



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

3iA 10 AÑOS

Instituto de Investigación
e Ingeniería Ambiental

Escuela de Ciencia y Tecnología

Diseño de Complejo Ambiental para tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Villa María, Córdoba.

*Proyecto Final Integrador para optar por el título de Ingeniera
Ambiental*

Alumna: Ornella Mahiques

Nº de Legajo: 6021

Docentes PFI: Ing. Ruth A. Rodríguez

Ing. Federico Bailat

INDICE

RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Introducción a la problemática ambiental en estudio: Sistema actual de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Córdoba.....	7
1.2 Situación actual de residuos sólidos urbanos en el Municipio de Villa María.....	8
1.3 Objetivo del proyecto.....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO ACTUAL DE GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	11
2.1 ¿Qué son los residuos sólidos?.....	11
2.1.1 Tipos de residuos sólidos.....	11
2.2 Residuos sólidos urbanos.....	12
2.2.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas de los Residuos Sólidos Urbanos.....	14
2.2.1.1 Propiedades físicas.....	14
2.2.1.2 Propiedades químicas.....	17
2.2.1.3 Propiedades biológicas.....	17
2.2.2 Caracterización de Residuos Sólidos.....	17
2.2.2.1 Composición física de Residuos Sólidos en la Ciudad de Villa María.....	18
2.3 Diagnóstico actual de la Disposición de RSU en Villa María.....	19
2.3.1 Corrientes de residuos generados.....	20
2.3.1.1 Recolección Diferenciada en Villa María.....	20
2.3.2 Funcionamiento e instalaciones actuales del Predio donde se construirá el Relleno Sanitario.....	22
2.3.3 Cooperativa 7 de Febrero.....	23
2.3.3.1 Instalaciones actuales de la Cooperativa.....	24
2.3.3.2 Equipamiento actual de la Cooperativa.....	24
2.4 Marco regulatorio.....	27
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	30
3.1 Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.....	30
3.1.1 Elementos funcionales de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.....	31
3.1.2 Jerarquía de un sistema de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.....	34
3.2 Relleno sanitario.....	35
3.2.1 Métodos o tipos de relleno sanitario.....	37
3.2.2 Selección del sitio de disposición final.....	38
3.2.3 Gas de relleno sanitario o biogás.....	42
3.2.3.1 Etapas de formación de biogás o gas de vertedero.....	43
3.2.3.2 Sistema de drenaje activo y pasivo de gas de vertedero.....	44
4.2.4 Lixiviados.....	45
3.3 Tratamiento biológico: Compostaje.....	48
3.3.1 Ventajas y desventajas ambientales y económicas del compostaje.....	48
3.3.2 Parámetros de control durante el compostaje.....	49

3.3.2.1 Humedad.....	49
3.3.2.2 Aireación.....	49
3.3.2.3 Temperatura.....	50
3.3.2.4 pH.....	50
3.3.2.5 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).....	50
3.3.2.6 Tamaño de partículas.....	50
3.3.3 Etapas del proceso de compostaje.....	51
3.3.3.1 Etapa mesófila.....	51
3.3.3.2 Etapa termófila o de higienización.....	52
3.3.3.3 Fase de maduración o segunda etapa mesófila.....	52
3.3.4 Límites y Parámetros de Calidad del Compost según Res.1/19.....	52
3.3.5 Técnicas de compostaje.....	53
CAPÍTULO IV: MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	55
4.1 Alternativas propuestas.....	55
4.1.1 Alternativa 1: Con compostaje.....	56
4.1.2 Alternativa 2: Sin compostaje.....	58
4.1.3 Comparación entre ambas alternativas.....	59
4.2 Memoria descriptiva.....	61
4.2.1 Generación de residuos en la Ciudad de Villa María.....	61
4.2.2 Recolección de Residuos Húmedos.....	62
4.2.2.1 Sectorización.....	62
4.2.2.2 Diseño de las rutas de recolección de Residuos Húmedos en Villa María.....	69
4.2.3 Separación en origen y Recolección de Residuos Diferenciados.....	77
4.2.3.1 Período actual.....	77
4.2.3.2 A implementar.....	77
4.2.3.3 Diseño de las rutas de recolección de Residuos Diferenciados en Villa María.....	78
4.2.4 Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada.....	84
4.2.4.1 Corrientes de residuos ingresados a la Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada.....	84
4.2.4.2 Descripción del proceso.....	85
4.2.4.3 Características de los equipos.....	87
4.2.5.4 Subproductos obtenidos en la Planta de Separación y Clasificación y en otras corrientes de residuos.....	90
4.2.5 Barrido y limpieza de calles.....	93
4.2.6 Maquinaria y equipos para el proceso de compostaje.....	95
4.2.6.1 Características de los equipos de compostaje.....	96
4.2.7 Maquinaria para la construcción de los módulos de disposición final.....	97
4.2.8 Recursos Humanos.....	98
4.3 Conclusiones	99
CAPÍTULO V: MEMORIA DE CÁLCULO.....	100
5.1 Diseño de la Planta de Compostaje (PdC).....	100
5.1.1 Características de los residuos a compostar.....	100
5.1.1.1 Mezcla de C/N óptima.....	100
5.1.2 Dimensionamiento de pilas de compostaje.....	101
5.1.2.1 Área para la Recepción y Selección Previa de los Residuos a compostar.....	102
5.1.2.2 Área de tratamiento.....	102
5.1.2.3 Área de cribado y empacado.....	104

5.1.3 Tratamiento de emisiones y lixiviados en plantas de compostaje...	105
5.2 Diseño y construcción de los módulos de disposición final.....	105
5.2.1 Pasos a seguir para el dimensionamiento.....	106
5.2.1.1 Cálculo del Volumen de Relleno Sanitario.....	106
5.2.1.2 Cálculo del Área requerida para el Relleno Sanitario.....	107
5.2.1.3 Dimensionamiento de la zanja.....	107
5.2.1.4 Dimensionamiento de las celdas.....	108
5.2.1.5 Rectificación del dimensionamiento de las celdas.....	109
5.2.2 Impermeabilización.....	111
5.2.3 Sistema de drenaje para lixiviados.....	112
5.2.3.1 Sistema interno de drenaje en las celdas del Relleno Sanitario.....	112
5.3 Metodología operativa.....	115
5.3.1 Distribución y compactación.....	115
5.3.2 Cobertura.....	115
5.3.2.1 Cobertura diaria.....	115
5.3.2.2 Cobertura final.....	115
5.3.3 Drenaje pluvial externo.....	116
5.4 Control ambiental Post-cierre.....	119
5.5 Tratamiento pasivo de gases de vertedero.....	119
5.5.1 Estimación de la cantidad de biogás a generar.....	119
5.5.2 Construcción de chimeneas en un relleno sanitario mecanizado....	121
5.5.3 Emisiones del sistema de chimeneas para quema de biogás.....	122
5.6 Emisiones producidas por los camiones recolectores de residuos.....	123
5.7 Lixiviados.....	124
5.7.1 Estimación del lixiviado a generar.....	124
CAPÍTULO VI: PLANOS DEL PROYECTO.....	126
CAPÍTULO VII: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO.....	127
7.1 Cálculo del costo del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición Final de RSU.....	127
7.2. Inversión inicial.....	127
7.3. Costo de operación y mantenimiento.....	130
7.3.1 Servicios: Energía Eléctrica.....	130
7.3.2 Costo de consumo de combustible de los camiones recolectores.....	132
7.3.3 Costos no considerados en la Etapa Construcción y/o de funcionamiento.....	134
7.4 Ingreso proveniente de la venta de material separado y clasificado.....	134
7.5 Viabilidad económica y financiamiento.....	135
7.6 Conclusiones.....	136
CAPÍTULO VIII: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	137
8.1 Objetivos y alcance.....	137
8.2 Metodología.....	137
8.3 Descripción general del proyecto.....	138
8.3.1 Perfil del Relleno Sanitario a construir.....	138
8.3.1.1 Infraestructura e instalaciones del Relleno Sanitario.....	138
8.4 Normativa aplicable al EsIA.....	139
8.5 Área de influencia.....	139
8.6 Línea de base - Antecedentes y diagnóstico ambiental del área de estudio... 140	140
8.6.1 Estructura demográfica y distribución territorial.....	140
8.6.1.1 Generalidades.....	140

8.6.1.2 Actividad económica en la Ciudad de Villa María.....	143
8.6.1.3 Infraestructura en la Ciudad de Villa María.....	143
8.6.2 Clima.....	144
8.6.3 Geología y geomorfología.....	145
8.6.3.1 Sismicidad o riesgo sísmico.....	145
8.6.4 Hidrogeología e hidrología.....	145
8.6.4.1 Cuenca del Río Carcarañá.....	146
8.6.4.2 Aguas subterráneas.....	147
8.6.5 Flora y Fauna.....	148
8.7 Identificación de Impactos ambientales.....	149
8.7.1 Acciones o actividades.....	149
8.7.2 Factores Ambientales.....	151
8.7.3 Matriz de Impactos Ambientales.....	151
8.7.3.1 Identificación de Impactos Ambientales.....	152
8.7.3.2 Caracterización de los Impactos Ambientales.....	155
8.7.3.3 Valorización de los Impactos Ambientales.....	156
8.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	159
8.8.1 Programa de cierre y post-cierre.....	159
8.8.2 Programa de prevención.....	161
8.8.3 Programa de monitoreo.....	163
8.8.4 Programa de mitigación.....	165
8.8.5 Programa de contingencias.....	166
8.8.6 Programa de capacitación.....	167
8.9 Conclusiones EsIA.....	168
CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES.....	169
9.1 Conclusiones del proyecto.....	169
9.2 Conclusiones personales.....	169

RESUMEN

El relleno sanitario constituye un sistema definitivo de tratamiento para el correcto manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

En el presente proyecto se analizan los RSU generados en Villa María, Córdoba. Esta provincia cuenta con gran cantidad de basurales a cielo abierto y más precisamente esta ciudad apenas cumple con los criterios básicos enterramiento de residuos.

El objetivo general de este trabajo es proponer el diseño de un relleno sanitario controlado para la correcta disposición de los desechos de la ciudad mencionada.

Se estudiaron dos alternativas para el tratamiento biológico de restos verdes y de poda y se planteó una modificación de la Planta de Separación y Clasificación de Residuos Diferenciados que funciona actualmente en Villa María. Para esto último se debió realizar una optimización de los barrios que reciben la recolección diferenciada.

Se presentan además los planos de obra, el cómputo y presupuesto integral, el estudio de impacto ambiental y el plan de gestión ambiental del proyecto.

Este proyecto es viable desde el punto de vista técnico, socioambiental y económico. Para los habitantes de esta localidad y para el medio ambiente en general, la construcción de un nuevo Complejo Ambiental para el tratamiento y disposición de RSU resuelve, en gran medida, el problema de la gestión de los RSU en la región. Esto es debido a que contribuye a la disminución de posibles impactos negativos y al aumento de impactos positivos intangibles que representa una gestión adecuada de los residuos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción a la problemática ambiental en estudio: Sistema actual de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Córdoba

La incorrecta gestión de sus residuos sólidos urbanos (RSU) asociada al alto impacto ambiental que esto implica, ha figurado durante las dos últimas décadas entre los mayores problemas ambientales urbanos que presenta la provincia de Córdoba.

La cuestión de los residuos puede y debe ser analizada desde una perspectiva sistémica, holística e interdisciplinaria, lo cual permite caracterizar al proceso total en varias etapas: Generación, Pretratamiento, Recolección, Transferencia y Transporte, Tratamiento y Disposición Final. Sólo abordando la problemática de la gestión de los residuos desde la totalidad de las etapas mencionadas como un único sistema, podremos encontrar las soluciones puntuales que deriven en un sistema de gestión de residuos ambientalmente adecuado (Programa Córdoba limpia, 2003).

Según el Informe de Diagnóstico ambiental de la Provincia de Córdoba del año 2017, se estima que, por día, unas 1.300 toneladas de residuos domiciliarios son llevadas a basurales a cielo abierto (BCA) de la provincia, sin ningún tratamiento. Este valor corresponde al 40% del total que se genera en Córdoba, y son producidos por el 73% de las localidades que admiten no tener otro modo de disposición final.

En el año 2010, la provincia contaba con seis vertederos controlados -en Río Cuarto, San Francisco, Córdoba, Colonia Caroya, Bell Ville y Arroyito-, el resto de los residuos eran dispuestos en los aproximadamente 300 basurales a cielo abierto distribuidos en los 26 departamentos de la provincia.

Los cordobeses generan un poco más de un kilo de residuos domiciliarios por día, por persona y el volumen se ve incrementado en las ciudades más grandes (Diario La Voz, 2017).

Según los datos brindados por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, en 2016 en la provincia de Córdoba se generaron 3.300 ton/día, con un promedio por habitante de 1,011 kg/hab/día y una tasa de crecimiento anual superior al 0,3%.

En términos generales, los municipios poseen un adecuado sistema de recolección de residuos con frecuencias que oscilan entre tres a seis veces por semana dependiendo de la generación y el número de habitantes.

Sin embargo, las mayores falencias del proceso ocurren en las dos últimas etapas, las de tratamiento y disposición final. En este último punto, la disposición final de los residuos está dominada por el Vertedero Incontrolado o basural a cielo abierto.

Si bien la provincia cuenta con un programa para el cierre, remediación y rehabilitación de basurales a cielo abierto, su existencia es numerosa, estimándose que más del 40% del total de los residuos generados son inadecuadamente dispuestos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2016).

En cuanto a la recolección diferenciada y la separación de residuos un reciente informe del Diario La Voz de fines de 2017, concluyó que, de los 2,2 millones de habitantes de las 20 mayores ciudades de la provincia, no más de 100 mil tienen recolección diferenciada y organizada para optimizar la clasificación y el reciclaje. Si se suma el resto del mapa, el porcentaje es aún menor: menos del 5% de la población cordobesa separa sus desechos en domicilio.

En un hipotético escenario optimista se estarían recuperando alrededor del 10 % del total de los residuos generados, principalmente por el llamado “cirujeo”.

La Provincia de Córdoba está llevando adelante proyectos, capacitaciones y programas en toda la provincia, dentro del que se destaca el Programa “Córdoba Limpia”, que tiene como objetivo, entre otras cosas, la clausura de basurales a cielo abierto con la recuperación de los predios, la elaboración de una Normativa Provincial para la gestión adecuada de RSU, el asesoramiento y capacitación a las localidades de la Provincia para la Gestión Integral de RSU que contemple programas de recuperación y reciclado de residuos, y la construcción de un sistema de vertederos controlados regionales y estaciones de transferencia de residuos, para la disposición final adecuada de los RSU no recuperados.

1.2 Situación actual de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de Villa María

El Municipio de Villa María se encuentra localizado en plena pampa húmeda a orillas del río Tercero y a 146km al sudeste de la provincia de Córdoba, dentro del departamento de General San Martín (Figuras 1.1 y 1.2).



Figura 1.1: Ubicación del Gran Villa María en la provincia de Córdoba (en rosa) y la Ciudad de Córdoba (en verde).

