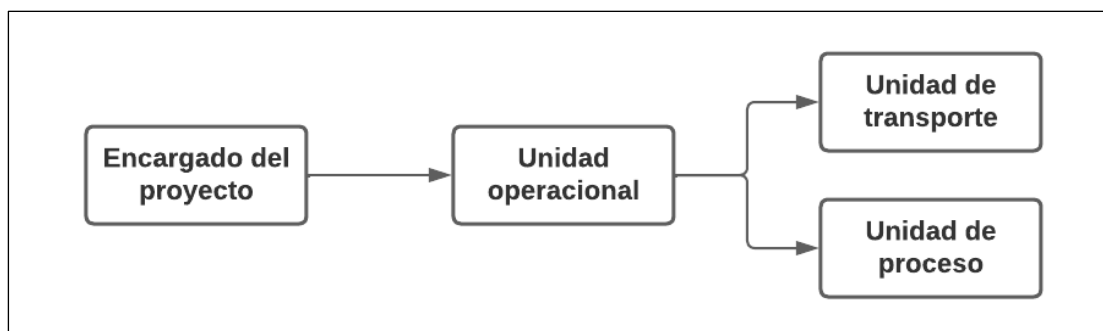


**Figura 5.35:** Organigrama de la planta de compostaje.

El encargado del proyecto es un profesional que cuenta con poder ejecutivo y autoridad. Es el que planifica, ejecuta y monitoriza las acciones que forman cada parte del proceso en la planta, debe impulsar el avance del proyecto, es el responsable de organizar y coordinar al equipo de trabajo para llevar a cabo las tareas de forma concretas. Sus principales funciones son las de coordinar, organizar y supervisar todas las actividades relacionadas al proceso productivo, transporte, operaciones financieras y a la vez, es quien realiza el seguimiento y control de las actividades realizadas en la planta. Además, realiza las operaciones de muestreo y cumple con las tareas de archivo y mantenimiento de documentos. Para este cargo los profesionales que podrían cumplir las capacidades y funciones que requiere el cargo, podrían ser los ingenieros ambientales, ingeniero de proyectos, ingeniero en prevención de riesgos, entre otras profesiones.

La unidad operacional es la que se encarga de supervisar las actividades del proceso productivo y transporte en la planta de compostaje. Es un obrero especializado, que debe contar capacitación para controlar y dirigir todas las tareas que se le asignan a las unidades de trabajo del cual está a su cargo. Las funciones que debe cumplir la unidad operacional son aquellas relacionadas a distribuir las tareas al personal, controlando los materiales, herramientas y equipos que se utilizan, controlar el rendimiento de los equipos y trabajadores, cumplir y hacer cumplir los horarios de trabajo y las medidas de seguridad y salubridad del personal a cargo.

La unidad de transporte cuenta con un chofer de camión y un trabajador, el cual es considerado un pioneta. En los días de recolección se encargan de hacer la recolección casa a casa en donde el pioneta realiza el cargamento de los residuos orgánicos separados en los hogares y además, hace el intercambio entre el balde utilizado y un balde lavado por casa. Ambos participan en la descarga y control de los residuos orgánicos en la entrada de la planta de compostaje y en el lavado de los baldes. Cabe mencionar que cuando no son los días de recolección aportan en las labores que tienen por cumplir la unidad de proceso.

La unidad de proceso cuenta con dos trabajadores, los cuales son los encargados de todo el trabajo de obra de mano y deben realizar diferentes tareas que percuten directamente con el correcto funcionamiento de la planta de compostaje, son los principales responsables de todos los procesos de producción, es por esto que los trabajadores de la unidad de proceso deben estar capacitados para laborar correctamente dentro de esta área. Cabe mencionar que deben tener la habilidad para comprender instrucciones, seguirlas con precisión y debe tener buena capacidad de comunicación. Sus funciones son realizar las actividades necesarias para formar la pila de compostaje, ya sea trozar el material inicial, proporcionar en la formación de la pila los materiales necesarios como lo son los residuos orgánicos y las astillas provenientes de la poda, airear y humectar las pilas, entre otras funciones.

Para la ejecución del proyecto en general, es necesario en apoyo de servicios de jornada parcial como lo son los servicios de aseo, mecánico, eléctrico y gasfiter, de los cuales solo se considerarán en la evaluación económica los servicios de mantención de la maquinaria.

## **5.8.2 Fase de operación de la planta de compostaje**

### **Recolección**

El camión dispuesto para la recolección lo utiliza la unidad de transporte. Estas personas son las encargadas de realizar la recolección casa por casa 2 veces a la semana de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios según el recorrido que se presenta en el Anexo 5. Las personas comprometidas al proyecto, se encargan de juntar los residuos orgánicos en un balde que se les dispuso, el cual también es recolectado e intercambiado por un balde lavado.

### **Ingreso del camión en planta de compostaje**

El camión se dirige a la zona de descarga o área de recepción en donde mediante el personal de la unidad de transporte pesan los residuos colectados y los disponen en las cámaras de recepción para que se deshidraten. Por otra parte, los baldes son dispuestos en la zona de lavado para posteriormente realizar este proceso de limpieza. En esta acción se utilizarán palas, carretillas, rastrillos y guantes.

### **Triturado**

Una vez que los residuos almacenados en el área de recepción se encuentren deshidratados, se les realiza por parte de la unidad de proceso, el triturado y posterior pesaje para dimensionar la cantidad de pérdida de peso en seco. A su vez, ante la necesidad de carbono se le solicita al municipio los restos de poda para manejar de mejor manera la proporción de carbono/nitrógeno. En esta acción se utilizarán palas, carretillas, rastrillos, guantes y la trituradora.

### **Pila de compostaje**

Como se menciona en el ítem 5.7.1.2, las pilas de compostajes son dispuestas de manera rectangular, en donde se procede a preparar el suelo para la disposición de la pila de compostaje. A la superficie a utilizar se le realiza un movimiento de tierra de aproximadamente 10cm de profundidad para que de esta manera se airee la zona a utilizar, esto se realizará de forma manual por medio el personal encargado de la planta. Posterior a esto, se conforma la pila de compostaje, la cual se compone de primeramente de una base de residuos secos y de mayor tamaño (restos de las podas) para una mayor circulación de aire en la base, encima de esto se mezcla material húmedo (residuos orgánicos) con el material seco (astillas de menor tamaño), en proporción 2:1, para disponer encima de la base de la pila en forma de capa de aproximadamente 10cm de grosor, y se continua realizando esta secuencia hasta obtener la altura aproximada de 1,5m.

### **Volteo y riego**

La pila deberá ser volteada 2 veces por semana, al menos el primer mes. Esta acción se realiza con ayuda de palas, rastrillos, carretilla y guantes. En lo que consta el riego, se hidrata la mezcla en la

formación de la pila y durante el proceso de descomposición se sigue regando uniformemente una vez por semana si llegase a ser necesario.

### **Pila de maduración**

Trascurrido el tiempo de descomposición, el contenido de la pila debe ser trasladado al área de maduración. Esta acción se realiza con ayuda de palas, rastrillos, carretilla y guantes.

### **Almacenamiento**

Una vez pasado el tiempo de maduración del compost, se tamizará y se dispondrá en el área de almacenamiento, donde el compost se encontrará disponible para su futura utilización en áreas verdes de la comuna.

### **5.8.3 Fase de Mantenimiento**

Si bien el compost no se comercializará, de igual forma se considerarán los algunos parámetros exigidos en el inciso 5 de la NCh2880:2004 Compost- Clasificación y requisitos.

**Olores:** El compost debe presentar olores característicos de este producto, sin olores desagradables como, por ejemplo compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido, entre otros.

**Relación carbono/nitrógeno (C/N):** La relación C/N recomendada es de 25 a 30 partes de carbono, por 1 de nitrógeno. Con relaciones más bajas se emite amoníaco lo que impide la actividad biológica. Para lograr esta relación ideal se utilizarán material vegetal leñoso resultante de la Poda para el aporte de carbono y para el nitrógeno si llegase a ser necesario se utilizará guano de aves, el cual se les puede solicitar a Sopraval, que es una empresa reconocida a nivel nacional y tiene unas instalaciones alrededor de La Ligua.

**Humedad:** El compost debe presentar un contenido de humedad entre 30% y 45% de la masa del producto, en base húmeda. Para comprobar si hay suficiente humedad, se recomienda usar la “prueba del puño” que consiste en coger un puñado de compost y apretarlo con la mano. Si al apretarlo se humedece la mano, pero no escurre agua entre los dedos, la humedad es óptima. Si hay demasiada humedad conviene añadir materiales secos: paja, ramas finas, corteza, serrín, papel/cartón. Si no hay suficiente humedad se pueden añadir materiales frescos: restos de frutas y verduras, césped recién cortado. Si con esto no es suficiente, se puede regar ligeramente la pila.

Además de los factores presentados anteriormente, existen otros factores que afectan el proceso del compostaje de los que no se detalla en la norma, pero que de igual forma se consideran necesarios para obtener un buen compost:

**Aireación:** La aireación se puede lograr por medio del volteo periódico. Generalmente se recomienda dos veces a la semana durante el primer mes, luego una vez por semana el siguiente mes, al tercer mes cada 15 días y los meses restantes una vez al mes, según la mezcla que se esté tratando.

**Temperatura:** La temperatura será controlada insertando un termómetro con vástago en los extremos y el centro de la pila. Este dato será registrado.

## 5.9 Programa de seguimiento y control

### Seguimiento del proyecto y de la producción

A continuación a modo de resumen, se presenta la carta Gantt del proyecto en la Tabla 5.25 que se tiene considerada para los 5 años de duración del proyecto para una posterior evaluación de ampliación de la planta.

**Tabla 5.25: Carta Gantt del proyecto.**

| ACTIVIDADES                           | Responsables                          | Meses  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|                                       |                                       | Año 0  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Año 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Año 2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Año 3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|                                       |                                       | 1...12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Obtención de financiamiento y equipos | Encargado del proyecto                |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Charlas y compromisos comunitarios.   | Encargado del proyecto y comunidad    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Capacitación personal de planta       | Encargado del proyecto y trabajadores |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Acondicionamiento del lugar           | Trabajadores                          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Producción de compost                 | Trabajadores                          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Compost                               | Encargado del proyecto y municipio    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

En la Tabla 5.26 se presenta la Planilla de seguimiento de labores del compostaje con los correspondientes encargados de la actividad. Se realiza hasta la semana 4 debido a que el proceso es repetitivo por el resto del tiempo que dura el proyecto. El encargado del proyecto es quien realiza el seguimiento de las actividades mencionadas.