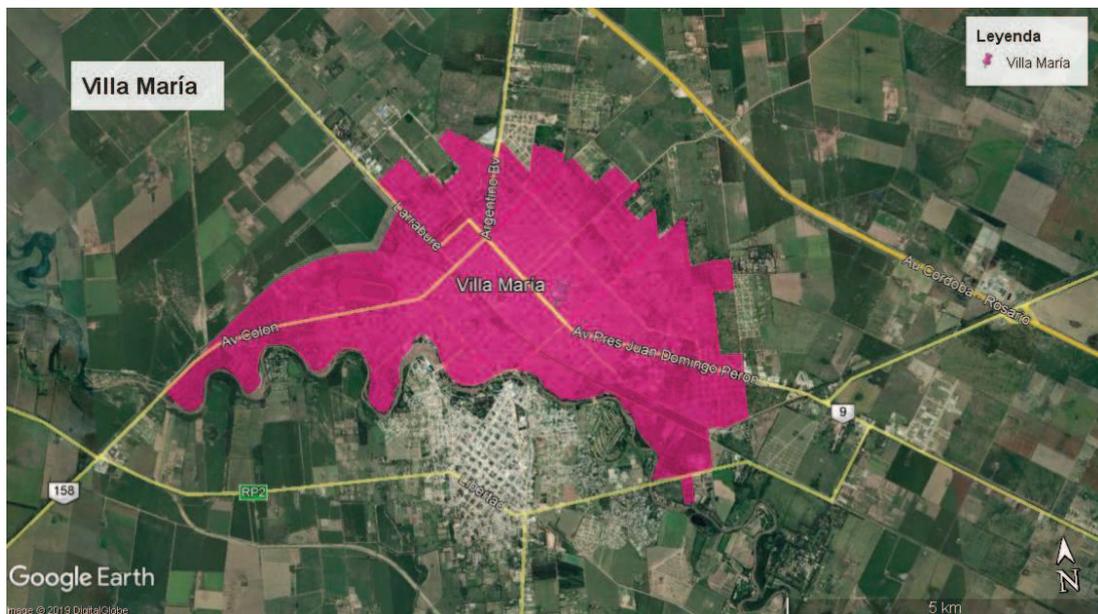


Figura 1.2: Área urbana de la Ciudad de Villa María (en rosa)
FUENTE: Google Earth

Esta zona es un importante centro económico subregional en el cual se han desarrollado diversas industrias y servicios relacionados, muchos de ellos, con actividades agropecuarias.

El aumento de la actividad productiva en esta región ha generado un incremento de la población de Villa María a lo largo de los años. En la Figura 1.3 se puede observar ésta evolución demográfica del aglomerado urbano en los últimos censos nacionales (INDEC 1960-2010).

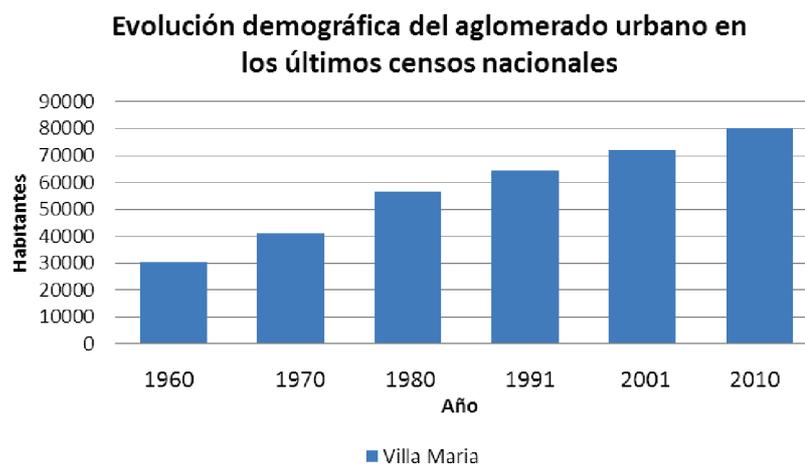


Figura 1.3: Evolución demográfica de Villa María en los últimos censos nacionales.

FUENTE: INDEC, 1960-2010.

El censo nacional de 2010 registró 79.946 habitantes del municipio Villa María, siendo en conjunto con la localidad de Villa Nueva ubicada al sur, la tercera aglomeración más poblada de la provincia luego del Gran Córdoba y el Gran Río Cuarto.

Villa María apenas cumple con criterios básicos de enterramiento de residuos sólidos urbanos. La situación actual de los RSU en esta región se desarrollará detalladamente en los capítulos posteriores.

1.2 Objetivo del proyecto

1.3.1 Objetivo general

El objetivo del Proyecto Final Integrador es proponer el diseño de un relleno sanitario controlado para la correcta disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Villa María, Córdoba.

1.3.2 Objetivos específicos

- Compilar información acerca del origen, tipo y composición física de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en la región en estudio.
- Realizar el diseño de una ruta de recolección de residuos húmedos en Villa María.
- Optimizar el sistema de recolección de residuos sólidos diferenciados en la ciudad y realizar el diseño de la ruta de recolección de este tipo de residuos.
- Optimizar la Planta de Separación y Clasificación de Residuos Diferenciados manual a una Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada.
- Proponer un sistema de compostaje para restos verdes y de poda.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO ACTUAL DE GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1 ¿Qué son los residuos sólidos?

Según el Organismo Provincial de Desarrollo Sustentable de la Provincia de Buenos Aires (OPDS) los *residuos o desechos* son aquellas sustancias u objetos abandonados o descartados en forma permanente por quien los genera, por considerarlos ya sin utilidad para su provecho.

2.1.1 Tipos de residuos sólidos

Los residuos pueden clasificarse en función de distintos criterios como lo indica la Figura 2.1:



Figura 2.1: Clasificación de los residuos en diferentes categorías

FUENTE: *Elaboración personal en base a Tchobanoglous et al., 1994; Diagnóstico Ambiental Córdoba, 2016; Giordana, 2012*

Según su riesgo o peligrosidad, las tendencias actuales diferencian entre residuos inertes, residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos (Tchobanoglous et al., 1994; Perry, 1996; Kielli, 1999).

- *Residuos sólidos urbanos* (Ver apartado 2.2).
- *Residuo peligroso* es todo 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 futuro. Incluye materiales: explosivos, inflamables, oxidantes, tóxicos, infecciosos, corrosivos, etc.

- *Residuo inerte*: es un residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble, ni combustible, ni reacciona física o químicamente. No es biodegradable y tampoco afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto.

2.2 Residuos sólidos urbanos

El Diagnóstico Ambiental de la Provincia de Córdoba del año 2015, define a los residuos sólidos urbanos (RSU) como aquellas sustancias, productos o sub-productos en estado sólido o semi-sólido provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, de acuerdo a la ley vigente o por los riesgos de salud y ambiente que originan.

Según ACUMAR (2009), los RSU son aquellos residuos generados en las ciudades como consecuencia de las actividades que en ella se desarrollan. Esto incluye los criterios de clasificación mencionados en el apartado anterior, como el origen, la peligrosidad, la naturaleza física, la gestión diferenciada, entre otros. Sin embargo, en general, cuando se habla de RSU se suele referir a los residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios, es decir, aquellos que son retirados por el servicio de recolección de residuos de cada ciudad.

Además de los producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público, los RSU incluyen los residuos originados en las industrias y establecimientos de salud, siempre que no tengan características tóxicas ni peligrosas, en cuyo caso constituyen corrientes de residuos de otro tipo que deben ser manejadas según lo establecen las normativas específicas.

Los *residuos sólidos domésticos* consisten en residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de zonas residenciales y establecimientos comerciales.

Las *fuentes institucionales* de residuos sólidos incluyen centros gubernamentales, escuelas y hospitales, excluyendo los residuos patógenos de los hospitales.

Los *residuos de construcción y demolición* (C&D) son el resultado de la construcción, renovación y demolición de estructuras. Los componentes de los residuos de C&D son muy variables en composición y cantidad, entre ellos se pueden mencionar hormigón, asfalto, ladrillos, maderas, etc. (Tchobanoglous, 2002).

Los *residuos generados por los servicios municipales* incluyen barrido de calles y residuos de podas de espacios públicos.

Si bien los RSU están constituidos por un conjunto heterogéneo de materiales, dividen su composición en dos categorías básicas: residuos orgánicos e inorgánicos (Diagnóstico Ambiental Córdoba, 2016):

Orgánicos: desechos de origen biológico, de organismos que alguna vez estuvieron vivos o que formaron parte de un organismo vivo (huesos, verduras, frutas, cáscaras). Incluye restos de materiales resultantes de la elaboración de comidas. Se descomponen rápidamente, con fuertes olores, y son fuente de proliferación bacteriana. Atraen a roedores, insectos y también a los animales domésticos que son vectores de enfermedades.

Inorgánicos: residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, papeles, latas, textiles, etc.

Asimismo, según su utilidad o punto de vista económico se agrupan en residuos reciclables o no reciclables:

Reciclables: son aquellos que pueden ser reutilizados en los procesos productivos al reincorporarlos como materia prima.

No reciclables: por su característica o por la no-disponibilidad de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar como materia prima, por este motivo van a disposición final.

Según el potencial de aprovechamiento se dividen en:

Recuperables: son residuos que pueden aprovecharse y transformarse para utilizarse como materia prima para la fabricación de nuevos productos

Humificables: son desechos de origen biológico que, mediante un proceso de fermentación aeróbico, mediada por hongos y bacterias, atraviesan procesos de descomposición, resultando en un producto denominado humus.

No recuperables, no reciclables, no humificables: son residuos que no pueden ser ni reciclados ni humificados y, por lo tanto, pueden ser utilizados como fuente de energía o dispuestos en un relleno sanitario.

Por último, si tenemos en cuenta su gestión diferenciada, se pueden agrupar en:

Residuos húmedos: son los residuos orgánicos más todos aquellos residuos que no se pueden reciclar ni limpiar, estos se pueden juntar con los desechos de alimentos, desechos de sanitarios, pañuelos desechables, pañales, apósitos, bolsas plásticas, envoltorios de papel, grasas y aceites, combustibles y envases sucios.

También se incluyen en esta categoría elementos no recuperables, como pilas, biromes, cartuchos de tinta o lamparitas.

Residuos secos: son residuos inorgánicos o inertes en desuso que pueden ser recuperados o reciclados siempre que estén limpios y secos. Son elementos industrializados, desperdicios de envases, embalajes, envases. Ejemplo: papel, cartón, metales, vidrio, plásticos, tetra bricks, telas, etc.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que dentro de la clasificación de residuos domiciliarios existe también una cierta cantidad de residuos con características especiales que requieren de una gestión diferenciada: como por ejemplo pilas y baterías, medicamentos caducos, lámparas, aparatos eléctricos y electrónicos en desuso, etc. (Tchobanoglous, 2002). Estos residuos especiales no serán analizados en el Proyecto Final.

2.2.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas de los Residuos Sólidos Urbanos

Según las propiedades físicas, químicas y/o biológicas que posean los residuos sólidos, se optará por uno u otro proceso de transformación. Las propiedades son elementos fundamentales para las actividades de manejo integral (Sáez & Galbán, 2007).

2.2.1.1 Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas de los residuos se encuentran:

- **Cantidad**

La cantidad de residuos generados en una región depende de su nivel de vida, del clima de la región, los sistemas de recolección selectiva, entre otros factores.

La producción diaria de residuos en un lugar determinado se calcula mediante la Ecuación 2.1:

$$Dsp = Pob * gpc \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde;

- **Dsp**= cantidad de residuos sólidos producidos (kg/día)
- **Pob**= Población de la región en estudio
- **gpc**= generación per cápita (kg/hab/día)

La producción anual de residuos sólidos se debe estimar con base en las proyecciones de crecimiento de la población y la generación *per cápita*.

- **Peso específico o volumétrico (P/V)**

Definido como el peso de un material por unidad de volumen (*por ejemplo, kg/ m³*). La Tabla II.I muestra valores típicos y rangos que posee el peso específico en diferentes tipos de residuos.

Tabla II.I Datos típicos de peso específico para residuos domésticos y de jardín
FUENTE: Tchobanoglous, Vigil, & Theisen, 1994.

PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)		
Datos típicos para residuos domésticos y de jardín		
Tipo de residuos	Rango	Típico
Doméstico (no compactados)		
Residuos de alimentos (mezclados)	131-481	291
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Residuos de Jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Vidrios	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Aluminio	65-240	160
Otros metales	131-1151	320
Residuos de jardín domésticos		
Hojas (sueltas y secas)	30-148	59
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237
Hierba verde (húmeda y compactada)	593-831	593
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297
Residuos de jardín (compostados)	267-386	326
Podas de árboles	101-181	148
Urbanos		
En camión compactador (húmedos)	178-451	297
En vertedero		
Medianamente compactados	362-498	451
Bien compactados	590-742	600

La densidad de los residuos tiene un valor típico de 300 kg/m³ y en algunos casos este valor puede estar comprendido entre los 178 kg/m³ hasta 415 kg/m³ (Tchobanoglous, Vigil, & Theisen, 1994). En el caso de Latinoamérica, el peso específico o densidad alcanza valores de 125 a 250 kg/m³ (Jaramillo, 2002).

En la Tabla II.II se muestra cómo se modifica la densidad de los desechos en diferentes etapas.

Tabla II.II: Variación de las densidades de los residuos en diferentes etapas o procesos
FUENTE: Universidad Nacional de San Martín, 2018

DENSIDADES DE LOS RESIDUOS		
ETAPA		DENSIDAD kg/m ³
A	Residuo suelto en recipientes	200
B	Residuo compactado en camiones compactadores	500
C	Residuo suelto descargada en los rellenos	400
D	Residuo recién relleno	600
E	Residuo estabilizado en rellenos (dos años después de clausura)	900

○ **Contenido de humedad:**

Según Jaramillo, en América Latina los residuos tienen un mayor contenido de materia orgánica y una humedad que varía de 35 a 55%.

En la Tabla II.III se muestran algunos componentes de residuos con humedad típica.

Tabla II.III: Componentes según contenido de humedad

FUENTE: Tchobanoglous, Vigil, & Theisen, 1994.

Componentes	Contenido de humedad (%)
Residuos de alimentos	70
Papel	6
Cartón	5
Plásticos	2
Textiles	10
Vidrio	2
Latas	3
Aluminio	2
Otros metales	3

○ **Tamaño de partícula y distribución del tamaño:**

Propiedad importante para la recuperación de materiales con medios mecánicos como cribas, trómel y separadores magnéticos.

○ **Capacidad de campo:**

Cantidad de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Es una propiedad importante para determinar la formación del lixiviado en sitios de disposición final. Asimismo, puede variar con el grado de presión aplicado y el estado de descomposición de la muestra (Vaillancourt & Waaub, 2002).

○ **Permeabilidad de los residuos compactados:**

Conductividad hidrológica con que se produce el movimiento de líquidos y gases contenidos en los residuos en el sitio de disposición final.

2.2.1.2 Propiedades químicas

Conocer las propiedades químicas de los residuos sólidos permite aceptar o rechazar algún tipo de tratamiento con el que puedan ser procesados (Collazos Peñaloza & Duque Muñoz, 1998).

Las propiedades químicas de los residuos permiten caracterizarlos no solo como combustibles, sino también como peligrosos corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y patógenos; y constituyen un grupo de desechos de especial importancia debido al peligro que representan en el ambiente y en la salud pública.

Una de las propiedades químicas más importantes es el contenido energético o poder calorífico, que es la capacidad de los residuos para producir energía en forma de calor.

2.2.1.3 Propiedades biológicas

Para los tratamientos biológicos de la fracción orgánica de los residuos sólidos es importante conocer la fracción de nutrientes esenciales y otros elementos tales como fósforo, potasio, zinc, calcio, magnesio, etc (Vaquero Díaz, 2004).

La característica biológica más importante de los residuos orgánicos, es que la mayoría de sus componentes son susceptibles de tratamiento biológico. Asimismo, la putrefacción de este tipo de residuos puede generar olores y moscas.

2.2.2 Caracterización de Residuos Sólidos

Actualmente, además de conocer la cantidad de los residuos generados en una región, es importante saber la calidad de los mismos para así poder gestionar correctamente programas de reutilización y reciclado. A su vez, esto también es necesario para conocer el volumen de residuos que serán llevados al relleno sanitario, pudiendo de esta forma diagramar su tamaño, y predecir la vida útil del mismo, así como también los impactos ambientales que estos puedan ocasionar (Giordana, 2012).

La generación de residuos de una localidad se puede obtener del análisis de datos bibliográficos de índices de generación, o a partir de la caracterización del flujo de residuos de dicha localidad. La bibliografía debe ser adaptada a la situación económica y el estilo de vida de las localidades en las cuales se implementará el proyecto.

En general, las proyecciones se hacen bajo la suposición de una tasa constante de generación de residuos, considerando sólo el valor real del crecimiento demográfico de la población. Una forma correcta de realizar la caracterización de residuos es tomando en cuenta la variación estacional de su composición y cantidad.

Para obtener datos que permitan elaborar de forma exitosa un plan de manejo adecuado de RSU, se realiza la caracterización del flujo de residuos de la localidad donde se va a implementar dicho plan.

2.2.2.1 Composición física de Residuos Sólidos en Villa María

Para conocer la composición física de los residuos que ingresan al relleno sanitario, se tuvieron en cuenta estudios de caracterización de la Ciudad de Córdoba realizados entre enero del 2012 y abril del 2014 para el *Complejo Ambiental de tratamiento, valorización y disposición de RSU del Área Metropolitana de Córdoba* (CORMECOR, 2014).

Si bien la composición física corresponde a la capital cordobesa, se asumió que estos datos son representativos, ya que Villa María es una de las ciudades más pobladas de la provincia.

En la Tabla II.IV se presenta la composición física promedio en función de su peso, para los residuos de la Ciudad de Córdoba.

Tabla II.IV: Composición física de los residuos en función de su peso para la Ciudad de Córdoba

FUENTE: CORMECOR, 2014

COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS			
Categoría	Subcategoría	Participación	Desvío Estándar
Con potencial para ser reciclados			
Celulósicos	Papel mezclado	4,00%	1,10%
	Papel de alta calidad	0,10%	0,40%
	Papel de oficina	0,00%	0,10%
	Publicaciones	0,10%	0,30%
	Corrugado / Cartón	4,40%	1,10%
Plásticos	PET	3,80%	1,20%
	PEAD (claro)	4,50%	1,20%
	(oscuro)	0,10%	0,20%
	Otros	3,70%	3,50%
Vidrios	Claro	3,90%	1,60%
	Marrón	0,10%	0,40%
	Otros	0,10%	0,50%
Metales	Latas ferrosas	1,20%	0,50%
	Otros materiales ferrosos	0,10%	0,40%
	Latas de aluminio	0,00%	0,10%
	Otros	0,10%	0,40%
Textiles		2,40%	1,60%
TOTAL POTENCIALMENTE RECICLABLE: 28,6%			
Con potencial para generar compost			
Residuos de jardín		18,80%	7,40%
Madera		0,80%	0,90%
TOTAL POTENCIALMENTE COMPOSTABLE: 19,6%			

Resto			
Restos de alimentos		36,20%	5,50%
Otros orgánicos	Pañales /Apósitos	7,40%	2,00%
	Otros componentes	0,20%	0,40%
Otros inorgánicos	Materiales inertes	0,50%	0,80%
	Ladrillos	0,10%	0,40%
	Piedras, concreto, asfalto	0,30%	0,70%
	Suelos y fino	4,40%	2,80%
Residuos especiales	Medicamentos	0,00%	0,20%
	Pinturas	0,40%	1,40%
	Otros	2,00%	3,60%
No Identificado		0,30%	1,10%
TOTAL RESTO: 51,8%			

A partir de la Tabla II.IV podemos observar que los restos de comida ocupan la mayor contribución en peso de los residuos domiciliarios. Para la ciudad de Córdoba, los residuos de jardín contribuyen con el 20%, con una fluctuación debido a la variación estacional (mayor aporte de pasto y hojas secas en verano/otoño). Estas dos fracciones orgánicas juntas representan en promedio una contribución del 55%. Dentro de los materiales reciclables se destacan plásticos fáciles de comercializar (8%) y luego, el aporte de celulósicos (8%), vidrio (4%) y metales (1,4%). Los reciclables también muestran estacionalidad, por ejemplo, los textiles tienen pico en los meses de otoño/invierno y los papeles/cartones también tienen picos mínimos en invierno (CORMECOR, 2014).

El compost a realizar utilizará solamente los residuos orgánicos provenientes de la poda y limpieza de jardines y espacios verdes (residuos de jardín y madera). Por lo tanto, para los cálculos de este Proyecto se dirá que el material compostable, abarca el 19,6% del total de los residuos.

Cabe destacar que este estudio no da cuenta de la totalidad de los residuos que se generan, ya que muchos son acopiados o dispuestos en circuitos informales y por lo tanto, es muy difícil su identificación.

2.3 Diagnóstico actual de la Disposición de RSU en Villa María

Actualmente, los residuos sólidos urbanos provenientes de la localidad de Villa María son llevados a un predio municipal próximo al nuevo Complejo Ambiental de Disposición Final de 60 hectáreas ubicado sobre la Ruta Provincial N°2 Km 104, en cercanías a Ana Zumarán y a la Nueva Autopista Rosario-Córdoba, situadas al oeste de la localidad de Villa María.

Ana Zumarán es una localidad agrícola-ganadera situada sobre la RP N°2 que cuenta con 98 habitantes (INDEC, 2010).

El predio actual ya se encuentra cerca de su capacidad máxima y por tal motivo, se están comenzando a llevar a cabo tareas de cierre.

Según información presentada en un Informe del Observatorio Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en septiembre del 2010, el actual relleno sanitario de Villa María cuenta con suelo impermeabilizado con un liner de polietileno de alta densidad, venteo de gases y un sistema de captación de lixiviados que son bombeados en función de la cantidad generada hacia una laguna de aireación impermeabilizada.

2.3.1 Corrientes de residuos generados

Diariamente ingresan al Relleno Sanitario de Villa María alrededor de 90 toneladas, de lunes a sábado. El 60% corresponde a la recolección domiciliaria y el resto a las corrientes asimilables a domiciliarios (Observatorio Nacional de Gestión de RSU, 2010).

Para reducir el porcentaje de residuos a disponer en el relleno sanitario, los mismos son previamente seleccionados mediante una recolección diferenciada semanal la cual está clasificada por barrios. Desde el año 2011 los vecinos de Villa María comenzaron a separar sus residuos en origen. La recolección se realiza una vez por semana entre las 14 y 16hs.

Desde principios del 2000, la concesión del servicio de Higiene Urbana en Villa María fue prestada por diversas empresas privadas. Este servicio incluye recolección de residuos domiciliarios, barrido de calles, tratamiento y disposición final de RSU, entre otros.

Desde enero del 2011 la empresa *COTRECO Higiene Urbana S.A* es la encargada de recolectar los residuos de Villa María.

2.3.1.1 Recolección Diferenciada en Villa María

Como se mencionó anteriormente, desde el año 2011 en Villa María se implementó la recolección diferenciada en la región del centro y con los años se amplió a 14 barrios. Sin embargo, esta recolección abarca actualmente 18 de los 37 barrios existentes en la Ciudad y es realizada una vez por semana por la empresa COTRECO. La empresa recolectora recoge papel, cartón, plásticos, vidrios, metales y textiles, y una cooperativa de trabajo local selecciona y vende ese material. Asimismo, se dispusieron Puntos Limpios en diferentes barrios de la ciudad. Según la Universidad de Villa María, la diferenciación de residuos generada es pequeña ya que la separación es incluso parcial en los barrios donde se presta el servicio.

El Director de Ambiente y Saneamiento de la ciudad de Villa María, Germán Tissera, explicó a *“EL DIARIO de Villa María”* a principios del 2017 que el objetivo de los Puntos

Limpios es crear conciencia en todos los vecinos de la importancia de separar los residuos secos de los húmedos, para permitir una mayor industrialización de la basura.

Tissera además comentó que en esa Ciudad debieron suprimir algunos sectores de la recolección diferenciada porque muy pocos vecinos la practicaban. Es por este motivo que la Municipalidad sostiene actualmente 3 Puntos Limpios fijos en los B° Las Acacias, Las Playas y Bello Horizonte (Figura 2.2) que separan: pilas y baterías, residuos secos, residuos orgánicos, papel y cartón, residuos electrónicos y residuos textiles.



Figura 2.2: Punto limpio de la Ciudad de Villa María

FUENTE: EL DIARIO *de Villa María*.

Además, el funcionario agrega que por el momento la proporción de residuos que se separa es baja en comparación con el total.

Asimismo, Tissera hace énfasis en que ésta práctica es positiva ya que permite entre otras cosas:

- la creación de trabajo para familias hoy excluidas del circuito formal de la economía;
- ordena el circuito de recolección informal de residuos sólidos para el reciclaje;
- reduce el volumen de residuos sólidos cuyo destino sería el enterramiento;
- reduce el impacto ambiental que supone la disposición de residuos en un relleno sanitario;
- tiende a erradicar los basurales a cielo abierto;
- ahorra recursos naturales y energía;
- permite recuperar vidrio, plástico, papel, aluminio, tetrabrik y telas.

Los residuos voluminosos, escombros y restos de poda no deben colocarse en el contenedor. El retiro, en ciertas cantidades, es gratuito y los vecinos pueden llamar al municipio y coordinar día y horario correspondiente a su domicilio. El día de recolección programada se deberá disponer los residuos en la vereda y la empresa recolectora los retirará sin cargo.

Los restos verdes son llevados al sitio de disposición final donde son depositados en un lugar destinado específicamente para estos residuos. Por el momento no se realiza ningún tratamiento, sólo quedan apilados en ese sector. Es decir, el material no sufre ningún proceso de transformación mecánica como podría ser la trituración o chipeo.

Los restos de obra, escombros y áridos de hasta 500kg también son retirados por la Municipalidad.

En 2010, la corriente de restos áridos o de obra, se usó para relleno de terrenos o de las cavas que se generaron por la extracción de suelos en la construcción de la autopista Córdoba-Buenos Aires. A raíz de esto, la llegada al sitio de disposición final resultaba aproximadamente nula.

Los residuos electrónicos también se pueden disponer en contenedores especiales.

2.3.2 Funcionamiento e instalaciones actuales del Predio donde se construirá el Relleno Sanitario

El predio de 60 hectáreas en el cual se construirá el relleno sanitario, cuenta actualmente con una Planta de Separación y Clasificación de residuos manual que clasifica los residuos pre-seleccionados en los domicilios de Villa María y está operada por la *Cooperativa 7 de Febrero*. Esta planta fue inicialmente concebida para una capacidad máxima de proceso de 70 toneladas diarias de residuos mezclados, operando en tres turnos con una dotación de 27 operarios en cada uno. Para fines del 2011, el tonelaje ingresado en la Cooperativa, como pico, era de 6 toneladas de residuos mezclados por día (en el orden del 9% de su capacidad máxima), obteniendo cerca de 1 tonelada de material clasificado y terminado para la venta.

Este predio se encuentra ubicado a 10km del casco urbano. Las Figuras 2.3 y 2.4 muestran la imagen satelital del casco urbano de Villa María y el Nuevo Complejo Ambiental con los galpones disponibles para las diferentes instalaciones.

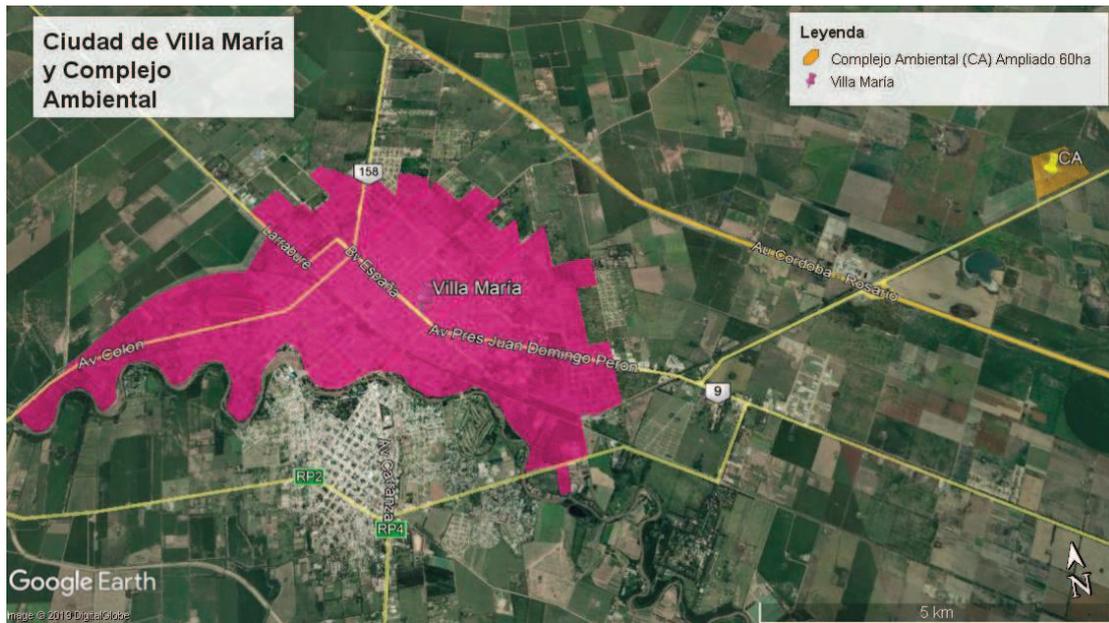


Figura 2.3 Casco urbano de Villa María (en rosa) y Complejo Ambiental (en naranja).
FUENTE: Google Earth.



Figura 2.4: Nuevo Complejo Ambiental
FUENTE: Google Earth.

2.3.3 Cooperativa 7 de Febrero

La Cooperativa “7 de Febrero” surgida por asamblea el 7 de febrero del 2006 cuenta con galpones cedidos por el Municipio dentro del nuevo predio de disposición final.

A partir de una entrevista realizada por el *Diario Villa María Vive* a mediados de 2014 a la Directora de la Cooperativa Marcela Durán se recolectaron datos de cómo funciona la misma.