Tabla 5.26: Planilla de seguimiento de las actividades del proceso productivo.

| ACTIVIDADES                                       | ENCARGADO                | MES 1    |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
|---------------------------------------------------|--------------------------|----------|---|----|---|---|---|---|----------|---|----|---|---|---|---|----------|---|----|---|---|---|---|----------|---|----|---|---|---|---|
|                                                   |                          | Semana 1 |   |    |   |   |   |   | Semana 2 |   |    |   |   |   |   | Semana 3 |   |    |   |   |   |   | Semana 4 |   |    |   |   |   |   |
|                                                   |                          | L        | M | Mi | J | V | S | D | L        | M | Mi | J | V | S | D | L        | M | Mi | J | V | S | D | L        | M | Mi | J | V | S | D |
| Recolección de residuos sólidos orgánicos         | Chofer y pioneta         |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Recepción de residuos sólidos orgánicos en planta | Encargado y pioneta      |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Trituración de los residuos sólidos orgánicos     | Trabajadores             |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Sitio de secado de los residuos sólidos orgánicos | Trabajadores             |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Mezcla y generación de la pila de compostaje      | Encargado y trabajadores |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Proceso de compostaje                             | Encargado y trabajadores |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |
| Almacenamiento                                    | Trabajadores             |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |          |   |    |   |   |   |   |

## Programa de Control

Como se presenta en la Figura 5.36 se realizarán controles en el proceso productivo. Estos serán realizados por el mismo personal (trabajadores) los cuales como se presenta en la Tabla 5.24 serán capacitados para estos tipo de mediciones. Para realizar estos controles se necesitan equipos como medidores de pH, pesas y termómetros.

Las planillas de control de presentan en el Anexo 6.

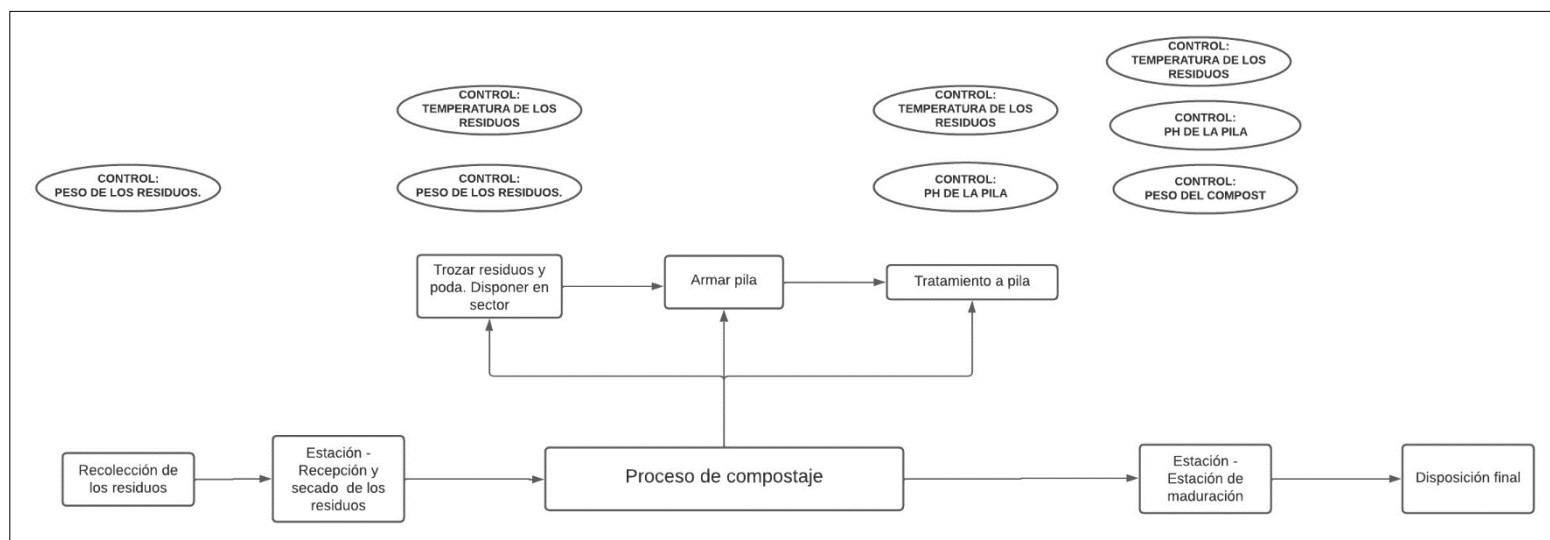


Figura 5.36: Flujo de cajas del proceso de compostaje y controles correspondientes a la actividad.

## 5.10 Evaluación técnica y económica de las alternativas seleccionadas

En el apartado 5.7 se realizó el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos para el 5% de la comuna de La Ligua, en donde como principal resultado se obtuvo el dimensionamiento del espacio a utilizar y junto a ello, se definen las cantidades de residuos a tratar, en conjunto a la cantidad teórica del producto de dicha alternativa de seleccionada. Debido a este dimensionamiento es que se hizo posible realizar la selección de equipo a utilizar para el tratamiento de residuos orgánicos mediante la alternativa del compostaje la cual fue seleccionada gracias a la consulta a expertos en el tema de tratamiento de residuos. Por otro lado, cabe mencionar que uno de los procesos seleccionados como lo es el compostaje con volteo manual no requiere de un personal especializado para su proceso. En cambio para el proceso de volteo por máquina se considera un chofer especializado.

En la Tabla 5.27 se presentan algunos de los equipos y materiales seleccionados para el proceso de compostaje.

**Tabla 5.27: Equipos o materiales a utilizar en el proceso productivo, junto a sus especificaciones.**

| Equipo o materiales                                                                 | Especificaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Marca y Modelo: GardenWood, GWH15<br/>           Capacidad de astillado: 10 A 120 MM<br/>           Sistema de alimentación: manual<br/>           DIMENSIONES: 1800*800*1250 MM<br/>           Precio: \$1.899.000</p> <p>Sitio: <a href="https://segener.cl/producto/chipeadora-de-ramas-gardenwood-gwh15-honda-uso-profesional/">https://segener.cl/producto/chipeadora-de-ramas-gardenwood-gwh15-honda-uso-profesional/</a></p>                                                                                       |
|  | <p>Marca y Modelo: ProChef, TCS-T<br/>           Peso máximo: 3000 Kg.<br/>           Precisión: 500 Gr.<br/>           Dimensiones: 120 x 120 x 10 cm<br/>           Precio:\$249.990</p> <p>Sitio: <a href="https://www.falabella.com/falabella-cl/product/124465158/Pesa-Digital-3000-Kg-(3-Ton)-Plataforma-120x120-Cm/124465159?kid=shopp179fc&amp;pid=Googl">https://www.falabella.com/falabella-cl/product/124465158/Pesa-Digital-3000-Kg-(3-Ton)-Plataforma-120x120-Cm/124465159?kid=shopp179fc&amp;pid=Googl</a></p> |

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | <a href="https://www.google.com/search?q=w2a&amp;gclid=EAlaIQobChMI-uyx4fWcggMVM0VIAB1QWw8EEAQYAiABEgLWOvD_BwE">e_w2a&amp;gclid=EAlaIQobChMI-uyx4fWcggMVM0VIAB1QWw8EEAQYAiABEgLWOvD_BwE</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|    | <p>Rastrillo 14 dientes de metal negro<br/>         Marca: Tramontina<br/>         Ancho: 35 cm<br/>         Alto: 120 cm<br/>         Material: Acero templado/Madera<br/>         Material del mango: Madera</p> <p>Sitio: <a href="https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110183505/Rastrillo-14-dientes-de-metal-negro/110183509?exp=sodimac&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0CzoOL0xotoPwDi2HY9Vn8ykTiNlw4L6R8Td-9zwNUL-w9UOBV2Z80HoaAkDZEALw_wcB&amp;kid=shopp383fc&amp;pid=Google_w2a">https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110183505/Rastrillo-14-dientes-de-metal-negro/110183509?exp=sodimac&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0CzoOL0xotoPwDi2HY9Vn8ykTiNlw4L6R8Td-9zwNUL-w9UOBV2Z80HoaAkDZEALw_wcB&amp;kid=shopp383fc&amp;pid=Google_w2a</a></p> |
|   | <p>Pala Cuadrada Mango Madera acero negro<br/>         Marca: tramontina<br/>         Dimensiones: 24*50cm<br/>         Precio: \$14.890</p> <p>Sitio: <a href="https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110163264/Pala-cuadrada-de-acero-negro/110163270?exp=sodimac&amp;gclid=EAlaIQobChMI0a2o14SdggMV9INIAB1_rwJUEAQYBSABEgL9bPD_BwE&amp;kid=shopp383fc&amp;pid=Google_w2a">https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110163264/Pala-cuadrada-de-acero-negro/110163270?exp=sodimac&amp;gclid=EAlaIQobChMI0a2o14SdggMV9INIAB1_rwJUEAQYBSABEgL9bPD_BwE&amp;kid=shopp383fc&amp;pid=Google_w2a</a></p>                                                                                                                                                                                                 |
|  | <p>Carretilla naranja liviana<br/>         Modelo: WB7400<br/>         Capacidad: 60 litros<br/>         Precio: \$43.990</p> <p>Sitio: <a href="https://www.ferreteriasandina.cl/carretilla-liviana-con-rueda-60-lts.html?gclid=EAlaIQobChMIguaY2JudggMVCI5IAB2eawo5EAQYAyABEgIrevD_BwE">https://www.ferreteriasandina.cl/carretilla-liviana-con-rueda-60-lts.html?gclid=EAlaIQobChMIguaY2JudggMVCI5IAB2eawo5EAQYAyABEgIrevD_BwE</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>           Marca JAC<br/>           Código HFC1040KN_E5_CH_AC<br/>           Año 2023<br/>           Valor Total con IVA \$ 18.076.100         </p> <p>           Sitio: <a href="https://www.camionesjac.cl/?gad_source=1&amp;gclid=CjwKCAjw7oeqBhBwEiwALyHLM95PWZrUFXQU_sW3pNKG0cSt9q6ByJsAEryPOCVyr4BH6KgjTGaIPRoCMiEQAvD_BwE">https://www.camionesjac.cl/?gad_source=1&amp;gclid=CjwKCAjw7oeqBhBwEiwALyHLM95PWZrUFXQU_sW3pNKG0cSt9q6ByJsAEryPOCVyr4BH6KgjTGaIPRoCMiEQAvD_BwE</a> </p>                                                                                                                                                            |
|    | <p>           Peso 980 KG<br/>           Clave de puntos de venta :Alta productividad<br/>           Uso: Torneado de compost<br/>           Capacidad de Producción: 600-1400m3/h         </p> <p>           Sitio: <a href="https://spanish.alibaba.com/p-detail/CHINA-1600051149505.html?spm=a2700.details.0.0.57987b65210VxG">https://spanish.alibaba.com/p-detail/CHINA-1600051149505.html?spm=a2700.details.0.0.57987b65210VxG</a> </p>                                                                                                                                                                                                           |
|  | <p>           Lona para Camión 3x4<br/>           Materia: PVC<br/>           Precio: \$15.990         </p> <p>           Sitio: <a href="https://www.falabella.com/falabella-cl/product/123122158/Lona-para-Camion-3x4/123122159?kid=shopp169fc&amp;pid=Google_w2a&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0Czo0Ku8_L7QJm6dpD4-pBgkzQF8lYNdwle1f0PYSnwRLFUOkPLteC8oaAls3EALw_wcB">https://www.falabella.com/falabella-cl/product/123122158/Lona-para-Camion-3x4/123122159?kid=shopp169fc&amp;pid=Google_w2a&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0Czo0Ku8_L7QJm6dpD4-pBgkzQF8lYNdwle1f0PYSnwRLFUOkPLteC8oaAls3EALw_wcB</a> </p> |

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Balde plástico con tapa blanco<br/>Capacidad: 25 kilos<br/>Precio: \$5.990</p> <p>Sitio: <a href="https://www.geocleanservicios.cl/balde-20-litros-estandar-con-tapa-precinto">https://www.geocleanservicios.cl/balde-20-litros-estandar-con-tapa-precinto</a></p>               |
|   | <p>Modelo: soil detector<br/>Características: Medidor De PH De Suelo 4 en 1.<br/>Precio: \$14.199</p> <p>Sitio: <a href="https://www temu.com/kuiper/dn9.html?subj=downloadable-ads-shopping&amp;">https://www temu.com/kuiper/dn9.html?subj=downloadable-ads-shopping&amp;</a></p> |
|  | <p>1 Juego De Termómetro De Compost De Temperatura Extendida Del Suelo De Acero Inoxidable Termómetro De Plantación Agrícola °C/°F<br/>Precio: \$9.345</p> <p>Sitio: <a href="http://www temu.com">www temu.com</a></p>                                                             |

### **Evaluación económica**

Para lo que es la evaluación económica, se realizó la cotización correspondiente a materiales, equipos y personal necesario para el proceso de la planta de compostaje. Como se mencionó anteriormente lo que varía en las alternativas seleccionadas de compostaje con volteo manual o volteo por mecánico, es la inversión en la maquinaria, la mantención de esta y el correspondiente chofer. Estos costos asociados a las alternativas se presentan en las Tablas 5.28 y 5.29 correspondientemente.