En ese año en *7 de Febrero* trabajaban alrededor de 30 mujeres de bajos recursos que realizaron una capacitación técnica municipal para el correcto manipuleo de residuos.

Es importante destacar que esta Cooperativa no recicla, sino que clasifica residuos pre-seleccionados en domicilios de Villa María. Los residuos son prensados y comercializados pero no existen maquinarias para separar materia prima. Los residuos son seleccionados según sus componentes orgánicos o inorgánicos para reducir la cantidad de residuos llevados a disposición final. Los materiales recuperados, ingresan nuevamente a la cadena productiva.

Estas mujeres trabajan en un horario de 7 a 16 horas y, debido a que en los meses de octubre a marzo hay menor producción de papel o plástico, obtienen menor cantidad de materia prima de entrada e ingresos económicos para las trabajadoras. Esto ocurre debido a que la cooperativa se financia con aportes del Municipio y con la venta del material recuperado, cuyos valores no son elevados.

Por este motivo, el Municipio también les brindó la concesión de limpieza de la plaza Centenario, del Cementerio La Piedad y 17 baños públicos de la Ciudad ubicados en la Costanera, el Polideportivo y el ex camping municipal durante los meses de enero y febrero.

El objetivo actual de la Cooperativa es aumentar los ingresos. La planta puede emplear hasta 90 operarios, aunque trabaja un tercio de ese número.

Desde el año de su creación, la Cooperativa 7 de Febrero no ha funcionado correctamente debido a la renuncia de algunos de sus socios y la baja demanda de material clasificado. Esto provocó un cese total de actividad durante algunos meses.

2.3.3.1 Instalaciones actuales de la Cooperativa

El área de separación y clasificación de residuos se encuentra dentro del predio del vertedero municipal y cuenta con tres galpones: uno para la recepción del material seleccionado, otro para su separación y clasificación, y el último para el acopio del mismo.

El galpón de separación y clasificación consta de una playa de descarga con un alero de 20x10m y un galpón donde se encuentra el equipamiento para la clasificación de 20x30m y posee piso de hormigón. Los techos son de chapa galvanizada y el galpón de clasificación tiene ventilación por cumbre.

2.3.3.2 Equipamiento actual de la Cooperativa

A partir de una visita del Observatorio Nacional de Gestión de RSU en septiembre de 2010 a la Cooperativa "*7 de febrero*", se puede afirmar que el equipamiento consta de:

- Una tolva de recepción de 4m³ a nivel del piso
- Una cinta de elevación a 2,5 m
- Un desgarrador de bolsas
- Una cinta de clasificación elevada, con 16 bocas de descarga para el material clasificado
- Un contenedor de residuos para traslado del remanente rechazado a disposición final
- Una pala mecánica, de baja capacidad
- Dos prensas verticales, para papel, cartón y plásticos
- Una prensa horizontal, para metales
- Una balanza electrónica, capacidad 1.000kg

La planta sigue un proceso similar al esquema de la Figura 2.5. Los residuos son recepcionados y dispuestos en una cinta elevadora de 2,5m que envía los residuos ya descargados a una cinta principal de clasificación, en donde se distribuyen los puestos de trabajo para que los operarios separen manualmente los distintos materiales y los depositen en las correspondientes bocas de descarga. De esta forma serán clasificados en cuatro corrientes (papel y cartón, plástico, vidrio y metales). COTRECO también separa textiles, por lo que se añadiría una quinta corriente potencialmente reciclable. Estas bocas conectan la plataforma elevada con los bolsones apoyados sobre el piso del galpón por medio de mangas (Figuras 2.6 y 2.7). Los residuos recuperados serán prensados y enfardados para su posterior comercialización.

Aquellos residuos provenientes de la recolección de residuos húmedos o que sean desechados en la planta de separación y clasificación, serán dispuestos en celdas dentro del relleno sanitario.

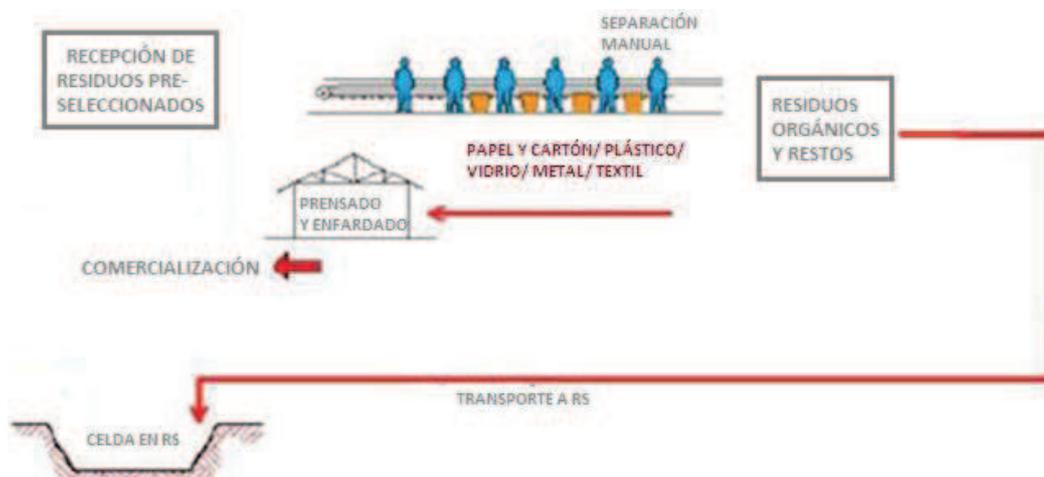


Figura 2.5: Esquema de una planta de separación y clasificación tipo.

FUENTE: Universidad Nacional de San Martín, 2018.



Figuras 2.6 y 2.7: Cooperativa de Clasificación de Residuos “7 de Febrero”
FUENTE: *Diario del Centro del País, 2016.*

Estos bolsones son confeccionados con hilado de polipropileno y tienen una capacidad de carga aproximada de 1 a 1,5 toneladas.

Los materiales recuperables ya clasificados durante el desplazamiento de la cinta principal son colocados en estos bolsones, que una vez llenos son repuestos por otros vacíos y trasladados para su enfardado. Esta tarea es realizada en las dos prensas, seleccionadas de acuerdo al tipo de material a compactar (Figuras 2.8, 2.9 y 2.10). Por último, los fardos son estibados en el exterior del galpón principal, quedando así disponibles para la venta.





Figuras 2.8, 2.9 y 2.10: Prensado y compactación de los materiales separados y clasificados

FUENTE: *Cooperativa 7 de Febrero, 2014.*

Al final del recorrido de la cinta, la fracción de materiales no recuperables es descargada en un contenedor, para su posterior traslado a disposición final.

En el caso del vidrio, en lugar de bolsones y debido a su agresividad, se suele utilizar un contenedor metálico en la descarga de los ductos de clasificación, y de esta forma es transportado hasta el sitio de acopio.

En la preparación de un despacho de materiales y antes de la carga de un camión, todos los fardos son pesados en una balanza electrónica.

Esta cooperativa presenta mínimas o escasas condiciones de higiene y seguridad en las operaciones que realizan sus operarios; motivo por el cual, es necesaria una mayor capacitación en este rubro.

2.4 Marco regulatorio

- **Ley Nacional N° 25.675 “Ley General del Ambiente”** establece un sistema federal de coordinación interjurisdiccional para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional (Artículo 1º, inc. j), instrumentado a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA), cuyo objeto es la articulación de estas políticas

para el logro del Desarrollo Sustentable, entre el gobierno Nacional, los gobiernos Provinciales y el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Se establecen los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica

- La **Ley Nacional N° 25.916 de Residuos Sólidos Domiciliarios**, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas. Esta Ley define residuo domiciliario como aquellos elementos, objetos o sustancias que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados. Además, establece que la gestión integral de residuos domiciliarios comprende las etapas de generación, disposición inicial, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final.

- En el caso de la **Provincia de Córdoba**, la **Ley 7.343 de Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente** otorga en su **Art. 25** a la Autoridad de Aplicación (Agencia Córdoba Ambiente) la potestad de regular la evacuación, tratamiento y descarga de residuos sólidos y aguas procedentes de la lixiviación de materiales residuales, y en el **Art. 49** obliga a quienes sean responsables de obras y/o acciones que degraden o sean susceptibles de degradar el ambiente a presentar un estudio de impacto ambiental en todas las etapas de desarrollo del proyecto, incluyendo en el **Art. 52 Inc. i)** a las actividades degradantes o susceptibles de degradar el ambiente que propenden a la acumulación de residuos, desechos, y basuras sólidas.

- En su **Decreto Reglamentario N° 2.131/00 de la Ley 7343, Anexo I apartado 16**, hacen obligatoria la presentación de procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental a las nuevas instalaciones de tratamiento y destino final de residuos domiciliarios o asimilables, que pudiesen receptor residuos de más de 100.000 habitantes o 40.000 ton/año de residuos equivalentes.

- **Ley provincial N° 9.088 de Residuos Sólidos Urbanos y asimilables**. Aplica a la generación, transporte, tratamiento, eliminación y disposición transitoria o final de residuos sólidos domiciliarios, derivados de la poda, escombros, desperdicios de origen animal, vehículos en desuso y todo otro residuo de características similares producidos en las actividades urbanas, con excepción de aquellos que por sus características deban ser sometidos a tratamientos especiales antes de su eliminación, tales como los patógenos, radiactivos, peligrosos u otros.

Esta ley define en su **Art.5** a los **vertederos controlados** como “*el lugar físico de disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Asimilables a los RSU*” y establece condiciones mínimas y obligatorias para el tratamiento y disposición de los RSU. En su **Art. 6** hace referencia a establecer condiciones de seguridad física y administrativas adecuadas, respetar condiciones de tratamiento de los líquidos y gases que resulten de la disposición de los RSU, establecer un sistema de monitoreo periódico, y cumplimentar con los requerimientos de la ley provincial del ambiente y los términos establecidos por la autoridad de aplicación.

En su **Art. 7** prohíbe los basurales a cielo abierto, el cirujeo y la quema incontrolada de RSU.

Asimismo, invita a las municipalidades y comunas a integrar entes regionales para el establecimiento de sistemas de gestión de residuos (**Art. 8**).

- **Decreto 1.074/18 “Protección a las Fuentes de Provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera”** del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. Este decreto establece en su **Art. 4** que todos los generadores de emisiones gaseosas a la atmósfera alcanzados por el presente están obligados a cumplir las normas de calidad de aire y valores establecidos en el presente Decreto y resoluciones complementarias.

- **Resolución N° 1/19 “Marco Normativo para producción, registro y aplicación de compost”** de la Subsecretaría de Control y Monitoreo Ambiental dependiente de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), que establece los requisitos necesarios que debe cumplir el compost elaborado a partir de residuos orgánicos separados en origen y recolectados de manera diferenciada.

- **Resolución N° 372/01** de la Agencia Córdoba Ambiente (actualmente Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba), establece los términos de referencia para instalaciones para el destino final de residuos domiciliarios o asimilables.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) es una disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento y procesamiento en origen, recolección, transferencia y transporte, tratamiento y disposición final de los residuos, en forma armónica con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de los principios ambientales, respondiendo a las expectativas de la población (Min. de Salud y Ambiente, 2005).

El Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible define al GIRSU como el conjunto de operaciones que tienen por objeto brindar a los residuos producidos en una zona, el destino y tratamiento adecuado, de una manera ambientalmente sustentable, técnica y económicamente factible y socialmente aceptable.

Los sistemas de gestión de residuos sólidos deben garantizar la preservación del ambiente y, la salud y seguridad para los trabajadores y la comunidad en general. Además, un sistema sustentable para la gestión de residuos sólidos debe ser ambientalmente efectivo, económicamente factible y socialmente aceptable (McDougall et. al, 2001).

1. Efectivo para el medio ambiente: debe reducir tanto como sea posible las cargas medioambientales de la gestión de residuos.
2. *Económicamente factible*: debe funcionar a un costo aceptable para la comunidad. Los costos de operar un sistema efectivo de residuos sólidos dependerán de la infraestructura local existente.
3. Socialmente aceptable: debe ser aprobado por la mayoría de las personas de la comunidad. Para esto es necesario capacitaciones continuas en materia de medio ambiente y en formas de reducción y reutilización de residuos sólidos.

La GIRSU tiene como propósito seleccionar y aplicar de técnicas, tecnologías y programas de manejo acordes con objetivos y metas específicas de gerenciamiento de residuos. Para cumplir esto, estudia los Residuos Sólidos en sí mismos, así como también, sus fases de generación.

La Estrategia Nacional de Gestión Integral de RSU (ENGIRSU) es el conjunto de medidas que tienden a implementar un Sistema de Gestión Integral de RSU en el territorio nacional.

3.1.1 Elementos funcionales de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

La Gestión de los RSU se divide en seis elementos funcionales. Estas etapas trabajan en forma articulada a los fines de disminuir el volumen de los residuos enviados a disposición final, como medio eficiente para reducir sus impactos asociados y los costos de su manejo. En este apartado se expondrán las características principales de cada una de ellas definidas por Tchobanoglous en 1994.

1. Generación

Abarca las actividades en las cuales un producto o material deja de tener valor para quien lo utiliza y es desechado. Este proceso es de suma importancia ya que conocer las cantidades de residuos y su composición marca las pautas para el diseño de las estrategias de manejo de los mismos. La reducción en origen es una actividad poco controlable pero es evaluada como un método para limitar las cantidades de residuos generados.

2. Tratamiento pre-recolección: Manipulación y separación de residuos, almacenamiento y procesamiento en origen

Implica actividades asociadas con la gestión de residuos hasta que estos son colocados en contenedores de almacenamiento para su recolección.

La separación de los componentes de los residuos es un paso importante en la manipulación y el almacenamiento de los RSU en origen, por lo tanto, la participación ciudadana en esta etapa es fundamental.

3. Recolección

Conjunto de acciones que comprende el acopio y carga de los residuos en los vehículos recolectores. Incluye la recolección y el transporte de los RSU hacia la instalación de procesamiento de materiales, estación de transferencia, o sitio de disposición final.

La recolección puede ser general (sin discriminar los distintos tipos de residuo) o diferenciada (discriminando por tipo de residuo en función de su tratamiento y valoración posterior).

Se debe determinar la frecuencia de recolección y seleccionar el tipo y capacidad de los camiones recolectores. Para esta etapa pueden utilizarse camiones recolectores *compactadores* que optimizan costos de transporte o *no compactadores*.

Del costo total que implica la Gestión Integral de Residuos Sólidos, aproximadamente entre el 50 y 70 por ciento corresponde a la recolección. Debido a que una fracción muy grande del costo total está asociada con esta operación, un pequeño porcentaje de

mejora en la operación de recolección puede afectar un ahorro significativo en el costo general del sistema (Tchobanoglous, 2002).

4. Transferencia y transporte

La transferencia comprende las actividades de almacenamiento transitorio y/o acondicionamiento de residuos para su transporte. El transporte comprende los viajes de traslado de los residuos entre los diferentes sitios comprendidos en la gestión integral. Este tipo de operación es necesaria cuando el sitio de disposición final se encuentra muy distante del centro urbano de generación de residuos y permite el ahorro de costos en transporte y mantenimiento de equipos.