Cabe mencionar que los costos se presentan en Unidad de Fomento (U.F.) obtenido del día 31 de Octubre del año 2023 donde 1 U.F. es equivalente a \$36.388,07.

Tabla 5.28: Costos asociados a la alternativa de compostaje con volteo manual.

| CASO 1. VOLTEO MANUAL |                                     |             |                     |            |                  |                                  |                                 |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Etapas                | Detalle                             | Cantidad    | Costo unitario (\$) | Total (\$) | Costo anual (\$) | Costo anual (U.F.)<br>(31/10/23) | Referencia                      |
| Operación             | Sueldo chofer de camión             | 1           | 620.000             | 620.000    | 7.440.000        | 204,463                          | Ofertas de trabajo              |
|                       | Sueldo encargado del proyecto       | 1           | 1.225.000           | 1.225.000  | 14.700.000       | 403,979                          | Ofertas de trabajo              |
|                       | Sueldo encargado unidad operacional | 1           | 592.000             | 592.000    | 7.104.000        | 195,229                          | Ofertas de trabajo              |
|                       | Trabajadores                        | 3           | 460.000             | 1.380.000  | 16.560.000       | 455,094                          | Ofertas de trabajo              |
|                       | Lingas de amarre                    | 1 set de 2u | 38.940              | 38.940     | 38.940           | 1,070                            | Falabella                       |
|                       | Medidor de pH                       | 1           | 14.199              | 14.199     | 14.199           | 0,390                            | temu                            |
|                       | Termometro                          | 1           | 9.345               | 9.345      | 9.345            | 0,257                            | temu                            |
|                       | Baldes                              | 200         | 5.990               | 1.198.000  | 1.198.000        | 32,923                           | geocleanservicios               |
|                       | Palas                               | 5           | 14.890              | 74.450     | 74.450           | 2,046                            | Sodimac                         |
|                       | Rastrillo                           | 5           | 7.990               | 39.950     | 39.950           | 1,098                            | Sodimac                         |
|                       | Carretilla                          | 3           | 43.990              | 131.970    | 131.970          | 3,627                            | ferreterías andina              |
|                       | Pesa                                | 2           | 249.990             | 499.980    | 499.980          | 13,740                           | Seneger                         |
|                       | Escoba                              | 3           | 9.299               | 27.897     | 27.897           | 0,767                            | Jumbo                           |
|                       | Lona para camión                    | 1           | 15.990              | 15.990     | 15.990           | 0,439                            | falabella                       |
|                       | Combustible/semana                  | 40L         | 1.035               | 41.400     | 1.987.200        | 54,611                           | Petrobras                       |
|                       | Overol                              | 4           | 7.990               | 31.960     | 31.960           | 0,878                            | falabella                       |
|                       | Bolsas de basura                    | 10 pack 10u | 1.550               | 15.500     | 15.500           | 0,426                            | Lider                           |
|                       | Par de guantes                      | 5           | 420                 | 2.100      | 6.300            | 0,173                            | Sodimac                         |
|                       |                                     |             |                     |            |                  |                                  |                                 |
| Mantenición           | Mantenición camión                  | 1           | 9038050             | 9.038.050  | 9.038.050        | 248,379                          | Supuesto (0,5*Valor maquinaria) |
|                       | Mantenición trituradora             | 1           | 949500              | 949.500    | 949.500          | 26,094                           | Supuesto (0,5*Valor maquinaria) |
|                       |                                     |             |                     |            |                  |                                  |                                 |
| Inversión             | Camión 3/4                          | 1           | 18.076.100          | 18.076.100 | 18.076.100       | 496,759                          | JAC                             |
|                       | Trituradora                         | 1           | 1.899.000           | 1.899.000  | 1.899.000        | 52,187                           | Seneger                         |
| TOTAL                 |                                     |             |                     |            | 79.858.331       | 2.194,629                        |                                 |

Tabla 5.29: Costos asociados a la alternativa de compostaje con volteo manual.

| CASO 2. VOLTEO POR MAQUINARIA |                                     |             |                     |            |                  |                                  |                                 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Etapas                        | Detalle                             | Cantidad    | Costo unitario (\$) | Total (\$) | Costo anual (\$) | Costo anual (U.F.)<br>(31/10/23) | Referencia                      |
| Operación                     | Sueldo chofer de volteadora         | 1           | 650.000             | 650.000    | 7.800.000        | 214,36                           | Ofertas de trabajos             |
|                               | Sueldo chofer de Camión             | 1           | 620.000             | 620.000    | 7.440.000        | 204,463                          | Ofertas de trabajos             |
|                               | Sueldo encargado del proyecto       | 1           | 1.225.000           | 1.225.000  | 14.700.000       | 403,979                          | Ofertas de trabajos             |
|                               | Sueldo encargado unidad operacional | 1           | 592.000             | 592.000    | 7.104.000        | 195,229                          | Ofertas de trabajos             |
|                               | Trabajadores                        | 2           | 460.000             | 920.000    | 11.040.000       | 303,396                          | Ofertas de trabajos             |
|                               | Lingas de amarre                    | 1 set de 2u | 38.940              | 38.940     | 38.940           | 1,070                            | Falabella                       |
|                               | Medidor de pH                       | 1           | 14.199              | 14.199     | 14.199           | 0,390                            | temu                            |
|                               | Termometro                          | 1           | 9.345               | 9.345      | 9.345            | 0,257                            | temu                            |
|                               | Baldes                              | 200         | 5.990               | 1.198.000  | 1.198.000        | 32,923                           | geodeanservicios                |
|                               | Palas                               | 5           | 14.890              | 74.450     | 74.450           | 2,046                            | Sodimac                         |
|                               | Rastrillo                           | 5           | 7.990               | 39.950     | 39.950           | 1,098                            | Sodimac                         |
|                               | Carretilla                          | 3           | 43.990              | 131.970    | 131.970          | 3,627                            | ferreterias andina              |
|                               | Pesa                                | 2           | 249.990             | 499.980    | 499.980          | 13,740                           | Seneger                         |
|                               | Escoba                              | 3           | 9.299               | 27.897     | 27.897           | 0,767                            | Jumbo                           |
|                               | Lona para camión                    | 1           | 15.990              | 15.990     | 15.990           | 0,439                            | falabella                       |
|                               | Combustible/semana                  | 70L         | 1.035               | 72.450     | 3.477.600        | 95,570                           | Petrobras                       |
|                               | Mantenión                           | Overol      | 4                   | 7.990      | 31.960           | 31.960                           | 0,878                           |
| Bolsas de basura              |                                     | 10 pack 10u | 1.550               | 15.500     | 15.500           | 0,426                            | Lider                           |
| Par de guantes                |                                     | 5           | 420                 | 2.100      | 6.300            | 0,173                            | Sodimac                         |
| Mantencción volteadora        |                                     | 1           | 1.546.799           | 1.546.799  | 1.546.799        | 42,51                            | Supuesto (0,5*Valor maquinaria) |
| Mantencción camión            |                                     | 1           | 9038050             | 9.038.050  | 9.038.050        | 248,379                          | Supuesto (0,5*Valor maquinaria) |
| Inversión                     | Mantencción trituradora             | 1           | 949500              | 949.500    | 949.500          | 26,094                           | Supuesto (0,5*Valor maquinaria) |
|                               | Camión 3/4                          | 1           | 18.076.100          | 18.076.100 | 18.076.100       | 496,759                          | JAC                             |
|                               | Volteadora                          | 1           | 3.093.597           | 3.093.597  | 3.093.597        | 85,017                           | Shandong Sunco Aet Co.,Ltd      |
| TOTAL                         | Trituradora                         | 1           | 1.899.000           | 1.899.000  | 1.899.000        | 52,187                           | Seneger                         |
|                               |                                     |             |                     |            | 88.269.127       | 2.425,771                        |                                 |

En la Tabla 5.30 se presentan las consideraciones para el cálculo VAC

**Tabla 5.30: Consideraciones para el cálculo de VAC.**

|                                 |       |       |                                                 |
|---------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------|
| <b>Inflación</b>                | 6,30% | 0,063 | Anual 2023 (Banco Central de Chile)             |
| <b>Tasa de descuento social</b> | 6%    | 0,06  | Real anual (Subsecretaría de Evaluación Social) |

En las Tabla 5.31 y 5.32 se presenta la evaluación económica realizada para las etapas de inversión, operación y mantención, con sus correspondientes costos asociados. Se aplica en análisis del Valor Actual de Costos – VAC (Ecuación 33) a estas 2 alternativas, debido a que no se quiere obtener algún beneficio monetario de la producción.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad \text{Ecuación 33}$$

**Tabla 5.31: Cálculo de VAC, para el caso 1 de volteo manual.**

| <b>CASO 1. VOLTEO MANUAL</b> |                |              |              |              |              |              |              |
|------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Etapas</b>                | <b>Detalle</b> | <b>Año 0</b> | <b>Año 1</b> | <b>Año 2</b> | <b>Año 3</b> | <b>Año 4</b> | <b>Año 5</b> |
| Operación                    |                |              |              |              |              |              |              |
|                              | Mano de obra   | 0            | 1.338,066    | 1.422,365    | 1.511,973    | 1.607,228    | 1.708,483    |
|                              | Insumos        | -            | 119,530      | 65,951       | 70,105       | 74,522       | 79,217       |
| Mantención                   |                |              |              |              |              |              |              |
|                              | Maquinaria     | 0            | 291,765      | 310,146      | 329,685      | 350,456      | 372,534      |
| <b>Total de costos</b>       |                | -            | 1.749,361    | 1.798,461    | 1.911,764    | 2.032,206    | 2.160,234    |
| Inversión                    |                |              |              |              |              |              |              |
|                              | Maquinaria     | 548,946      | -            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Total de inversión</b>    |                | 548,946      | -            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Total flujo de costos</b> |                | 548,946      | 1.749,361    | 1.798,461    | 1.911,764    | 2.032,206    | 2.160,234    |
| <b>VAC</b>                   |                | 548,946      | 1.650,341    | 1.600,624    | 1.605,154    | 1.609,697    | 1.614,253    |
| <b>VAC</b>                   |                | 8,629        |              |              |              |              |              |

Tabla 5.32: Cálculo de VAC, para el caso 2 de volteo por maquinaria.

| CASO 2. VOLTEO POR MAQUINARIA. |              |         |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Etapas                         | Detalle      | Año 0   | Año 1     | Año 2     | Año 3     | Año 4     | Año 5     |
| Operación                      |              |         |           |           |           |           |           |
|                                | Mano de obra | 0       | 1.404,672 | 1.493,166 | 1.587,235 | 1.687,231 | 1.793,527 |
|                                | Insumos      | -       | 163,069   | 397,483   | 795,028   | 1.590,119 | 3.180,302 |
| Mantenición                    |              |         |           |           |           |           |           |
|                                | Maquinaria   | 0       | 336,951   | 358,179   | 380,745   | 404,732   | 430,230   |
| Total de costos                |              | -       | 1.904,692 | 2.248,828 | 2.763,008 | 3.682,082 | 5.404,059 |
| Inversión                      |              |         |           |           |           |           |           |
|                                | Maquinaria   | 633,963 | -         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| Total de inversión             |              | 633,963 | -         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| Total flujo de costos          |              | 633,963 | 1.904,692 | 2.248,828 | 2.763,008 | 3.682,082 | 5.404,059 |
| VAC                            |              | 633,963 | 1.796,879 | 2.001,449 | 2.319,875 | 2.916,554 | 4.038,227 |
| VAC                            |              | 13.707  |           |           |           |           |           |

Debido a lo obtenido de la evaluación realizada mediante el Valor Actual de Costos – VAC, se obtiene que la opción de volteo manual es aquella que presenta una VAC inferior al obtenido por volteo por maquinaria, principalmente se debe a que la inversión realizada para la maquinaria, la utilización en la etapa de operación, mantención y manipulación de este equipo es alta en comparación al volteo manual. Es debido a este análisis que se escoge la alternativa de volteo manual (caso 1).

A modo de realizar una estimación de costos más acercada a la realidad, es que se realizó esta evaluación económica como privado, para evitar sesgos con relación a los tiempos y costos que se realizan mediante el mercado público y municipalidades. Cabe mencionar que de igual forma existen posibilidades de financiamiento de parte del Gobierno de Chile, como lo son los Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR), en donde el Gobierno Central se transfiere recursos fiscales a cada una de las regiones, para la materialización de proyectos y obras de desarrollo e impacto regional, provincial y local. Su administración corresponde principalmente a los Gobiernos regionales y a la Subsecretaría de Desarrollo Regional y administrativo.

## 6 DISCUSIÓN

La información correspondiente a residuos sólidos municipales se obtuvo gracias al departamento de medio ambiente de la municipalidad de La Ligua el cual, si bien entrego la mayor cantidad de datos disponibles, mencionan que al haber tanto cambio de directiva en el departamento no se tuvo el orden necesario para brindar un mayor rango de información con respecto a los residuos por año o por meses de la comuna, disminuyendo de esta manera la precisión de la estimación futura de los residuos, en donde cabe mencionar los años de pandemia asociados.

A partir de los registros de caracterización de cada tipo de residuos realizado por la empresa ECOMETRO URBANISMO S.A., se estableció una estrategia para el manejo de los residuos sólidos orgánicos, para de esta manera aportar a mejorar la actual gestión de los residuos sólidos domiciliarios, ya que estos aumentan en forma directa con el crecimiento poblacional como se evidenció por parte de la recolección de información.

En cuanto a la selección de la alternativa para el manejo de residuos sólidos orgánicos, se evaluaron solo las alternativas que permiten manejar residuos de tipo orgánico, a través de una matriz de valoración de acuerdo a los requerimientos y necesidades de la Ilustre Municipalidad de La Ligua. La realización de la consulta a expertos permitió validar dicha selección, ya que pudieron discriminar y priorizar una alternativa de otra, en base a los criterios económicos, legales y técnicos.

La alternativa con mayor puntuación para tratar este tipo de residuos fue el compostaje el cual permite obtener un producto útil a partir de la transformación de un residuo a materia prima. Para la selección del tipo de compostaje a realizar en base al contexto local, se seleccionó el compostaje en pilas estáticas y de volteo. Al seleccionar el compostaje, se diseñó una planta de compostaje siguiendo lo estipulado por la NCh 3382/2016, en donde permitió estimar la cantidad de espacio a necesitar y las condiciones necesarias para la producción de compost.

A dicha alternativa se le propuso un programa de seguimiento y control, consistente en el análisis de la información generada durante el proyecto, para la identificación temprana de riesgos y desviaciones respecto al plan ideado. Es por ello que se realizó una guía de ruta, la cual permite hacerle el seguimiento a la actividad correspondiente y se realizó una planilla para el correspondiente seguimiento por pila de compostaje. Por su parte, el programa de control fue realizado en base a las condiciones ideales al paso del tiempo con respecto a la alternativa que se seleccionó, el cual comprende el desarrollo de las actuaciones para conseguir que lo planificado y esperado ocurra. Para esto se generó las planillas de los parámetros a controlar en el proceso, como lo son el pesaje, temperatura y pH por mencionar algunos.

En cuanto al tratamiento de este tipo de residuos se realiza a nivel mundial, en donde Suecia, Italia, Francia y Austria se distinguen mundialmente por gestionar con éxito sus residuos orgánicos. Suecia por su parte, recicla el 99 % de sus desechos en donde, por ley, los suecos separan todos los residuos reciclables en sus casas y los depositan en contenedores especiales en sus zonas

residenciales y en lo que respecta a los residuos orgánicos, elaboran compostas que se usan para obtener fertilizantes y biogás, que es utilizado como combustible de los autobuses. En Nantes, Francia, la organización llamada La Tricyclerie recoge la basura orgánica de los restaurantes de la ciudad para crear compostaje que se destina a espacios verdes y huertos urbanos, agricultores y jardines comunitarios. En Italia, específicamente en Milán, es reconocida por su eficaz manejo de residuos. La recolección es de puerta en puerta; permitiendo que se separen adecuadamente los desechos. Los orgánicos son llevados a una planta de compostaje y biometanización, en donde se produce abono natural para los cultivos de la zona y ahí mismo se recupera energía renovable mediante la producción de biogás. Austria por su parte cuenta con una planta de compostaje en Viena de 6,2 hectáreas de extensión, donde cada año se procesan cerca de 100.000 toneladas de residuos orgánicos, de las cuales se obtienen entre 40.000 y 50.000 toneladas de compost. En esta planta tiene lugar la cadena completa de todas las etapas del tratamiento de residuos orgánicos, desde la entrega, pasando por el procesamiento, el compostaje y el cribado fino del compost terminado. (Agrioultura-Moderna, 2018)

Respecto a la situación actual de Chile en relación al manejo de residuos sólidos se evidencia una tendencia de interés por parte de los Municipios para solucionar problemas en torno a la generación y disposición final de residuos involucrando a la ciudadanía. Los métodos más comunes son los convenios con empresas privadas para la instalación de puntos verdes como lo son las campanas para el reciclaje de vidrio o las jaulas para botellas PET, luego están los puntos limpios, donde se puede depositar una variedad mayor de residuos valorizables, aunque supone un gasto mayor para las Municipalidades. En lo que respecta a los residuos sólidos orgánicos, cada vez se le está dando mayor importancia debido a que el tratamiento de estos aminora las emisiones de metano a la atmosfera, gas de efecto invernadero (GEI) y a su vez, permite disminuir la cantidad tanto en peso como en costos, debido a que la fracción orgánica presente en los residuos sólidos municipales es de 58% en peso, que representa el doble de lo que representan otras fracciones como los plásticos, cartones, entre otros según el Ministerio de Medio Ambiente.

La propuesta presentada busca aportar de manera positiva a las metas que se tienen como país con relación a la “ESTRATEGIA NACIONAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS: EL CHILE QUE QUEREMOS AL 2040” presentada por el Ministerio de Medio Ambiente, que entre sus metas intermedias al año 2030 indica que se pretende valorizar un 30% de los residuos orgánicos generados a nivel municipal y, menciona contar con un 50 % de las instituciones públicas separando en origen y valorizando los residuos orgánicos que generan. Por otra parte, la actual Ministra del Medio Ambiente, anunció el ingreso del proyecto de ley que promueve el reciclaje de residuos orgánicos, esto a través de un “camión del reciclaje de residuos vegetales” o la entrega de composteras a la ciudadanía.

Dentro de la región, la comuna de Viña del Mar es un ejemplo base del proyecto presentado, ya que esta municipalidad realiza el proceso de compostaje en pilas estáticas con volteo manual, en donde tienen considerado recibir una cantidad de 300 toneladas al año de residuos orgánicos proveniente de las ferias libres y una cantidad de 196 toneladas de material leñoso resultante de la

poda invernal de las especies arbóreas de la comuna. En el área de compostaje, se considera una capacidad máxima de 69 pilas de compost según lo mencionado en la visita en terreno dentro de planta de compostaje por parte del equipo de la municipalidad y, también, la información recolectada en base a la cuenta pública del año 2019. La municipalidad realiza la colecta de residuos orgánicos, los cuales son generados en las ferias libres del Estero Viña del Mar y Caupolicán, mediante bateas del tipo *open top* y, además, utiliza el material vegetal leñoso resultante de la Poda Invernal. Cada pila de compostaje en la planta (de aproximadamente 6 metros cúbicos de volumen) recibe un riego semanal uniforme de 0,5 metros cúbicos, por lo que la producción de lixiviados es mínima. La pila se mantiene en contacto directo con el suelo intercalando capas de residuos vegetales frescos con capas de chips de residuos de podas (2:1). El compost maduro es usado como sustrato en plantas producidas en el vivero municipal y también para mejorar suelos de las distintas plazas con mantención municipal, permitiendo al municipio ahorro en la compra de tierra orgánica a proveedores externos y a su vez, ahorro en el pago por la disposición de residuos sólidos municipales.

Debido a lo anteriormente mencionado, es que el proyecto busca ser propuesto para ser llevado a cabo por el municipio, donde uno de los mayores pilares es el desarrollo económico y social del sector. Considerando esto, el proyecto aporta al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, ya que el producto se puede utilizar dentro de la misma comuna para hermosear áreas verdes locales o incluso utilizarse como una herramienta para aportar a la contención de la erosión, responsable de reducir la fertilidad de los suelos y el principal enemigo de la comuna, la escases hídrica.

## 7 CONCLUSIONES

Los datos referentes al diagnóstico municipal fueron obtenidos gracias a la ayuda de la I. Municipalidad de La Ligua, específicamente su departamento de medio ambiente quien brindó los estudios y datos de los residuos sólidos municipales con los cuales se pudo conocer la cantidad y el tipo de los residuos sólidos domiciliarios generados en la comuna.