Según García de Diego (2007), para que una estación de transferencia sea rentable, el último punto de recogida debe ser superior a los 20km del punto de vertido. Si el mismo se encuentra a más de 10 y menos de 20km, se debe estudiar específicamente el caso, pero solo en un 30% de los mismos puede ser rentable. Por último, si el punto de recolección se encuentra a 10km o menos del punto de disposición final, no es conveniente la instalación de transferencia.

Debido a que el Complejo Ambiental se encuentra a 10km del centro urbano de Villa María, en este proyecto se optó por la no utilización de una estación de transferencia.

5. Tratamiento post-recolección: Separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos

Comprende el conjunto de operaciones tendientes al acondicionamiento y valorización de los residuos. Se entiende por acondicionamiento a las operaciones realizadas a fin de adecuar los residuos para su valorización o disposición final. Mientras que la valorización es todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos mediante el reciclaje y la reutilización (CEAMSE, 2018).

La recuperación de materiales separados, la separación y el procesamiento de los componentes de los RSU que se produce fuera de la fuente de generación de los mismos se encuentra dentro en este elemento funcional de la gestión.

Se enfoca en producir beneficios económicos, técnicos y sanitarios que contribuyan a la protección de la población y del medio ambiente. Sus objetivos se centran en recuperar materiales y energía para que puedan ser aprovechados.

Los procesos de transformación se utilizan para reducir el volumen y el peso de los desechos que requieren su eliminación y para recuperar los productos de conversión y la energía. Se emplean tres tipos de transformaciones: físicas, químicas y biológicas. La fracción orgánica de los RSU se puede transformar mediante una variedad de procesos químicos y biológicos.

El proceso de transformación biológica más utilizado es el compostaje aeróbico, mientras que, en la transformación química, comúnmente se utiliza la combustión.

El procesamiento frecuentemente incluye la separación de objetos voluminosos, la separación de componentes por tamaño y tipo de material mediante la separación manual, la reducción de tamaño mediante trituración, y la reducción de volumen por compactación.

6. Disposición final:

Este proceso es efectuado en rellenos sanitarios o vertederos controlados donde son llevados materiales que no pueden ser reciclados o no tienen ningún uso adicional, rechazos del proceso de separación y recuperación de materiales, y subproductos de la combustión de residuos sólidos, entre otros. Este método es la opción socialmente menos aceptada para tratar los residuos.

Existen otros sistemas de disposición final, sin embargo, si se analizan aspectos económicos y sanitarios, el relleno sanitario es la opción más eficaz.

En la Figura 3.1 se muestra la vinculación que existe entre los elementos funcionales de una Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

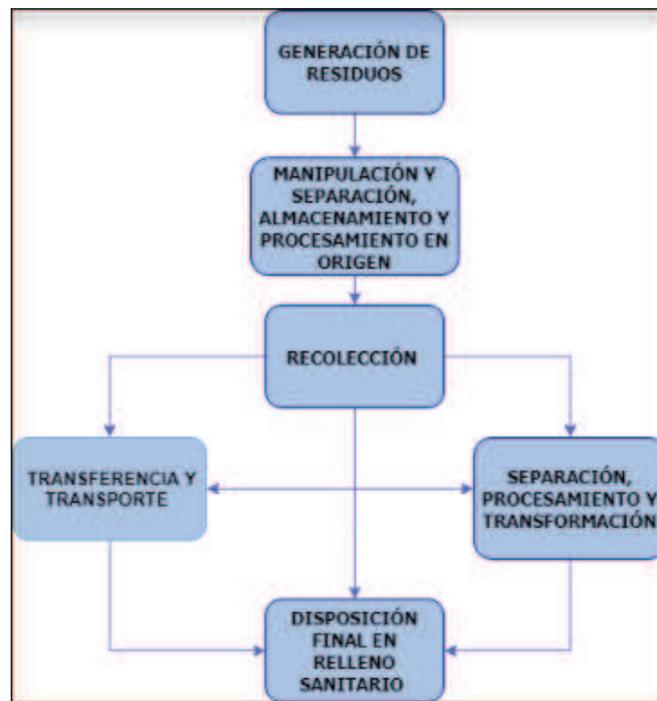


Figura 3.1: Diagrama de interrelaciones entre los elementos funcionales de una Gestión de Residuos Sólidos

FUENTE: Tchobanoglous, Vigil, & Theisen, 1994.

3.1.2 Jerarquía de un sistema de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos

Para el tratamiento de RSU, las tendencias mundiales actuales sugieren implementar una gestión integral de residuos sólidos (GIRSU). La misma, incluye un sistema de recolección de residuos optimizado y una clasificación eficiente. Asimismo, propone una jerarquía u orden de preferencia en el tratamiento de estos residuos que incluye (Tchobanoglous et al., 1994; Perry, 1996; Kiely, 1999):

1. Minimización o reducción
2. Reutilización
3. Reciclaje
4. Tratamiento
 - a. *biológico: compostaje*
 - b. *térmico: con/ sin recuperación de energía*
5. Disposición final en relleno sanitario

En la Figura 3.2 se ilustra la jerarquía de un sistema de tratamiento de RSU. En el mismo se puede observar el orden de eficacia indicado anteriormente, siendo la reducción o minimización la opción más eficiente y la disposición final en relleno sanitario, la menos eficiente.

Sin embargo, el relleno sanitario es el único método que puede gestionar todos los tipos de residuos; ya que el reciclaje, el tratamiento biológico y el tratamiento térmico generan material residual que debe ser tratado (McDougall et. al, 2001).

Los rellenos sanitarios o vertederos controlados implican el confinamiento de RSU en fosas o celdas de disposición final impermeabilizadas, con la compactación de los residuos, la captación y tratamiento de líquidos lixiviados y gases de vertedero, y la cobertura periódica de los residuos con suelo. Estos rellenos deben cumplir la Resolución N° 372/01 de la Agencia Córdoba Ambiente e incluyen, además de lo mencionado anteriormente, el control de ingreso, un cerco perimetral, una barrera forestal, el monitoreo ambiental, un plan de gestión ambiental y un plan de clausura y post-clausura.

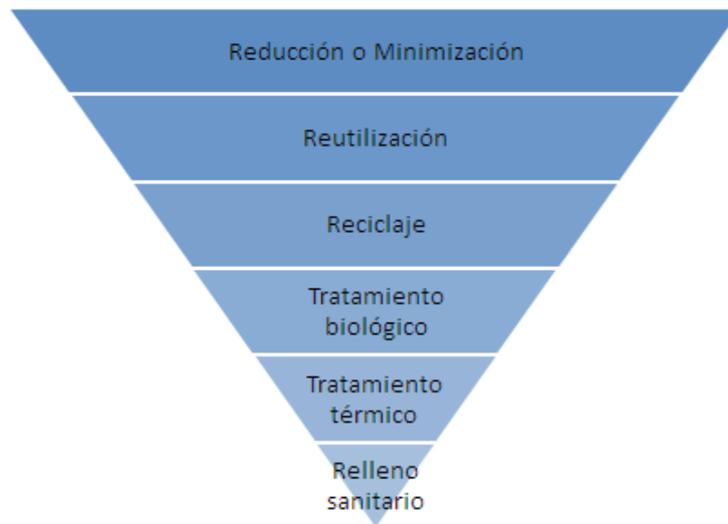


Figura 3.2: Jerarquía de un Sistema de tratamiento de Residuos sólidos

FUENTE: *Elaboración personal*

Existen varias modificaciones en lo indicado anteriormente, pero en todos casos siempre se incluye el concepto de gestión integral tratando de minimizar la cantidad de RSU que deben ser dispuestos en los rellenos sanitarios. El orden debe adaptarse a cada situación particular y no puede estar basada en una ponderación económica. (Universidad Nacional de Córdoba, 2012).

La Gestión de los RSU, es competencia exclusiva de los Municipios (directa o indirectamente). El tipo y volumen de RSU que se generan en cada localidad está condicionado por las distintas actividades económicas, la ubicación geográfica, el número de habitantes y su característica socioeconómica, entre otros factores.

3.2 Relleno sanitario

Un relleno sanitario o vertedero controlado es una instalación ingenieril diseñada para la evacuación de RSU sin causar perjuicio para el ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud, ni el bienestar y seguridad pública. Este método permite confinar los residuos en un área lo más estrecha posible, cubriéndolos con capas de tierra diariamente y compactándolos para reducir su volumen. Asegura el aislamiento total de los desechos, y además prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica (CEAMSE, 2018; Jaramillo, 2002).

En el relleno se realiza el control y tratamiento de los gases y lixiviados generados en el proceso de descomposición de los residuos. Los líquidos sometidos a distintos procesos, generalmente son recuperados para riego de caminos y limpieza de maquinarias. Los gases pueden ser aprovechados para generar electricidad.

La descomposición de los residuos, así como la composición de los gases de relleno sanitario y los lixiviados dependerá de la cantidad y calidad de los residuos depositados y de la forma en que se opera y controla el proceso.

Cuando el predio ya se encuentra completamente lleno, se tapa, se cierra y se lleva a cabo su remediación para luego convertirlo en un espacio verde.

Desde el momento de su construcción, todo relleno sanitario tiene una vida útil estimada. Una vez saturada su capacidad y cerrados los módulos de rellenos se prosigue en una etapa de post-cierre, que puede extenderse hasta 30 años. Durante este período los residuos depositados entran en descomposición y disminuyen su volumen, generándose desniveles o hundimientos en los que se puede acumular agua que luego podría ingresar al relleno y sumar volumen al líquido lixiviado (CEAMSE, 2018).

El relleno sanitario presenta ciertas ventajas y desventajas, que son detalladas a continuación (Min. de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable de la Prov. del Chubut, 2012):

VENTAJAS

- Sistema definitivo de tratamiento.
- Muy flexible a la variación de la producción.
- Rápida puesta en marcha.
- Disminuye la contaminación de suelos, napas y cursos de agua.
- Disminuye la presencia de vectores (aves, roedores, insectos, etc.)
- No produce deterioro paisajístico a su alrededor, tiene cerco perimetral que evita el ingreso de animales y personas ajenas al predio.
- No se realiza la quema de residuos por lo que mejora la calidad del aire.
- Mejora las condiciones en que trabajan los recuperadores de residuos al ser empleados formales.
- El volumen ocupado por los residuos es menor porque presupone la recuperación y reciclado de una parte de los desechos y la compactación por maquinaria pesada en el RS previa al enterramiento.
- Aplicable a la totalidad de los RSU; ya que los otros métodos generan material residual que se debe rellenar en vertederos
- Baja inversión

DESVENTAJAS

- Necesidad de gran superficie por lo que existen pocos lugares adecuados y son indeseados cerca de las ciudades.

- Condiciones geológicas, hidrológicas, meteorológicas y paisajísticas estrictas
- Limitación en el uso posterior del suelo
- Demora la degradación de los materiales enterrados
- Emisión incontrolada de gases. Se incrementa la producción de metano por la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos, que es emitido por chimeneas. Quemar ese gas o utilizarlo para producir energía convirtiéndose en dióxido de carbono, puede reducir sus impactos.
- Contaminación de acuíferos si el lixiviado no es correctamente gestionado.
- Aumenta el costo de la gestión de residuos
- El relleno sanitario se colmata y es necesario cerrarlo y construir uno nuevo. Si la campaña de recolección domiciliaria no es efectiva, el mismo puede llenarse en muy poco tiempo y la inversión económica ser muy elevada.

Las características y secciones que debe tener el relleno sanitario se observan en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Componentes de un relleno sanitario

FUENTE: Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable, 2018

- **Módulos:** El área se divide en módulos. Los camiones circulan por terraplenes hasta el módulo que se está llenando.
- **Impermeabilización:** El relleno debe estar aislado para evitar que la filtración de líquidos contamine las napas.
- **Extracción de líquidos:** Deben ser retirados para recibir tratamiento
- **Gases:** La descomposición de los residuos produce gases, principalmente metano, que se eliminan por venteo.
- **Pozo de control:** Para tomar muestras de agua de la napa.

3.2.1 Métodos o tipos de relleno sanitario

Según las características del terreno, se pueden construir tres tipos de relleno sanitario (Tchobanoglous, 2002):

- a) De **celda, zanja o trinchera profunda**
- b) De **área o zona**, en el cual se cubren los residuos con tierra en la misma superficie del terreno.
- c) De **vaguada, depresión o trinchera superficial**, que aprovecha depresiones o taludes naturales para disponer los residuos.

Para el relleno sanitario de Villa María se utilizará el método de excavación de trincheras. Este método es utilizado generalmente en terrenos con pendientes planas y suelos no rocosos para su fácil excavación, donde el nivel freático se encuentra a buena profundidad. Consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor oruga.

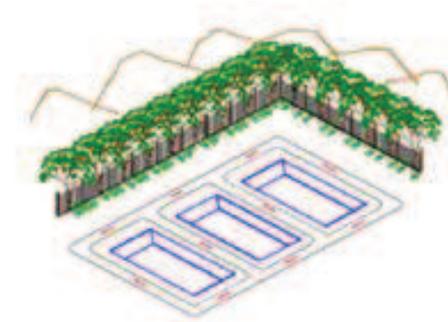


Figura 3.4: Método de trincheras
FUENTE: Min. de Ambiente del Perú, 2017.

Es ideal para áreas donde se dispone de una profundidad adecuada de material de cobertura disponible en el sitio. La tierra excavada se utiliza como material para la cobertura diaria o final. Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra. (Figura 3.4). Usualmente, las celdas o zanjas excavadas se revisten con membrana sintética o con arcilla de baja permeabilidad, o una combinación de los dos, para limitar el movimiento de los gases del relleno sanitario y los lixiviados.

3.2.2 Selección del sitio de disposición final

La selección de este sitio depende de varios criterios, que incluyen:

1. Cantidad de terreno disponible
2. Acceso al sitio de disposición final
3. Proximidad del sitio a la fuente de generación de residuos
4. Condiciones y topografía del lugar
5. Condiciones climatológicas
6. Hidrología del agua superficial
7. Condiciones geológicas e hidrológicas
8. Condiciones ambientales locales
9. Clausura

La selección final de un lugar de evacuación normalmente se basa en los resultados de un estudio detallado del lugar, de estudios de ingeniería de diseño y de costos, y de una valoración de impacto ambiental (Giordana, 2012).

El objetivo principal de la evaluación de sitios de relleno es la identificación de posibles vías y receptores de gases de relleno y lixiviados en el medio ambiente circundante y el impacto ambiental de las operaciones desarrolladas en este sitio (Tchobanoglous, 2002)

Algunas de las condiciones de emplazamiento pueden describirse a continuación:

- ✓ *Tamaño y capacidad útil del terreno*
- ✓ *Material para cobertura*
- ✓ *Vías de acceso*
- ✓ *Topografía*
- ✓ *Condiciones climáticas:* Dirección del viento predominante hacia zonas despobladas ya que se puede generar polvo y malos olores durante la etapa de operación del relleno. Asimismo, será importante conocer las condiciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad ya que, si son muy altas, la biodegradación de residuos será mayor.