La encuesta de percepción social ayudó a identificar los principales puntos débiles de la población comunal en relación a los residuos generados y su disposición correspondiente. Se evidenció que la ciudadanía en general maneja ciertos tópicos sobre la gestión de residuos sólidos domiciliarios, pero no en su totalidad, ya que las respuestas de las encuestas en base al reciclaje se puede concluir que presentan un déficit de conocimientos, por lo que los ciudadanos son más bien prácticos para adquirir hábitos, es decir, las preguntas más acertadas tienen relación con lo que diariamente ven los ciudadanos en las calles o en su hogar, como por ejemplo la estimación porcentual en la generación de residuos en su hogar o la cantidad de veces que realiza el retiro de los residuos de su hogar al contenedor de aseo municipal. La aplicación de la encuesta en terreno también permitió concluir que de manera general, la población no conoce o identifican conceptos más técnicos como leyes o normas, esto se debe a que efectivamente no hay una cultura de educación ambiental inserta en los ciudadanos.

En base a la alternativa seleccionada se logró diseñar una propuesta donde se consideraron todos los antecedentes mencionados anteriormente, arrojando posibles alternativas tendientes a solucionar los principales problemas de la comuna relacionada con el manejo de residuos sólidos orgánicos como lo son mediante el compostaje por volteo manual o mecánico, con el fin de hacer el proceso de manera más económica y viable técnicamente respecto a la realidad de la zona de estudio, para el plan de manejo integral de los residuos orgánicos de la comuna de La Ligua, determinándose en él contenidos que facilitan y aportan a la implementación, funcionamiento y logística necesarios para ejecutarlo de forma interna por el municipio, con el fin de tratar los residuos orgánicos que se generen en la comuna. Técnicamente es posible implementar esta propuesta con estimaciones de costos para las etapas de inversión, operación y mantención, en donde se contrastó el Valor Actual de Costos (VAC) de las dos alternativas como lo son el compostaje en pilas con volteo manual y mecánico, en donde se obtuvo un valor de VAC de 8.629 y 13.707 U.F. respectivamente, permitiendo seleccionar de esta manera la alternativa de compostaje en pilas con volteo manual.

El principal mérito de la propuesta se centra en evitar el desperdicio de materias útiles que no deberían ser considerados residuos. Es aquí en donde la municipalidad cumplirá una labor fundamental, debido a que su rol es satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de la comuna. Debido a esto, esta alternativa es una propuesta que permite hacerse cargo de la gestión de residuos sólidos domiciliarios y, a su vez, permite la participación de la comunidad con respecto al proyecto

presentado. Además, considera los beneficios de este trabajo, que quedarían en la misma comunidad y municipio.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Adhikary, S. (2012). *Vermicompost, la historia del oro orgánico: Una revisión*. Ciencias Agrícolas. doi:10.4236/as.2012.37110
- Agrioultura-Moderna. (8 de 06 de 2018). *Hablemos de campo*. Obtenido de <https://www.hablemosdelcampo.com/los-reyes-del-compostaje-ellos-lideran-la-gestion-de-residuos-organicos/#:~:text=Suecia%2C%20Austria%2C%20Italia%20y%20Francia,que%20se%20conviertan%20en%20basura>.
- Atienza-Martínez, M., Fonts, I., Salafranca, J., De la Iglesia, O., & Sánchez, J. (2017). Caracterización de líquidos de pirólisis para su posterior tratamiento mediante separación o hidrotratamiento. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*.
- Ávila, W., & Moyano, J. (2019). *Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 Ton/Día*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15556/AvilaRuizWendyAndre2019.pdf?sequence=1>
- Barrera, E., & Aurora, E. (2014). *OBTIENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS RESIDUOS FERMENTABLES DEL MANGO Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE DESTILACIÓN*. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/2054/26762.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bello-Mendoza, R., González-Sánchez, M., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villareal, A., & Yañez-Ocampo, G. (2015). *Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia*. Buenos Aires, Argentina. . Recuperado el 20 de 08 de 2023, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0325-75412015000300010&script=sci\\_arttext&tlng=pt#ref](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0325-75412015000300010&script=sci_arttext&tlng=pt#ref)
- Biblioteca del Congreso Nacional. (2017). *Reportes Comunes*. Obtenido de [https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2017&idcom=5401](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2017&idcom=5401)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2011). *Mapoteca | Provincias | Provincia Petorca*. Obtenido de [https://www.bcn.cl/siit/mapoteca/provincia\\_view?dato=Petorca](https://www.bcn.cl/siit/mapoteca/provincia_view?dato=Petorca)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). Residuos - Conceptos, datos de residuos generados y regulación nacional. Recuperado el 3 de Mayo de 2023, de

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34061/1/BCN\\_Residuos\\_solidos\\_domiciliarios\\_Chile\\_2023\\_FINAL.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34061/1/BCN_Residuos_solidos_domiciliarios_Chile_2023_FINAL.pdf)

- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez Saad, H., Valdés, M., & Valenzuela, R. (2014). *Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos*. Recuperado el 19 de 08 de 2023, de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792014000400291#B9](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291#B9)
- Campos, E., Illa, J., Magrí Aloy, A., Palatsi Civit, J., Solé Mauri, F., & Florars Ripoll, X. (2004). *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. Cataluña, España. Recuperado el 19 de 08 de 2023, de [http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia\\_dejeccions.pdf](http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf)
- Cárdenas, S. (2021). *Propuesta para la protección y conservación del Humedal Laguna Mansa, Puerto Montt, Región de los Lagos. Tesis para optar a título de ingeniero ambiental*. Universidad de Valparaíso., Valparaíso, Chile.
- CEMPRE. (2012). Capítulo V - Parte 4 - Incineración . En *Residuos Sólidos Urbanos : Manual de Gestión Integral - Uruguay* (págs. 267-287). Uruguay . Obtenido de [https://www.cempre.org.uy/docs/manual\\_girsu/parte\\_4\\_incineracion.pdf](https://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_4_incineracion.pdf)
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2005). *Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Obtenido de [https://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/articles-26270\\_pol\\_rsd.pdf](https://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/articles-26270_pol_rsd.pdf)
- CONAMA. (2014). Análisis de las tecnologías de valorización de residuos basadas en la gasificación. *Congreso Nacional de Medio ambiente*.
- Cujia, G., & Bula, A. (2010). POTENCIAL OBTENCIÓN DE GAS DE SÍNTESIS PARA La producción de metanol a partir de la gasificación de residuos de palma africana. *Interciencia*, 106-112.
- Del Hierro, A., María José , A., Ortiz, D., & Sánchez , L. (2021). *Captura y cría de la mosca soldado negra (Hermetia Illucens) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador*. doi: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>
- Díaz, A. (2015). *Hidrólisis de residuos de la venta de verduras y hortalizas para la producción de bioetanol*. Obtenido de [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/33157/TFM\\_AnalIsabelDiazG;jsessionid=D36B3367CAA894547942C88AD855B267?sequence=6](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/33157/TFM_AnalIsabelDiazG;jsessionid=D36B3367CAA894547942C88AD855B267?sequence=6)
- Díaz, E. (2002). *Guía de Lombricultura*. La Rioja. Obtenido de <https://biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

- Díaz, F. (2020). *Evaluación de la pirólisis como un método de obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la universidad autónoma de occidente*. Santiago de Cali.
- Docampo, R. (2013). COMPOSTAJE Y COMPOST. En *Revista INIA* (págs. 63-37). Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>
- Fernández, G. (3 de 07 de 2020). 360 Soluciones verdes. Obtenido de <https://www.360-sv.com/blog/tipos-de-compostaje>
- Fonseca, E., & Maturana, G. (2010). *Producción de etanol a partir de residuos vegetales de un almacén*. Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss14/3/>
- Galvis Ocampo, S. (2019). Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia. *Revista Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)*, 5(1). Recuperado el 2 de 09 de 2023, de <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2769/3329>
- Gobbi, P., Martínez Sánchez, A., & Rojo, S. (2013). *The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae)*. Obtenido de <https://www.eje.cz/pdfs/eje/2013/03/10.pdf>
- Gosgot, W., Rivera López, R., Rascón, J., Barrena, M. Á., Ordinola, C., Oliva, M., & Montenegro, Y. (2021). Valoración energética de residuos orgánicos mediante pirólisis. *Revista De Investigación Agroproducción Sustentable.*, 5(2), 26-36. doi:<https://doi.org/10.25127/aps.20212.766>
- Hernández, S. (2015). *Diseño de una planta de gasificación de residuos sólidos urbanos para generación de electricidad con una pila de combustible*.
- Hoc, B., Gregorie, N., Carpentier, J., & Caparrós, R. (2019). *Optimization of black soldier fly (Hermetia illucens) artificial reproduction*. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216160#pone.0216160.ref007>
- I. Municipalidad de La Ligua. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo Comunal La Ligua 2019-2022 (PLADECO)*. Recuperado el 12 de Abril de 2023
- Instituto Europeo de Posgrado. (2018). *Instituto Europeo de Posgrado*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de <https://www.iep-edu.com.co/hito-de-proyecto-definicion-y-ejemplos/>

- Instituto Nacional de Estadística. (2017). *Censo de población y vivienda*. Recuperado el 19 de Abril de 2023, de <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda>
- INVERSA. (7 de 10 de 2011). *INVERSA - compostaje y lombricultura*. Recuperado el 24 de 10 de 2023, de <https://inversanet.wordpress.com/2011/09/07/ciclo-biologico-y-desarrollo-de-eisenia-foetida-lombriz-roja/>
- Jiménes, E. I. (2014). Unidad temática 4: Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. En *aspectos físico-químicos bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad*. Recuperado el 20 de 08 de 2023, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf>
- Li, Q. (2011). From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. En *Fuel* (Vol. 90, págs. 1545-1548). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110006307?via%3Dihub>
- López, S. (2018). *Planta de incineración de residuos sólidos urbanos a partir de una tecnología de parrilla*. Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/71338/fichero/TFM-1338-LOPEZ.pdf>
- Martínez, F. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de generación de energía a partir de biomasa*. Santiago de Chile.
- Martínez, M., Pantoja, A., & Román, P. (2013). *MANUAL DEL COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. Santiago, Chile. Recuperado el 18 de 08 de 2023, de <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Mejia , S., & Upegui , S. (2021). La pirólisis y otros métodos para el aprovechamiento de residuos de neumáticos como fuente de energía para la industria. *ACTIVA*, 41-60.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2013). *METODOLOGÍA GENERAL DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS*. Gobierno de Chile , División de Evaluación Social de Inversiones. Recuperado el 15 de 10 de 2023, de <https://sni.gob.cl/storage/docs/Metodologi%CC%81a-General-2013.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente . (2016). *Guía de educación ambiental y residuos*. Recuperado el 3 de Mayo de 2023, de <https://biblioteca.digital.gob.cl/bitstream/handle/123456789/1401/Gu%c3%ada-de-Educaci%c3%b3n-Ambiental-y-Residuos2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *ESTRATEGIA NACIONAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS CHILE 2040*. Recuperado el 19 de Abril de 2023, de <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>

- Ministerio de Salud. (2004). DECRETO 148 - APRUEBA REGLAMENTO SANITARIO SOBRE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS., (pág. Artículo 3). Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Nuestra Casa Verde*. Gobierno de Chile . Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de <https://casaverde.mma.gob.cl/wp-content/themes/casaverdeskin/pdf/Manual%20casa%20verde%20Version%20Final.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *ESTRATEGIA REGIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Región metropolitana de Santiago 2017-2021*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/PUBLIC-Estrategia-Reg-Residuos-Solidos-Digital.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Política Nacional de Residuos 2018 - 2030*. Recuperado el 19 de Abril de 2023, de [https://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/02/Politica-Nacional-de-Residuos\\_final-V\\_sin-presentacion.pdf](https://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/02/Politica-Nacional-de-Residuos_final-V_sin-presentacion.pdf)
- Moya Arteaga, J. (2011). “*ESTUDIO DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE LA VERMIHARINA DE LOMBRIZ (Eisenia foetida) LIOFILIZADA COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BALANCEADO PARA ALEVINES DE TRUCHA ARCO IRIS (Oncorhynchus mykiss).*”. Ecuador. Recuperado el 1 de 09 de 2023, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1991/1/56T00299.pdf>
- Municipalidad de Viña del Mar. (2019). *Cuenta Pública 2019*. I. Municipalidad de Viña del Mar, DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y SERVICIOS, Viña del Mar.
- Muñoz, L., & Parada , M. (2022). *DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA (Hermetia Illucens)*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8833/1/6162018-2022-1-IQ.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). La población mundial llegará a 8000 millones en 2022. Obtenido de <https://www.un.org/es/desa-es/la-poblaci%C3%B3n-mundial-llegar%C3%A1-8000-millones-en-2022#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20alcanzar%C3%A1%20los,poblad%C3%B3%20del%20mundo%20en%202023>.
- Oviedo Olvera, M., García Trejo , J., & Gutiérrez , C. (2022). Mosca soldado negra: eslabón perdido en la cadena de revalorización de residuos orgánicos. *Ciencia*, 73(3), 52-59. Obtenido de [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_3/PDF/09\\_73\\_3\\_1304.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_3/PDF/09_73_3_1304.pdf)
- Pérez, J., Borge, D., & Agudelo, J. (2010). Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico- experimentales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*.

- Plaza, N. (2018). *Evaluación técnico y económica de la aplicación de tecnología de gasificación de carbón y biomasa utilizando energía solar en una central termoeléctrica de pequeña escala*.
- Prado, J. (2007). Estudio multidisciplinar sobre fracción resto de residuos sólidos urbanos (RSU) en ASTURIAS. COGERSA.
- QuestionPro. (s.f.). *QuestionPro*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de [https://www.questionpro.com/es/index.html?gclid=Cj0KCQjwj\\_ajBhCqARIsAA37s0xrh4gLsQ33nKNcq0rE4Xul8nz5hyeVsQCLyIp8JrzEpbiz9HiOEaAg1zEALw\\_wcB](https://www.questionpro.com/es/index.html?gclid=Cj0KCQjwj_ajBhCqARIsAA37s0xrh4gLsQ33nKNcq0rE4Xul8nz5hyeVsQCLyIp8JrzEpbiz9HiOEaAg1zEALw_wcB)
- Romero, A. (2010). *La incineradora de residuos: ¿está justificado el rechazo social?* Madrid. Obtenido de <https://rac.es/ficheros/doc/00913.pdf>
- Salamanca Tamayo . (2010). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico*. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Dise%C3%B1o-2C-Construcci%C3%B3n-y-Puesta-en-Marcha-de-un-a-la-Tamayo-Andr%C3%A9/974572769b0f684d286445a8fa5a0cf46c1707fe>
- Salvador, A. R. (2010). La incineradora de residuos: ¿está justificado el rechazo social? *XI Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica*, 176-187.
- Santos, J., & Zabala, D. (2016). *EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SUS DIFERENTES MEZCLAS, GENERADOS EN LA EMPRESA DE ALIMENTOS SAS S.A.S.* Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/546/1/6102511-2016-2-IQ.pdf>
- Santos, K., Alvarado, N., José , G., Restrepo, M., González , M., Gómez, F., & Hernandez, S. (2022). REVALORACIÓN DE RESIDUOS DE FRUTA Y VERDURA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES. *XXVII Verano De la Ciencia*, 16. Obtenido de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3654/3151>
- SEDESOL. (2001). *Manual Técnico – Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal*.
- SIMÓN DE CIRENE. (s/f). *Anglo American*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de <https://chile.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Chile-V2/Carta-Gantt-y-Presupuesto-somos-comunidad.pdf>
- Singh, A., & Kumari, K. (2019). *An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719312873>

- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2021). *Residuos*. Obtenido de <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/01/C10-residuos-rem-a-2021.pdf>
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2022). *Séptimo Reporte del Estado del Medio Ambiente*. Recuperado el 19 de Mayo de 2023, de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2022/>
- SYDLE. (12 de 09 de 2023). *SYDLE ONE*. Recuperado el Septiembre de 2023, de <https://www.sydle.com/es/blog/kpi-615de90225ce5d3ef29a5570#:~:text=Del%20ingl%C3%A9s%2C%20el%20acr%C3%B3nimo%20KPI,las%20estrategias%20de%20un%20negocio>
- Tchobanoglous, G., Theisen , H., & Vigil , S. (1994). *GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS*. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA.
- Toraman, H. (2022). Pirólisis de Biomasa y Pretratamiento. En *Combustibles alternativos a partir de fuentes de biomasa*. Recuperado el 20 de Agosto de 2023, de [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa\\_Biol%C3%B3gica/Combustibles\\_alternativos\\_a\\_partir\\_de\\_fuentes\\_de\\_biomasa\\_\(Toraman\)/05%3A\\_Pir%C3%B3lisis\\_de\\_Biomasa\\_y\\_Pretratamiento/5.01%3A\\_Pir%C3%B3lisis\\_de\\_Biomasa](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_alternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_(Toraman)/05%3A_Pir%C3%B3lisis_de_Biomasa_y_Pretratamiento/5.01%3A_Pir%C3%B3lisis_de_Biomasa)
- Toraman, H. E. (2022). Procesos adicionales para Combustibles a partir de Biomasa. En H. E. Toraman, *Combustibles alternativos a partir de fuentes de biomasa*. Recuperado el 20 de 08 de 2023, de [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa\\_Biol%C3%B3gica/Combustibles\\_alternativos\\_a\\_partir\\_de\\_fuentes\\_de\\_biomasa\\_\(Toraman\)/12%3A\\_Procesos\\_Adicionales\\_para\\_Combustibles\\_a\\_partir\\_de\\_Biomasa/12.01%3A\\_Digesti%C3%B3n\\_anaer%C3%B3bica](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_alternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_(Toraman)/12%3A_Procesos_Adicionales_para_Combustibles_a_partir_de_Biomasa/12.01%3A_Digesti%C3%B3n_anaer%C3%B3bica)
- Torres Mora, M., Trujillo González, J., & Vargas Pineda, O. (2019). *El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento*. Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/896/89662922013/html/>
- UABDivulga. (25 de 07 de 2017). *UABDivulga*. Obtenido de <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/la-digestion-anerobica-en-europa-investigacion-y-desarrollo-1345680342040.html?noticiaid=1345734427688>
- VERNICAN. (2019). *Manual del vermicompostaje*. Recuperado el 24 de 09 de 2023, de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/ManualVermicompostaje.pdf>
- Vilca, K., Rodríguez, S., Atarama, U., Cristian, C., Concha, W. J., Atausupa, M. A., & Gosgot, W. (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos.

*Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable*, 6(1), 43-56.  
doi:<https://doi.org/10.25127/aps.20221.854>

World Wide Fund for Nature. (15 de Mayo de 2012). El aumento del consumo y el incremento en el uso de recursos por una población creciente ponen una presión insostenible para nuestro planeta. Recuperado el 19 de Abril de 2023, de <https://wwf.panda.org/es/?204748/informeplanetavivocommundial>

## 9 ANEXOS

### Anexo 1: Encuesta



**Estimada/o,**

Mi nombre es Matías Vásquez Farfán y agradezco tu colaboración en esta encuesta que aporta de manera positiva a la elaboración de mi trabajo de título para optar a ser Ingeniero Ambiental de la Universidad de Valparaíso. Tus respuestas son muy importantes para ayudarme a tener claridad en lo que respecta a la caracterización y hábitos de gestión de residuos que se tiene como comunidad de La Ligua.

Por favor, responde a las siguientes preguntas con una X:

**1.- Usted:**

- Habita en la comuna ☐
- No habita en la comuna (Se termina la encuesta) ☐

**2.- ¿Dentro de que rango de edad se encuentra?**

- Menor de edad ☐
- de 18 a 30 años ☐
- de 31 a 50 años ☐
- de 51 a 70 años ☐
- de 71 o más años ☐

**3.- ¿Qué desecha en mayor proporción al contenedor de basura de su hogar?**

- Orgánica ☐
- Papeles y/o cartón ☐
- Latas y conservas ☐
- Vidrios ☐
- Plásticos ☐
- Otro, ¿cuales? \_\_\_\_\_ ☐

**Figura 9.1: Primera hoja de la encuesta realizada a la comunidad.**

**4.- ¿Qué desecha en segunda mayor proporción al contenedor de basura de su hogar?**

- Orgánica ☐
- Papeles y/o cartón ☐
- Latas y conservas ☐
- Vidrios ☐
- Plásticos ☐
- Otro, ¿cuales? \_\_\_\_\_ ☐

**5.- ¿Qué desecha en tercer mayor proporción al contenedor de basura de su hogar?**

- Orgánica ☐
- Papeles y/o cartón ☐
- Latas y conservas ☐
- Vidrios ☐
- Plásticos ☐
- Otro, ¿cuales? \_\_\_\_\_ ☐

**6.-¿En su sector existe contenedor municipal?**

- Si ☐
- No (Saltar a pregunta 8) ☐

**7.-¿Cuántas veces a la semana deja sus residuos en el contenedor municipal?**

- Toda los días de la semana ☐
- 5 días a la semana ☐
- 3 días a la semana ☐
- 2 días a la semana ☐
- 1 día a la semana ☐
- Frecuencia con la que pasa el camión de aseo municipal ☐

**8.- ¿En su sector existe servicio de aseo para el retiro de los residuos?**

- Si ☐
- No (Saltar a pregunta 10) ☐

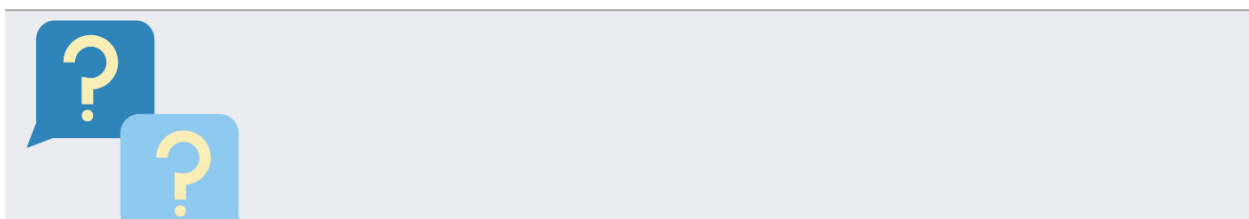


**Figura 9.2: Segunda hoja de la encuesta realizada a la comunidad.**

**9.-¿Cuántas veces a la semana pasa el servicio de aseo para retirar los residuos?**

- Toda los días de la semana ☐
- 5 días a la semana ☐
- 3 días a la semana ☐
- 2 días a la semana ☐
- 1 día a la semana ☐
- No lo sé ☐