- ✓ *Geología:* Tipo de suelo del sitio de disposición final

Los suelos sedimentarios con características areno - arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de lixiviados se reduce sustancialmente. Asimismo, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cobertura.

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales.

- ✓ *Hidrogeología:* Es necesario realizar como mínimo un estudio hidrogeológico a nivel de reconocimiento para identificar la posibilidad de existencia de acuíferos sub-superficiales, la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.
- ✓ *Hidrología superficial:* Es importante que el sitio seleccionado se encuentre lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, y cuente con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del relleno sanitario.

En la provincia de Buenos Aires, a través de la **Resolución N° 1.143/02** se fijan ciertos criterios para el emplazamiento de un relleno sanitario para disposición diaria de menos de 50 toneladas o más de 50 toneladas. Se utilizará esta normativa a lo largo del trabajo.

Criterios de localización para rellenos con carga diaria a disponer mayor a 50 toneladas:

- El relleno sanitario deberá establecerse en áreas cuya zonificación catastral sea rural. Deberá existir una distancia mínima al límite de la traza urbana de 1.000 m. En caso de resultar imposible el cumplimiento de esta restricción, se deberán proponer las mitigaciones correspondientes a efectos de demostrar que no existe afectación alguna a estos centros de población.

- El relleno sanitario deberá emplazarse preferentemente en un área, cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical (Kf) igual o menor a 1×10^{-7} cm/seg, con un espesor mayor o igual a 0,60 m. Cuando la barrera natural no cumpla con las condiciones indicadas, podrá lograrse o completarse en forma de barrera artificial (geológica mineral), con aquellos elementos que proporcionen una protección equivalente o una barrera compuesta.

- La base del relleno en ningún caso podrá invadir el nivel del acuífero libre, debiendo estar ubicado como mínimo a 0,50 m sobre el nivel del mismo.

- Se deberá garantizar que no se producirá ninguna alteración a la calidad del agua superficial, subterránea y al suelo adyacente como consecuencia de la disposición final de los residuos, tomando como referencia el estado de calidad previo al inicio de la obra de relleno.

- Se deberán respetar los derechos de trazas de autopistas, rutas o caminos, trazas de ferrocarril, de obras públicas tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tendido de redes de transmisión de energía eléctrica, acueductos y redes cloacales.

- La distancia mínima a ubicar un relleno sanitario de aeropuertos y/o aeródromos deberá ser:

a) 3.000 metros en el caso que operen aviones de motor a turbina.

b) 1.500 metros si operan aviones de motor a pistón o turbohélice.

- La distancia mínima del perímetro del relleno a pozos para extracción de agua potable, uso doméstico, industrial, riego y ganadero, debe ser de 500 m.

Criterios para la instalación de rellenos con carga diaria a disponer mayor a 50 toneladas:

- **Estabilidad del Relleno Sanitario**

Las dimensiones, pendientes y geometría del relleno sanitario, así como la operatoria del mismo deberán hacerse de manera tal que garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas para evitar todo tipo de deslizamientos.

- **Zona de acopio de suelo**

En áreas cercanas al módulo se ubicará la zona de acopio de suelo para la cobertura diaria. Éste será acumulado en pilas dispuestas en sentido tal que no interfieran en el escurrimiento natural del predio.

- **Drenaje pluvial**

Deberán diseñarse y mantenerse los drenajes superficiales a fin de asegurar el acceso de vehículos, la maniobrabilidad de equipos, permitiendo reducir al mínimo la penetración de líquido y la consecuente generación de lixiviados.

Los drenajes pluviales tienen la función de interceptar y desviar el escurrimiento de agua de lluvia fuera del relleno sanitario. El objetivo es proporcionar un rápido escurrimiento de estas aguas mediante cunetas perimetrales que servirán a las zonas ya terminadas de relleno y a las que se encuentran en operación.

- **Caminos temporarios**

El acceso al relleno y la red de caminos internos deberá garantizar el tránsito permanente de vehículos y equipos de obra al centro de disposición final y a la zona de operaciones, independientemente de las condiciones meteorológicas y/o de carga.

- **Playas de descarga**

Deberá contemplarse la capacidad soporte, las dimensiones, la transitabilidad y los drenajes para asegurar la circulación de los vehículos, equipos y maquinarias, teniendo en cuenta su uso bajo cualquier condición climática. Además, el ancho de las mismas será tal que minimice la superficie de residuos expuesta.

- **Sistema de captación y tratamiento de lixiviado**

Se deberá desarrollar un sistema de recolección y extracción de lixiviados, los cuales deberán ser tratados en una Planta de tratamiento de forma tal que el efluente resultante cumpla con los límites de vertido fijados por la autoridad competente.

- **Sistema de captación y tratamiento de gases de relleno sanitario**

Se deberá diseñar, construir, operar y mantener un sistema de extracción pasivo de los gases generados en el relleno sanitario. Cuando exista factibilidad técnico-económica, y a criterio de la Autoridad de Aplicación, se implementará un sistema de extracción activo que permita su tratamiento o recuperación para la producción de energía. Tanto

en tratamiento activo de gases como en pasivo, se deberá dar cumplimiento a la legislación vigente para efluentes gaseosos.

3.2.3 Gas de relleno sanitario o biogás

Tchobanoglous (2002) afirma que un relleno sanitario de residuos sólidos se puede conceptualizar como un reactor bioquímico, con residuos sólidos y agua como los principales insumos, y con los gases de relleno sanitario y lixiviados como los principales productos.

El material almacenado en el vertedero incluye material orgánico parcialmente biodegradado y otros materiales de desecho inorgánicos originalmente colocados en el relleno sanitario. Los sistemas de control de gases de vertedero se emplean para prevenir el movimiento no deseado de estos gases a la atmósfera. Asimismo, el gas de relleno sanitario recuperado puede usarse para producir energía o quemarse en condiciones controladas para evitar la contaminación atmosférica.

El gas de relleno solo se produce a partir de las fracciones biodegradables de los RSU, que son esencialmente la fracción orgánica putrescible, la fracción de papel y cartón y textiles. Otras fracciones, como el vidrio, los plásticos y los metales, probablemente afectarán la tasa de descomposición, aunque no afectará notablemente el nivel total de descomposición a lo largo del tiempo (McDougall, 2001).

Los gases que se encuentran en los vertederos incluyen amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, metano, nitrógeno y oxígeno. La distribución porcentual típica de los gases encontrados en el relleno sanitario se presenta en la Tabla III.I, como así también algunas de sus características.

Tabla III.I: Constituyentes típicos encontrados en gas de vertedero de RSU
FUENTE: Tchobanoglous, 2002

Constituyentes típicos encontrados en gas de vertedero de RSU	
COMPONENTE	% base volumen seco
Metano	45 - 60
Dióxido de carbono	40 - 60
Nitrógeno	2_5
Oxígeno	0,1-1,0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos	0 - 1,0
Amoníaco	0,1 - 1,0
Hidrógeno	0 - 0,2
Monóxido de carbono	0 - 0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01 - 0,6

CARACTERÍSTICAS	Valor
Temperatura	37 - 67 °C
Densidad específica	1,02 - 1,06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior (Kcal/m ³)	890 - 1223

3.2.3.1 Etapas de formación de biogás o gas de vertedero (LFG)

Según Henry & Heinke, la estabilización de los rellenos y por ende la generación de gas tarda aproximadamente 30 años. Para un período de estabilización de 25 a 30 años, entre un tercio y dos tercios del gas se podría generar dentro de los primeros cinco años.

El CH₄ y el CO₂ son los principales constituyentes de LFG, y son producidos por microorganismos dentro del relleno sanitario en condiciones anaeróbicas. Las transformaciones de estos componentes están mediadas por poblaciones microbianas que se adaptan a ambientes anaeróbicos.

Para lograr una estabilización de la producción de gas de vertedero, en primer lugar, éste tuvo que sufrir cuatro etapas. Cada una de ellas se destaca a continuación:

La **primera fase** es aeróbica y el gas primario producido es CO₂. La **segunda fase** (acidogénesis) se caracteriza por el agotamiento de O₂, lo que resulta en un ambiente anaeróbico, donde se producen grandes cantidades de CO₂ y algo de H₂. En la **tercera fase** (metanogénesis inestable), comienza la producción de CH₄, acompañada de una reducción en la cantidad de CO₂ producido. El contenido de N₂ es inicialmente alto en LFG en la primera fase y disminuye considerablemente a medida que avanza el

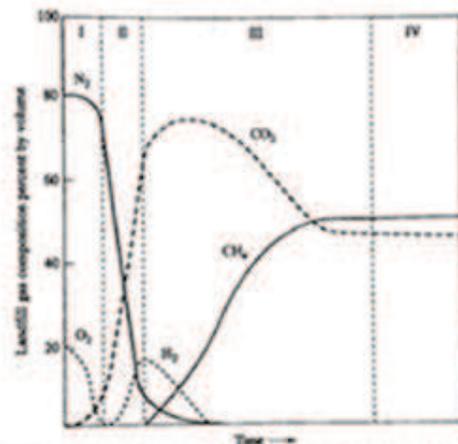


Figura 3.5: Cambios en la composición de los gases vertidos en un relleno sanitario
FUENTE: Masters, 1997.

relleno sanitario a través de la segunda y tercera fase. En la **cuarta fase** (metanogénesis estable), la producción de gas de CH₄, CO₂ y N₂ se vuelven bastante constantes.

En la Figura 3.5 se ilustra cómo varía la proporción de los gases del relleno sanitario en las diferentes etapas mencionadas.

La duración de las fases individuales en la producción de gas de vertedero variará dependiendo de la distribución de los componentes orgánicos en el vertedero, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad de los desechos y el grado de compactación inicial (Tchobanoglous, 2002).

Típicamente, el LFG también contiene NMOC (compuestos orgánicos volátiles que no incluyen el metano) y VOC (compuestos orgánicos volátiles). Los NMOC resultan de los subproductos de descomposición o de la volatilización de desechos biodegradables.

Otro contaminante que puede estar presente es el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Si bien en nuestro país no existe normativa de calidad de aire que las regule, las dioxinas son un grupo de contaminantes ambientales persistentes considerados como unos de los más tóxicos dentro de los contaminantes orgánicos. Estas dioxinas se producen como subproductos de procesos industriales que involucran cloro y todo tipo de incineración. Cualquier fuente de materiales orgánicos en presencia de cloro u otros halógenos generará dioxinas y furanos durante la combustión. Existen estudios que han detectado dibenzofuranos y dibenzodioxinas policlorados que se generan en la incineración de gas de vertedero, principalmente a bajas temperaturas y en bajas dosis (Organización Mundial de la Salud, 2016).

3.2.3.2 Sistema de drenaje activo y pasivo de gas de vertedero

Según la EPA, los sistemas de recolección de gases de relleno sanitario consisten en una serie de tuberías perforadas verticales u horizontales que penetran en la masa de residuos y recolectan los gases producidos por los residuos en descomposición. Dado que el gas migrará horizontalmente a lo largo de las capas de desechos, es probable que las tuberías de recolección vertical recolecten el gas de manera más efectiva. La densidad de las tuberías variará a lo largo del relleno sanitario, con la mayor densidad necesaria en la periferia para evitar la migración lateral del gas desde el sitio.

Estos sistemas de recolección se clasifican como sistemas activos o pasivos. Los **sistemas de recolección activa** utilizan sopladores mecánicos o compresores para crear un vacío en la tubería de recolección para optimizar la recolección de gas de vertedero. Los **sistemas pasivos** utilizan el gradiente de presión natural establecido entre los residuos comprimidos y la atmósfera para mover el gas a través del sistema de recolección.

Sistema de drenaje pasivo para gases de relleno sanitario

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas, las mismas se deben construir durante la operación del relleno sanitario. En este sistema se aprovecha la difusión horizontal del gas en el relleno, el cual difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Asimismo, estas chimeneas tienen alta permeabilidad para el gas y por este motivo, solo una baja cantidad de gas no se difunde por la misma (Röben, 2002).

El biogás que es eliminado por estas chimeneas debe quemarse para no causar emisiones tóxicas, tanto para los obreros como para el medio ambiente en sí.

Se puede quemar el gas de relleno dentro de la chimenea, protegiendo los puntales y la malla con un tubo de hormigón o un capuchón metálico. La chimenea donde se incinera el gas no debe ser más elevada que la celda para evitar que se mezcle el aire ambiental con el gas combustible. Con la incineración controlada del gas puro de relleno se evita, además, el peligro de explosión que siempre existe cuando se mezcla el metano con la atmósfera (Röben, 2002).

Resulta más sencillo incinerar los gases en una chimenea que se encuentra en una celda ya cerrada debido a que tendría el mismo nivel de la celda. De todas formas, es también posible incinerar los gases en una celda en operación. En este último caso es necesario apagar el fuego en la chimenea y elevarla paralelamente con el crecimiento de la celda. Este trabajo se debería realizar quincenalmente o mensualmente, dependiendo del tamaño de los módulos de disposición final.

3.2.4 Lixiviados

El lixiviado es el líquido contaminado que drena o percola de un relleno sanitario. Éste varía ampliamente en su composición según la antigüedad del relleno y del tipo de residuos que contiene (Henry & Heinke, 1996).

Al igual que con el gas de vertedero, no es sencillo proporcionar valores típicos para la generación de lixiviados a partir de residuos sólidos, ya que tanto la cantidad y calidad, como la composición del lixiviado, dependerán de muchos factores incluida la edad del sitio de disposición, la naturaleza de los residuos, el método y diseño ingenieril utilizado, la compactación y la precipitación anual de la región, etc. (McDougall, 2001).

Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. Este análisis del lixiviado (Tabla III.II) proporciona la información básica para seleccionar los procesos unitarios. La concentración de sustancias orgánicas, la relación DBO/DQO y el tipo de ácidos grasos volátiles presentes, está relacionado con la antigüedad del relleno (Henry & Heinke, 1996). Ciertos parámetros como el pH, concentración de materia orgánica, amonio y nitrato, sólidos suspendidos y contenido de metales, deben ser correctamente controlados (Williams, 2005).

Tabla III.II: Datos típicos sobre composición de lixiviados procedentes de vertederos nuevos y maduros

FUENTE: Tchobanoglous, 2002

Todos los valores están en mg/L, excepto el pH que no tiene unidades.

Constituyente	Valor (mg/L)		
	Vertedero nuevo (< 2 años)		Vertedero maduro
	Rango	Típico	(> 10 años)
DBO ₅	2000 - 30000	10000	100 - 200
COT	1500- 20000	6000	80 - 160
DQO	3000 - 60000	18000	100 - 500
SST	200 - 2000	500	100 - 400
N Orgánico	10 - 800	200	80 - 120
N amoniacal	10 -800	200	20 - 40
Nitrato	5 40	25	5 10
Fósforo total	5 - 100	30	5 10
Ortofosfato	4 80	20	4 8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000 - 10000	3000	200 -1000
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5
Dureza total como CaCO	300 - 10000	3500	200 - 500
Calcio	200 - 3000	1000	100 - 400
Magnesio	50 - 1500	250	50 - 200
Potasio	200 - 1000	300	50 - 400
Sodio	200 - 2500	500	100 - 200
Cloro	200 - 3000	500	100 - 400
Sulfatos	50 - 1000	300	20 - 50
Hierro total	50 - 1200	60	20 - 200

En los lixiviados existen diferentes parámetros a medir para su muestreo. Se pueden clasificar en parámetros físicos, constituyentes orgánicos, constituyentes inorgánicos y biológicos.