**10.- ¿Conoce los puntos verdes o puntos limpios de la comuna de La Ligua?**

- Si ☐
- No ☐

**11.- Usted, ¿Separa o recicla algún material?**

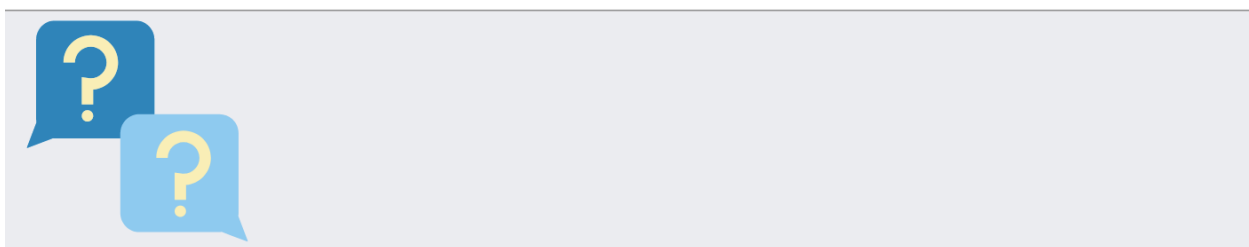
- Si ☐
- No (Saltar a pregunta 14) ☐

**12.- ¿Qué materiales separa o recicla? (marque más de una opción si corresponde)**

- Orgánica ☐
- Papeles y/o cartón ☐
- Latas y conservas ☐
- Vidrios ☐
- Plásticos ☐
- Otro, ¿Cual? \_\_\_\_\_ ☐

**13. ¿Qué hace con los materiales que separa o recicla? (marque más de una opción si corresponde)**

- Los vende ☐
- Los entrega a recicladores autorizados del Programa de Reciclaje (contenedores) ☐
- Los entrega a triciclos que pasan por las calles ☐
- Los reutiliza (compostaje, manualidades, contenedores, combustible, etc.) ☐
- Otro, ¿Qué? \_\_\_\_\_ ☐

**Figura 9.3: Tercera hoja de la encuesta realizada a la comunidad.**

**14.- Considerando que los Residuos Orgánicos Domiciliario se definen como: "Fracción de los residuos sólidos domiciliarios compuesta por restos de frutas hortalizas, poda, jardín, entre otros, fácilmente compostable", según la Norma Chilena N° 2.880.**

**De la totalidad de los residuos que genera en su casa, ¿Qué porcentaje (%) estima usted que represente la cantidad de Residuos Sólidos Orgánicos que desecha?**

- 1% ☐
- 10% ☐
- 20% ☐
- 30% ☐
- 40% ☐
- 50% ☐
- 60% ☐
- 70% ☐
- 80% ☐
- 90% ☐
- 100% ☐



**GRACIAS POR TU TIEMPO.**

**Figura 9.4: Cuarta hoja de la encuesta realizada a la comunidad.**



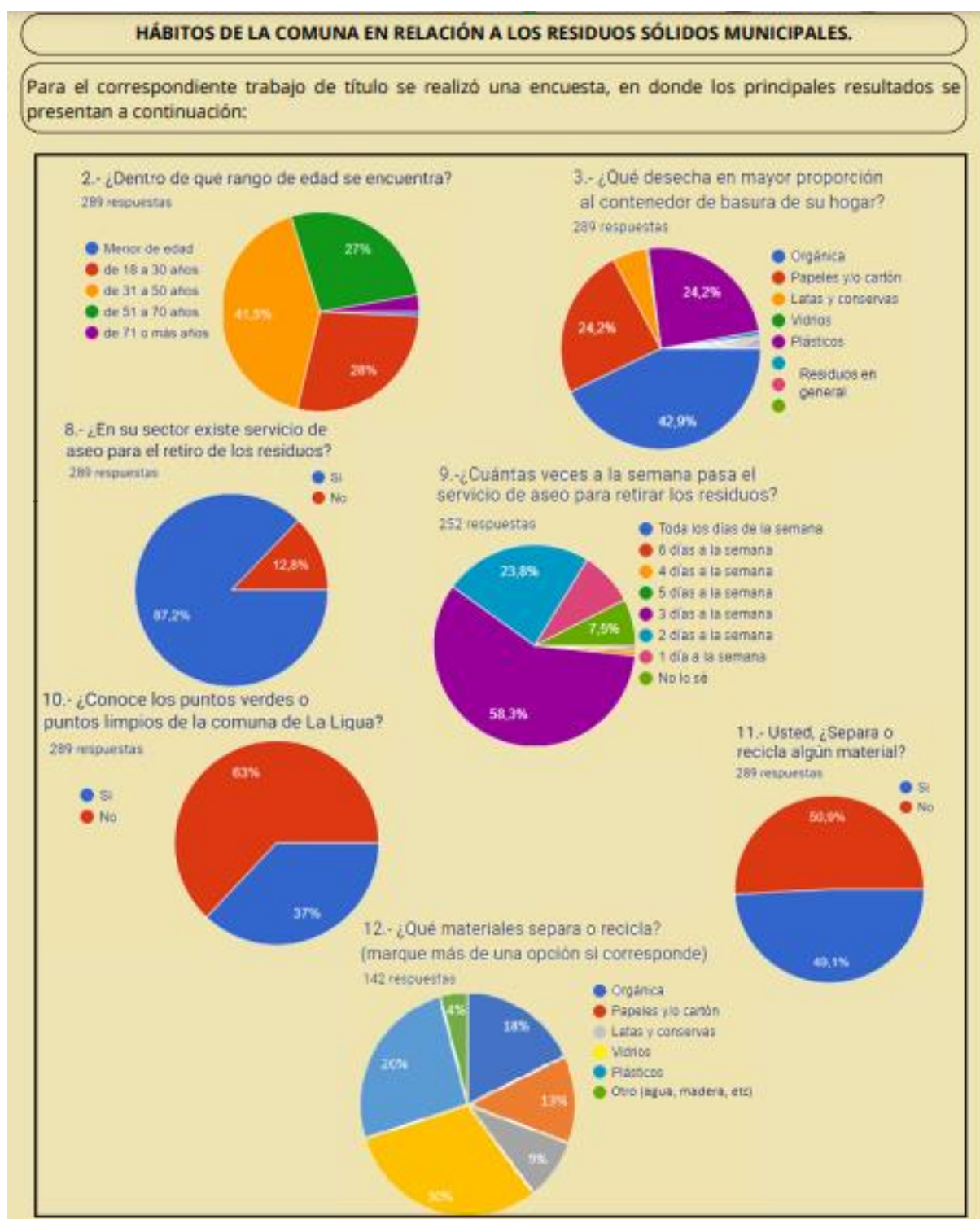


Figura 9.6: Hoja presentada para la consulta a los expertos en donde se exponen los principales resultados obtenidos de la encuesta

| VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS DOMICILIARIOS GENERADOS EN LA COMUNA DE LA LIGUA.                                                                                                                                                                           |                                          |         |                                                          |       |                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Para la selección de la alternativa de gestión de residuos sólidos orgánicos se realizará una valoración donde se consideran los criterios Económicos (E), Técnicos (T) y Legales (L) en donde los valores a escoger deben estar dentro de los rangos presentes en las <b>Tablas 6, 7 y 8</b> respectivamente. |                                          |         |                                                          |       |                                                                                                                |
| Económico                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                          | Técnico |                                                          | Legal |                                                                                                                |
| Valor                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Descripción                              | Valor   | Descripción                                              | Valor | Descripción                                                                                                    |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Alta inversión – Alto costo de operación | 1       | Capital humano calificado – Tecnología avanzada          | 1     | No hay legislación                                                                                             |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Alta inversión – Bajo costo de operación | 2       | Capital humano calificado – Tecnología tradicional       | 2     | Existe legislación pero se requiere de una legislación adicional o de nueva legislación para su implementación |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Baja inversión – Alto costo de operación | 3       | Capital humano no especializado – Tecnología avanzada    | 3     | Existe legislación aplicable                                                                                   |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Baja inversión – Bajo costo de operación | 3       | Capital humano no especializado – Tecnología tradicional | 3     | Existe legislación aplicable                                                                                   |

| Alternativa                                                                       | Valoración |           |       | Comentario | Puntaje total |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-------|------------|---------------|
|                                                                                   | Técnico    | Económico | Legal |            |               |
| 1.- Compostaje                                                                    |            |           |       |            |               |
| 2.- Utilización de la Mosca soldado negra para obtener proteínas o biodisel.      |            |           |       |            |               |
| 3.- Lombricultura para la obtención de humus.                                     |            |           |       |            |               |
| 4.- Fermentación y destilación para generar bioetanol.                            |            |           |       |            |               |
| 5.- Digestión anaerobia para la generación de biogás.                             |            |           |       |            |               |
| 6.- Incineración para la generación de Energía.                                   |            |           |       |            |               |
| 7.- Gasificación para la obtención de energía y gas de síntesis.                  |            |           |       |            |               |
| 8.- Pirólisis para la obtención de Carbonización, gas de pirólisis o alquitranes. |            |           |       |            |               |

Figura 9.7: Hoja presentada a los expertos para la valoración de las alternativas propuestas para el tratamiento de residuos orgánicos.

## Anexo 3: Respuesta de los expertos

### RESPUESTA DE MARCO BRAVO ARRIAGADA

**Tabla 9.1: Valoración de las alternativas por parte del experto Marco Bravo Arriagada.**

| Alternativa                                                                       | Valoración |           |       | Comentario                                                                                                                                                                                                     | Puntaje total |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|                                                                                   | Técnico    | Económico | Legal |                                                                                                                                                                                                                |               |
| 1.- Compostaje                                                                    | 2          | 3         | 1     | Esta evaluación no obstante, dependerá de los volúmenes que se quieran tratar.                                                                                                                                 | 6             |
| 2.- Utilización de la Mosca soldado negra para obtener proteínas o biodisel.      |            |           |       | Desafortunadamente desconozco la experiencia práctica y logística para esta alternativa                                                                                                                        | -             |
| 3.- Lombricultura para la obtención de humus.                                     | 2          | 3         | 1     | Al igual que el caso del compostaje, me parece que dependerá de los volúmenes que se quiera tratar, además de las etapas previas, que requieren un residuo bien segregado.                                     | 5             |
| 4.- Fermentación y destilación para generar bioetanol.                            | 1          | 1         | 2     |                                                                                                                                                                                                                | 4             |
| 5.- Digestión anaerobia para la generación de biogás.                             | 1          | 1         | 3     | No estoy seguro si hay efectivamente una legislación aplicable para Chile, pero es posible chequear para ello la Estrategia Climática de Largo plazo, la Ley Marco de CC y las NDC que se actualizaron en 2020 | 5             |
| 6.- Incineración para la generación de Energía.                                   | 1          | 1         | 1     | Desconozco la legislación para esto, pero quizás puedes consultar por el Reglamento de Rellenos Sanitarios                                                                                                     | 3             |
| 7.- Gasificación para la obtención de energía y gas de síntesis.                  | 1          | 1         | 1     | Idem caso anterior                                                                                                                                                                                             | 3             |
| 8.- Pirólisis para la obtención de Carbonización, gas de pirolisis o alquitranes. | 1          | 1         | 1     |                                                                                                                                                                                                                | 3             |

## **RESPUESTA DE MARÍA CRISTINA SCHIAPPACASSE DASATI**

**Tabla 9.2: Valoración de las alternativas por parte de la experta María Schiappacasse Dasati.**

| Alternativa                                                                       | Valoración |           |       | Comentario                                                                                                                        | Puntaje total |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|                                                                                   | Técnico    | Económico | Legal |                                                                                                                                   |               |
| 1.- Compostaje                                                                    | 2          | 3         | 3     | Existe la tecnología pero se deben tener los cuidados para evitar problemas de olores                                             | 8             |
| 2.- Utilización de la Mosca soldado negra para obtener proteínas o biodisel.      | 1          | 1         | 1     | Es una tecnología que existe pero que se deben hacer altas inversiones con personal calificado                                    | 3             |
| 3.- Lombricultura para la obtención de humus.                                     | 3          | 3         | 1     | Tecnología disponible y de bajo costo y de mano de obra no especializada                                                          | 5             |
| 4.- Fermentación y destilación para generar bioetanol.                            | 1          | 1         | 2     | Es una alta inversión y requiere de personal calificado. NO estoy muy clara de la legislación ya que dependerá de su uso          | 4             |
| 5.- Digestión anaerobia para la generación de biogás.                             | 1          | 2         | 3     | Es una alta inversión lo que es función del volumen a procesar, y requiere de personal calificado para operarlo                   | 6             |
| 6.- Incineración para la generación de Energía.                                   | 1          | 1         |       | Es una alta inversión y requiere de personal calificado. No estoy al tanto de la legislación aplicable, por lo que no lo contesto |               |
| 7.- Gasificación para la obtención de energía y gas de síntesis.                  | 1          | 1         |       | Es una alta inversión y requiere de personal calificado. No estoy al tanto de la legislación aplicable, por lo que no lo contesto |               |
| 8.- Pirólisis para la obtención de Carbonización, gas de pirolisis o alquitranes. | 1          | 1         |       | Es una alta inversión y requiere de personal calificado. No estoy al tanto de la legislación aplicable, por lo que no lo contesto |               |

## Anexo 4: Consideraciones generales del trabajo

Tabla 9.3: Consideraciones generales del trabajo.

| Datos 2018-2022     |                                  |                                     |                                            |                                               |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                     | Peso total de residuos (Ton/mes) | Peso total de residuos (Ton/semana) | Peso total de residuos orgánicos (Ton/mes) | Peso total de residuos orgánicos (Ton/semana) |
| Promedio            | 1181,83                          | 295,46                              | 709,097                                    | 177,3                                         |
| Max                 | 1726,93                          | 431,73                              | 1036,158                                   | 259,0                                         |
| Mín                 | 827,86                           | 206,97                              | 496,716                                    | 124,2                                         |
| Previsión 2023-2027 |                                  |                                     |                                            |                                               |
|                     | Peso(Ton/mes)                    | Peso(Ton/semana)                    | Peso total de residuos orgánicos (Ton/mes) | Peso total de residuos orgánicos (Ton/semana) |
| Promedio            | 1407,36                          | 351,84                              | 844,4180                                   | 211,10                                        |
| Max                 | 1897,89                          | 474,47                              | 1138,7365                                  | 284,68                                        |
| Mín                 | 1143,03                          | 285,76                              | 685,8180                                   | 171,45                                        |

| N° | Concideraciones                                                                                                                                     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | El máximo de residuos orgánicos generados para los años 2023 al 2027 es de 284 Ton/semana                                                           |
| 2  | Para el diseño del proyecto, la escala a utilizar será del 5% de los residuos orgánicos proyectados en la comuna, correspondiente a 14,2 ton/semana |
| 3  | La densidad de los residuos orgánicos es de 0,45 ton/m3                                                                                             |
| 4  | Semanalmente se recolectarán 31,56 m3 de residuos orgánicos como máximo.                                                                            |
| 5  | Se recolectaran los residuos orgánicos 2 veces a la semana                                                                                          |
| 6  | Por cada recolección se estima una capacidad máxima de 15,78 m3 correspondiente a 7,1 ton por recolección.                                          |
| 7  | El Centro de acopio cuenta con las instalación y servicios básicos para los trabajadores                                                            |
| 8  | El compost (producto) será utilizado por el municipio, para areas verdes y plazas, no será comercializado                                           |
| 9  | Se concidera pasar por 100 a 200 casa aprox, Sector La Chimba, Placilla y Quinquimo                                                                 |

Anexo 5: Ruta de recolección



Figura 9.8: Ruta propuesta para la recolección de los residuos orgánicos.

**Anexo 6: Planillas para seguimiento y control**

|                                                                                          |                   |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--|
| Registro de ingreso de materia prima<br>al área de recepción en planta de<br>compostaje. | Revisión          |  |
|                                                                                          | Fecha de vigencia |  |
|                                                                                          | Código            |  |

| Fecha | Responsable | Cantidad (kg o m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------|---------------------------------|
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |
|       |             |                                 |

|                                              |                   |  |
|----------------------------------------------|-------------------|--|
| Registro de control de peso y<br>temperatura | Revisión          |  |
|                                              | Fecha de vigencia |  |
|                                              | Código            |  |

| Fecha | Responsable | Cantidad (kg o m <sup>3</sup> ) | Temperatura (°C) |
|-------|-------------|---------------------------------|------------------|
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |
|       |             |                                 |                  |

|                                                             |                  |                   |           |
|-------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-----------|
| Registro de control de parámetros<br>fisicoquímicos en pila |                  | Revisión          |           |
|                                                             |                  | Fecha de vigencia |           |
|                                                             |                  | Código            |           |
| Identificación de la pila:                                  |                  | Mes:              | Año:      |
| Día                                                         | Temperatura (°C) | pH                | Aireación |
| 1                                                           |                  |                   |           |
| 2                                                           |                  |                   |           |
| 3                                                           |                  |                   |           |
| 4                                                           |                  |                   |           |
| 5                                                           |                  |                   |           |
| 6                                                           |                  |                   |           |
| 7                                                           |                  |                   |           |
| 8                                                           |                  |                   |           |
| 9                                                           |                  |                   |           |
| 10                                                          |                  |                   |           |
| 11                                                          |                  |                   |           |
| 12                                                          |                  |                   |           |
| 13                                                          |                  |                   |           |
| 14                                                          |                  |                   |           |
| ...                                                         |                  |                   |           |

|                                                                           |                  |                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-----------|
| Registro de control de parámetros<br>fisicoquímicos en estación de salida |                  | Revisión          |           |
|                                                                           |                  | Fecha de vigencia |           |
|                                                                           |                  | Código            |           |
| Identificación de la pila:                                                |                  | Mes:              | Año:      |
| Día                                                                       | Temperatura (°C) | pH                | Aireación |
| 1                                                                         |                  |                   |           |
| 2                                                                         |                  |                   |           |
| 3                                                                         |                  |                   |           |
| 4                                                                         |                  |                   |           |
| 5                                                                         |                  |                   |           |
| 6                                                                         |                  |                   |           |
| 7                                                                         |                  |                   |           |
| 8                                                                         |                  |                   |           |
| 9                                                                         |                  |                   |           |
| 10                                                                        |                  |                   |           |
| 11                                                                        |                  |                   |           |
| 12                                                                        |                  |                   |           |
| 13                                                                        |                  |                   |           |
| 14                                                                        |                  |                   |           |
| ...                                                                       |                  |                   |           |

|                                         |                                      |                                          |                                            |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Registro de identificación de las Pilas |                                      | Revisión                                 |                                            |
|                                         |                                      | Fecha de vigencia                        |                                            |
|                                         |                                      | Código                                   |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
| Identificación de la Pila               | Fecha de inicio de formación de pila | Fecha de termino de formación de la pila | Fecha de termino del proceso de compostaje |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |
|                                         |                                      |                                          |                                            |

## Anexo 7: Cotización camión

Suzuki - Vitis del Mar



*Fotografía referencial*

Señor (es)  
**MARCOS VASQUEZ**  
 NO INFORMADA  
 Presente

Atención: Sr(a). **MARCOS VASQUEZ**

Nos complace enviar a usted la siguiente cotización donde encontrará una breve descripción y principales datos técnicos del producto de su interés.

DercoMaj cuenta con un sólido respaldo de post venta atendido por personal altamente calificado y un amplio stock de repuestos para satisfacer sus necesidades e inquietudes.

Capacitación, soporte en terreno y asistencia técnica, son algunos de los servicios disponibles a través de la extensa red de Sucursales, Concesionarios y Servicios Técnicos autorizados a lo largo del país.

En espera que nuestra propuesta sea de su conveniencia, quedamos a su disposición para cualquier consulta posterior.

Cordialmente,

|                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| Vendedor:      | Luis Armando Cañas              |
| Concesionario: | Suzuki - Vitis del Mar          |
| RUT:           | 78.419.560-0                    |
| Fono:          | (+32) 25743-00                  |
| Celular:       | +56983758041                    |
| E-mail:        | lcanas@suzuval.cl               |
| Dirección:     | 5 Oriente 205 - Esquina 3 Norte |

**Figura 9.9: Primera hoja de la cotización del camión.**

Datos de la unidad:

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| Marca                | JAC                |
| Código               | HFC1040KN_E5_CH_AC |
| Descripción          | Camión             |
| Año                  | 2023               |
| Cantidad             | 1                  |
| Precio Neto Unitario | \$ 18.190.000      |
| Descuento            | \$ 3.000.000       |
| Total Neto Unitario  | \$ 15.190.000      |

Condiciones generales de la oferta:

|                |                          |                     |               |
|----------------|--------------------------|---------------------|---------------|
| Lugar Entrega  | SUZUVAL                  | Valor Total Neto    | \$ 15.190.000 |
| Forma Pago     | CONTADO                  | I.V.A.              | \$ 2.886.100  |
| Moneda         | Peso Chileno             | Valor Total con IVA | \$ 18.076.100 |
| Validez Oferta | 30-10-2023 al 31-10-2023 |                     |               |

Equipo nuevo sin uso. Entrega sujeta a disponibilidad de stock, en sucursal Dercomaq. Tipo de cambio a la fecha de factura, salvo acuerdo previo por escrito con el cliente. Valor no incluye flete.

Acuerdos con Cliente:

Se garantiza la disponibilidad de repuestos de los productos que comercializa Dercomaq SpA y su red de Concesionarios Autorizados, hasta por el plazo de 5 años posteriores al cese de la comercialización del modelo en cuestión.

Será condición sine qua non para conservar la garantía de la maquinaria o equipo, que el plan de mantenimiento periódico recomendado por el fabricante sea efectuado en Servicio Técnico Autorizado, o por técnicos especialistas capacitados/entrenados o reconocidos por el fabricante o Dercomaq SpA acorde a las tecnologías disponibles en las maquinarias o equipos de cada marca, pautas de mantenimiento y uso de repuestos originales.

Una lista de las mantenciones obligatorias y su valor, así como la red de servicios técnicos oficiales y las condiciones específicas para la ejecución de las garantías se encuentra a su disposición en el sitio web [www.dercomaq.cl](http://www.dercomaq.cl) o en la web de su concesionario.

**Figura 9.10: Segunda hoja de la cotización del camión.**