- **Físicos:** Aspecto, pH, potencial de reducción rédox, Conductividad, Color, Turbidez, Temperatura, Olor.
- **Orgánicos:** Químicos orgánicos, Fenoles, Demanda química de oxígeno (DQO), Carbono orgánico total (COT), Ácidos volátiles, N-Orgánico, Hidrocarburos clorados, etc.
- **Inorgánicos:** Sólidos en suspensión (SS), Sólidos totales disueltos (STD), Sólidos suspendidos volátiles (SSV), Sólidos disueltos volátiles (SDV), Cloruros, Sulfatos, Fosfatos, Alcalinidad y acidez, N-Nitrato, N-Nitrito, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Metales pesados, Flúor, Selenio.
- **Biológicos:** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Bacterias coliformes (total, fecal), etc.

La producción de lixiviados comienza poco después del proceso de vertido de residuos en el relleno sanitario y puede continuar por largos períodos. La influencia más significativa sobre la cantidad de lixiviados es la cantidad de lluvia, que variará según la estación.

La cantidad de lixiviado que genera un vertedero se puede determinar mediante un balance hídrico. De esta forma, el volumen de líquido percolado se puede estimar mediante los siguientes factores (Jaramillo, 2002):

- Precipitación pluvial en el área del relleno
- Evaporación (evapotranspiración),
- Escurrimiento superficial y/o infiltración subterránea
- Humedad natural de los residuos sólidos
- Grado de compactación
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los residuos sólidos para retener humedad).

En la Figura 3.6 se encuentra el balance hídrico de los componentes de los lixiviados. Cada uno de los elementos de este balance, se presentan en la Ecuación 3.1.

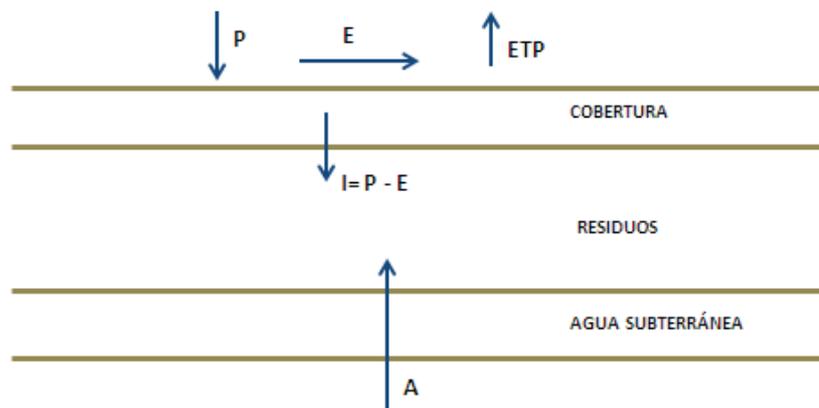


Figura 3.6: Balance hídrico

FUENTE: Universidad Nacional de San Martín, 2017

$$\text{Lixiviados} = P + A + Cr + Dr - (E + ETP + Rs + Rr) \text{ Ecuación 3.1}$$

donde:

- P: precipitación pluvial
- E: escurrimiento superficial
- ETP: evapotranspiración
- I: infiltración

Además debe considerarse:

- A: Ascenso capilar desde napa subterránea
- Dr: agua formada en la descomposición de los residuos
- Cr: agua contenida en los residuos
- Rs: agua retenida en el suelo
- Rr: agua retenida en los residuos

Cualquier infiltración del lixiviado, implica riesgo a cualquier agua superficial o subterránea que se encuentre a su alcance, principalmente por el alto contenido de materia orgánica.

Es por este motivo que los sistemas de recolección de lixiviados consisten normalmente en una red de tuberías perforadas, desde donde el lixiviado puede drenarse por gravedad o bombearse a una planta de tratamiento de lixiviados.

El tratamiento de lixiviados puede llevarse a cabo dentro o fuera del sitio de disposición final por métodos biológicos, químicos o físicos. Uno de los métodos más comunes de tratamiento de lixiviados es el uso de lagunas aireadas (McDougall, 2001).

3.3 Tratamiento biológico: Compostaje

El compostaje es uno de los elementos de la Gestión Integral de Residuos Sólidos que puede aplicarse a residuos orgánicos como residuos de alimentos, restos provenientes de la poda, limpieza de jardines y espacios verdes.

El compost se define como el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. Según la Resolución 1/19 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y SENASA, es un producto higienizado, estable y maduro que resulta del proceso de compostaje.

El proceso de compostaje controla los fenómenos de descomposición aeróbica, para asegurar la conversión de residuos orgánicos a materia orgánica estabilizada. En esta técnica, parámetros como la temperatura, humedad, aireación, nutrientes, relación C/N y pH son de gran importancia.

3.3.1 Ventajas y desventajas ambientales y económicas del compostaje

Las principales ventajas del compostaje son:

- Fácil implementación
- Permite extender la vida útil del relleno sanitario municipal al disminuir los residuos orgánicos dispuestos en él.
- Recupera y reutiliza residuos orgánicos
- Tiene bajo costo de operación y mantenimiento.
- El compost puede ser comercializado
- Tiene bajo impacto ambiental.
- Disminuye la generación de lixiviados en el relleno y, por lo tanto, los costos de tratamiento de éstos.

- Disminuye la generación de biogás reduciendo el impacto generado por los gases de efecto invernadero y los costos de captación y tratamiento de gases.

Asimismo, el compost genera ciertos beneficios:

- *Mejora las propiedades físicas del suelo*
- *Mejora las propiedades químicas:* Aporta macronutrientes y micronutrientes.
- *Mejora la actividad biológica del suelo:* Actúa como fuente de energía y nutrientes para los microorganismos presentes en el suelo.

En cuanto a las desventajas:

- En caso de no airearse correctamente puede producirse una descomposición anaeróbica, la cual genera malos olores.
- La calidad del producto es muy variada y dependerá del tipo de residuos que reciba.
- No es un sistema de tratamiento final.
- Necesita de un riguroso control de producción.
- Posible presencia de metales pesados.
- Necesita de un sistema alternativo para cuando haya averías o paradas técnicas.

3.3.2 Parámetros de control durante el compostaje

3.3.2.1 Humedad

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad es menor al 45%, disminuye la actividad microbiana. En cambio, si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material (Román et.al, 2013). En estas condiciones se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso. El exceso de humedad se corrige con el incremento de la aireación y su defecto mediante el riego o incorporación de agua (Álvarez de la Puente, 2007).

3.3.2.2 Aireación

El objetivo de la aireación es proporcionar suficiente oxígeno a la degradación y evitar de esta forma la proliferación de malos olores y la reducción de velocidad en el proceso de compostaje. Ésta puede llevarse a cabo por convección natural o forzada.

Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. La saturación de oxígeno en el medio no debe ser menor del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación,

haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis (Román et.al, 2013).

3.3.2.3 Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede ascender hasta los 60 o 65°C a los pocos días de hacer la pila, siempre y cuando la relación C/N y la humedad sean las adecuadas. Luego en la fase de maduración, alcanza nuevamente la temperatura ambiente (Román et.al, 2013).

3.3.2.4 pH

Este parámetro permite evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. El valor del pH, depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso compostaje. El pH inicial se encuentra normalmente entre 5 y 7. En los primeros días, el pH disminuye a 5 o menos, debido a la presencia de ácidos orgánicos simples, y la temperatura sube debido a la producción de organismos mesófilos. Después de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termófila y el pH comienza a ascender hasta aproximadamente a 8 a 8,5 debido a la conversión del amonio en amoniaco, alcalinizando el medio durante el resto del proceso aeróbico. En la fase de maduración, el pH llega a un valor de entre 7 a 8 en el compost (INTEC, 1999).

3.3.2.5 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N es determinante para la formación de compost, ya que el carbono es fuente de energía y, el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento celular de los microorganismos.

La relación C/N de partida debe oscilar entre 25 y 35 ya que los microorganismos utilizan 30 partes de C por cada parte de N. Si la relación es mayor a 35 no existe suficiente nitrógeno para el crecimiento microbiano por lo cual disminuirá la actividad biológica y por ende se retrasará el proceso. En cambio, si es menor a 25 el nitrógeno se encontrará en exceso por lo que puede perderse como amoníaco, y producir un olor desagradable (O’Ryan et.al, 2007).

En general, los materiales que son verdes y húmedos, como residuos de césped, plantas, restos de frutas y verduras, poseen alto contenidos de nitrógeno y por lo tanto, una relación C/N más baja. En cambio, una relación más alta la poseen aquellos que son de color marrón y secos, como hojas otoñales, chips de madera y aserrín debido a que contienen mayor cantidad de carbono (Richard, 1992).

3.3.2.6 Tamaño de partículas

La actividad de los microorganismos ocurre generalmente en la superficie de las partículas, por lo tanto, el tamaño de éstas debe ser pequeño, a fin de aumentar la superficie y favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición. El tamaño óptimo de partículas es de 2 a 5 cm. Además, mientras menor sea el tamaño de las partículas, la pila se tiende a compactar lo que produce una menor aireación y por ende una disminución de la actividad microbiana, retardando el proceso (O’Ryan et.al, 2007).

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³ (Román et.al, 2013).

3.3.3 Etapas del proceso de compostaje

En el proceso de compostaje, se destacan tres etapas: pre-tratamiento, tratamiento y post-tratamiento.

- **Etapas de pre-tratamiento:** Las operaciones de separación, reducción de tamaño o trituración, balance de nutrientes, mezcla y homogenización, se realizan antes de la conformación de las pilas y tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimizar el proceso. En la elaboración de la mezcla se deberá lograr una relación C/N, humedad, aireación, pH y tamaño de partícula dentro de valores favorables para iniciar la fase de tratamiento.
- **Etapas de tratamiento:** Se produce la fase de descomposición y maduración del compost. Además, se realiza un control riguroso de los parámetros antes mencionados.

En el caso de que se generen lixiviados, los mismos deben ser gestionados correctamente durante todo el tratamiento.

Según la Resolución 1/19, durante el tratamiento del compost se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos que actúa en cada fase.

3.3.3.1 Etapa mesófila

Fase del proceso de compostaje en la que se alcanzan temperaturas entre 10°C y 45°C. Se produce una degradación de azúcares y aminoácidos por la acción de grupos de bacterias que disminuyen el pH. La duración de esta etapa es de entre dos y ocho días aproximadamente. Este tiempo depende de diversos factores como oxígeno, humedad, relación C/N y tipo de residuos utilizados.

3.3.3.2 Etapa termófila o de higienización

Fase en la que se alcanzan temperaturas mayores a 45°C. Hongos del grupo de los actinomicetos degradan ceras, polímeros y hemicelulosa. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, entre otros factores.

Durante esta etapa se eliminan bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Estas dos primeras etapas en conjunto, forman lo que se denomina Fase de descomposición o fermentación del compost. Esta fase se caracteriza por la reducción del peso y del volumen (el material original se reduce en aproximadamente un 50%), la estabilización parcial y la higienización del material, gracias al mantenimiento de un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos.

3.3.3.3 Fase de maduración o segunda etapa mesófila

Fase del proceso de compostaje durante la cual la temperatura desciende hasta valores similares a la ambiental y el pH tiende a la neutralidad. Se produce la degradación de las celulosas y ligninas por bacterias y hongos. Durante esta etapa el producto se estabiliza y madura y puede tener una duración de meses.

- **Etapa de post-tratamiento:** Conjunto de operaciones que, opcional o necesariamente, deben llevarse a cabo una vez finalizada la etapa de maduración, con los siguientes objetivos:
 - a) Separar las impurezas del compost, en caso de que lo contenga, e introducirlas nuevamente al inicio del proceso de compostaje.
 - b) Obtener un compost de una granulometría determinada (proceso de cribado).
 - c) Obtener unos productos para comercializar con unas características químicas, físicas y biológicas específicas, en donde se controlan elementos potencialmente tóxicos como los metales pesados y nivel de patógenos.

3.3.4 Límites y Parámetros de Calidad del Compost según Res. 1/19

La Resolución establece ciertos parámetros de calidad a partir de los cuales se diferencian dos clases de compost, A y B, con o sin restricciones de uso, basados en la presencia de patógenos y metales pesados. El compost clase A establece criterios más rigurosos en comparación con la clase B (Tabla III. III)

Asimismo, en la Tabla III.IV se establecen los procesos a tener en cuenta para disminuir el nivel de patógenos en el compost y los límites establecidos.

Tabla III. III: Parámetros de calidad del compost

FUENTE: Resolución 1/19 de Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y SENASA.

Parámetros de calidad		
Parámetros	Compost Clase A	Compost Clase B
PH	5,0 - 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (%)	< 60	
Conductividad CE ds/m	< 4	< 6
Relación C/N	≤ 20	< 30
Materia orgánica (%MO)	≥ 20	
Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg Materia seca)		
Cadmio	1,5	3
Cobre	150	450
Cromo total	100	270
Mercurio	0,7	5
Niquel	30	120
Plomo	100	150
Zinc	300	1100
Arsénico	15	30

Tabla III. IV: Nivel de patógenos

FUENTE: Resolución 1/19 de Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y SENASA.

Nivel de patógenos		
Parámetro	Proceso	Valor límite
<i>I. Coliformes fecales</i>	Sistemas abiertos ≥ 55°C, 15 días con al menos 5 volteos	< 1000 NMP/g compost, en base seca
<i>II. Salmonella sp</i>	≥ 55°C, 3 días consecutivos con cobertura que asegure temperatura en la superficie de la pila	< 1 NMP/ 4g de compost en base seca
<i>III. Ascaris lumbricoides</i>	Sistemas cerrados ≥60°, 7 días	< 1 huevo viable de <i>Ascaris</i> en 4g de compost en base seca
<p>NMP: Número más probable</p> <p>Para los compost donde se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I) ó con II) y no se exige III)</p> <p>Para el caso de los compost donde no se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I), II) y III)</p>		

3.3.5 Técnicas de compostaje

Existen diversas técnicas de compostaje que se ajustan a distintas necesidades como:

- Cantidad y tipo de material a procesar
- Disponibilidad de terreno
- Inversión disponible
- Tiempo de proceso
- Seguridad higiénica requerida.
- Condiciones climáticas del lugar

Generalmente, los distintos sistemas están determinados por los mecanismos de aireación que se utilizan en el proceso y se pueden clasificar en aireación pasiva, forzada y por volteos (INTEC, 1999).

Los métodos utilizados se pueden clasificar en dos grupos (Figura 3.7):

Sistemas abiertos Sistemas tradicionales de compostaje. Los residuos orgánicos a compostar se disponen en pilas o hileras de forma abierta o en infraestructuras cubiertas. La aireación de la masa se realiza de forma natural, por volteo (manual o mecánico) o mediante ventilación forzada. La altura de las pilas varía según las características del material y del equipo para la mezcla.

Sistemas cerrados: Sistemas desarrollados para reducir considerablemente la superficie de compostaje y permite controlar los parámetros de descomposición y los olores de forma más adecuada. Comúnmente se utiliza la ventilación forzada. En estos sistemas, la fase de descomposición se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales. La fase de maduración en algunos casos se produce al aire libre.



Figura 3.7: Sistemas de compostaje

FUENTE: *Elaboración personal*

CAPÍTULO IV

MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se presentan las alternativas técnicas adoptadas en el proyecto. Asimismo, se describe el sistema de generación, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos.

4.1 Alternativas propuestas

La Cámara Argentina de la Construcción en su Área de Pensamiento Estratégico, elaboró en agosto de 2015, un: “*Estudio de estrategia y factibilidad de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la República Argentina*”. En él, expuso el tipo de Gestión de RSU necesario para un rango determinado de Población en un Municipio o Departamento (Tabla IV.I).

Tabla IV. I: Tipos de Gestión de RSU Propuestos según Rangos Poblacionales
FUENTE: *Estudio de estrategia y factibilidad de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la República Argentina, 2015.*

Tipos de Gestión de RSU Propuestos según Rangos Poblacionales	
Rango de Población por Partido/Departamento	Tipos de Tratamientos Propuestos
Mayor a 500 mil Habitantes	a) Relleno sanitario
	b) Reciclaje + Relleno Sanitario
	c) MBT + Relleno Sanitario
	d) Incineración + Relleno Sanitario
	e) MBT + Incineración + Relleno Sanitario
Entre 200 a 500 mil Habitantes	a) Relleno sanitario
	b) Reciclaje + Relleno Sanitario
	c) Reciclaje + MBT + Relleno Sanitario
	d) Reciclaje + MBT + Incineración + Relleno Sanitario
Entre 100 a 200 mil Habitantes	a) Relleno sanitario
	b) Reciclaje + Relleno Sanitario
	c) Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario
	d) Reciclaje + Compostaje + Incineración + Relleno Sanitario
Entre 100 y 10mil Habitantes	a) Relleno sanitario
	b) Reciclaje + Relleno Sanitario
	c) Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario
Menor a 10 mil Habitantes	a) Relleno sanitario manual
	b) Reciclaje + Relleno Sanitario manual
	c) Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario manual

A partir de la Tabla IV.I podemos señalar que para el caso de Villa María que tiene aproximadamente entre 100 a 200 mil habitantes corresponderían las siguientes opciones:

- a) Relleno sanitario
- b) Reciclaje + Relleno Sanitario
- c) Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario
- d) Reciclaje + Compostaje + Incineración + Relleno Sanitario

Las opciones elegidas en un primer momento son la b. (sin compostaje) y la c. (con compostaje). El reciclaje aparece en ambas debido a que actualmente en Villa María se realiza la recolección diferenciada utilizada para obtener materiales reutilizables y reciclables. Se pretende extender esta política pública a otros barrios que no cuentan con este servicio.

Por lo tanto, para el tratamiento de residuos de Villa María se plantean dos alternativas:

- **Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario**
- **Reciclaje + Relleno Sanitario**

En los siguientes apartados de este capítulo se detallan ambas opciones en función de sus procesos y costos que justifican su selección como alternativas.

Es importante destacar además que debido a que el número de habitantes a los cuales se les prestará el servicio de Higiene Urbana es mayor al número actual, será necesario una readecuación de la Planta de Separación y Clasificación manual de la Cooperativa *7 de Febrero* a una Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada, disminuyendo así los costos de personal involucrado.

4.1.1 Alternativa 1: Con compostaje

Esta alternativa permitirá compostar residuos orgánicos provenientes de la poda y limpieza de jardines y espacios verdes (REV). Los mismos requieren un pretratamiento a través del triturado para alcanzar un tamaño de partículas óptimo para el compostaje. Luego, serán dispuestos en pilas de compostaje con volteo mecánico para su tratamiento aeróbico.

En este método se amontona el material, se mezcla y voltea periódicamente. El objetivo del volteo es homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad e incorporar oxígeno.

El tamaño de una pila es definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. La altura óptima es de 1,5m para facilitar las tareas de volteo, el ancho suele ser el doble de la altura y la longitud es variable (Figura 4.1). Si las pilas son más altas que 1,5 m, la aireación natural no se produce y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas (Röben, 2002). Asimismo, si las pilas son demasiado pequeñas no se mantendrá la temperatura adecuada para el proceso. La sección tiende

a ser trapezoidal o triangular, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua.

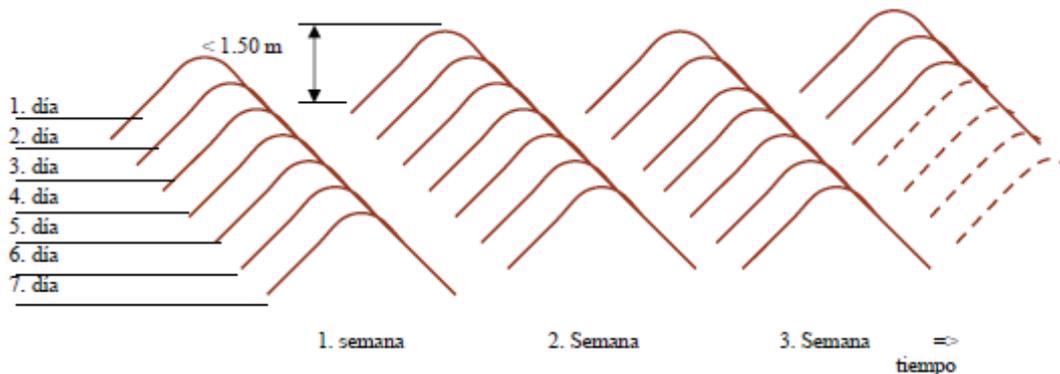


Figura 4.1: Compostaje en pilas de volteo con aireación natural
FUENTE: Röben, 2002

Durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO_2 (Román et.al, 2013).

Las pilas son ventiladas por convección natural. La frecuencia del volteo depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla, siendo habitual realizar un volteo semanal durante el primer mes y luego un volteo quincenal los próximos meses. Estos sirven para airear y homogenizar la mezcla y la temperatura, ya que después de cada volteo la temperatura desciende en el orden de 5 o 10°C . La mezcla del material se puede hacer manualmente con palas.

La biodegradación principal ocurre durante los primeros tres meses del proceso, período en el cual el compost debe ser humedecido. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, bacterias patógenas u otros materiales nocivos.

El equipo usado para el volteo determina el tamaño del área de compostaje, la separación entre hileras y tamaño de pilas. Los cargadores frontales se utilizan cuando el volumen del material es relativamente pequeño, pero necesita de gran espacio entre las pilas para maniobrar. Las volteadoras, en cambio permiten mover gran cantidad de material y son utilizadas cuando el volumen de residuos es bastante grande, además necesita de un menor espacio entre hileras ya que trabajan sobre la pila (EPA, 1994). En este caso, se utilizarán volteadoras.

El diagrama del proceso completo de esta alternativa (Planta de Separación y Clasificación + Compostaje + Relleno Sanitario) se muestra en la Figura 4.2. La descripción de la Planta de la Separación y Clasificación será desarrollada en el

apartado 4.2.5 de este capítulo. Del mismo modo, el diseño del relleno sanitario se encuentra en el apartado 5.2 del capítulo siguiente.

El compost obtenido en las pilas de volteo será utilizado en un primer momento en el Complejo Ambiental y posteriormente, será comercializado.

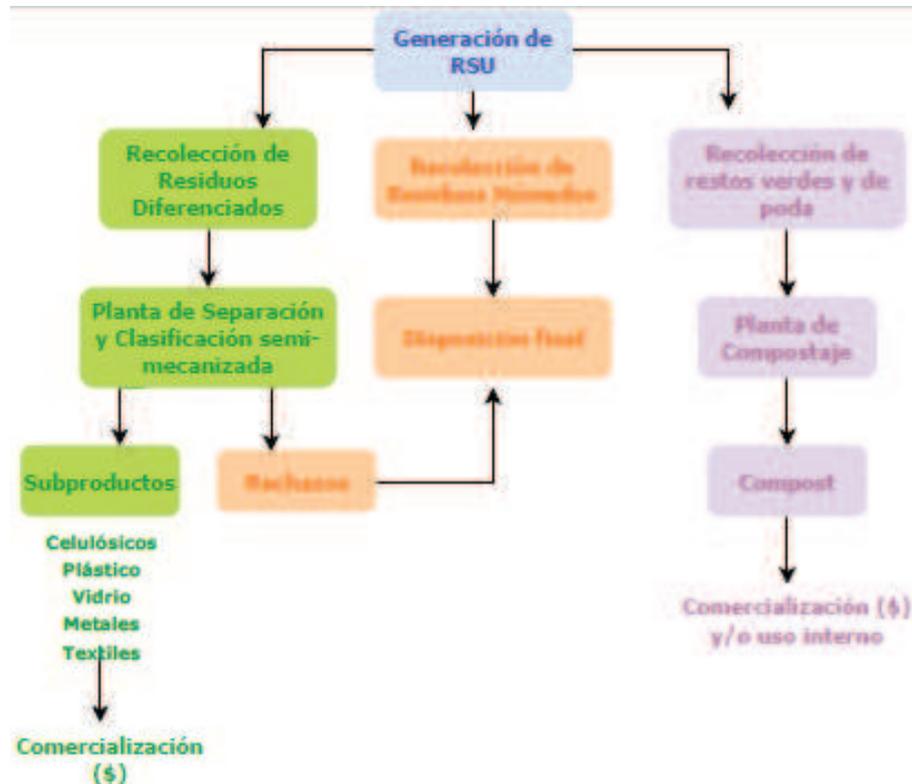


Figura 4.2: Alternativa 1- Planta de Separación y Clasificación + Compostaje + Relleno Sanitario

FUENTE: *Elaboración personal.*

4.1.2 Alternativa 2: Sin compostaje

El diagrama del proceso completo de esta alternativa (Planta de Separación y Clasificación + Relleno Sanitario) se muestra en la Figura 4.3.

En este caso, los restos verdes y de poda -que representan el 19,8% del total de los RSU en Villa María- son llevados al predio de disposición final en donde son apilados y posteriormente dispuestos en el relleno sanitario como sucede en la actualidad.

Al recibir mayor cantidad de residuos por día, el vertedero disminuye su capacidad más rápidamente.

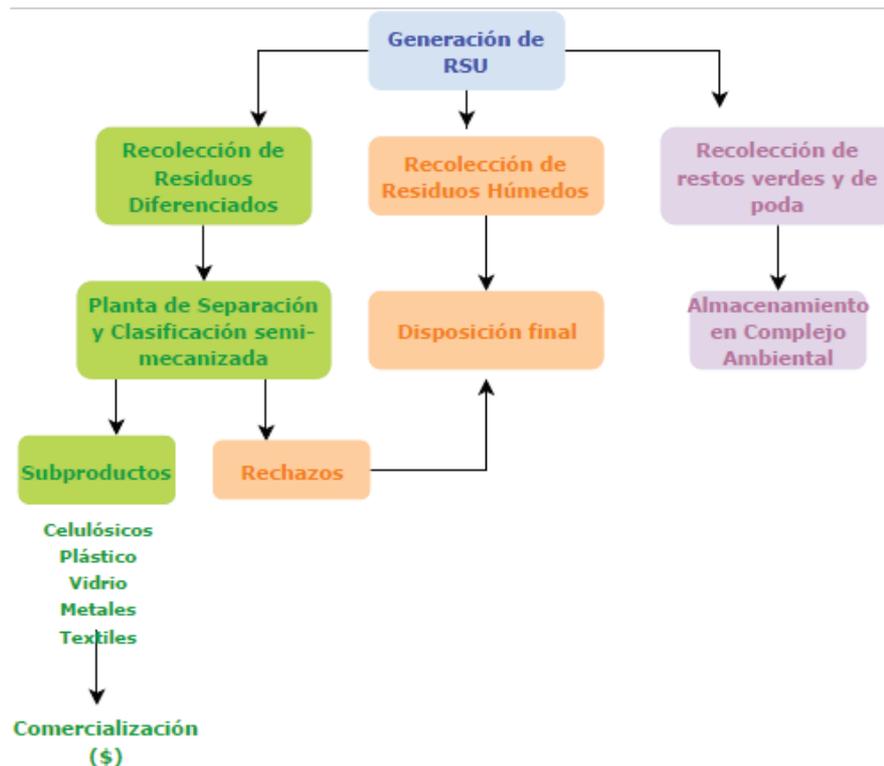


Figura 4.3: Alternativa 2- Planta de Separación y Clasificación + Relleno Sanitario
FUENTE: *Elaboración personal.*

4.1.3 Comparación entre ambas alternativas

Para comparar estas dos alternativas, los criterios que se tendrán en cuenta son:

- a) *Superficie requerida para la construcción y operación de la Planta de Compostaje vs Superficie requerida para disposición de restos verdes y de poda en relleno sanitario.*

La superficie requerida para la construcción y operación de la Planta de Compostaje (Ver apartado 5.1.2) es de 0,9 ha en 2045, mientras que la superficie necesaria si se dispone en relleno sanitario sería de 8,04 ha (para un ingreso semanal de 69,52 ton en 2020 y 94,72 ton en 2045).

- b) *Costos de inversión inicial de equipos para Planta de Compostaje*

Los equipos de compostaje necesarios tienen un costo de aproximadamente 1.600.000\$ neto que incluye la trituradora de restos de poda, la volteadora y el trómel para limpieza del compost.

- c) *Costo por tonelada de restos verdes a compostar vs Costo por tonelada dispuesta de restos verdes en relleno sanitario.*

Según el CEAMSE, a febrero de 2019, el costo por tonelada de restos verdes a compostar es de 1080\$ y el de disposición final por tonelada es de 1087\$.

Si bien los costos por tonelada son muy similares, al cabo de un año de operación el costo de restos verdes para compost es aproximadamente 25.385 \$ más bajo que en el

caso de disposición final. Al cabo de los 25 años de operación, el costo difiere en aproximadamente 800.000 \$.

- d) Ingreso por comercialización del compost. El ingreso por tonelada de compost es de 9 dólares (valor estimado a 2017), lo que corresponde a 405 \$.

Otro criterio posible de comparar son los honorarios de los trabajadores, que en esta decisión no serán tenidos en cuenta, pero sí serán contabilizados en el Capítulo de Cómputo y presupuesto.

Por otro lado, para realizar una planificación estratégica del proyecto, es necesario analizar las fortalezas y debilidades intrínsecas que posee el mismo, así como también las potenciales, a partir de las oportunidades y amenazas presentes, definidas por el contexto en el que se enmarca.

A continuación, se presenta el Análisis FODA asociado al proyecto para la implementación de la planta de compostaje (Tabla IV.II).

Tabla IV.II: Análisis FODA para Alternativa de Separación y Clasificación + Compostaje + Relleno Sanitario

FUENTE: *Elaboración propia*

Alternativa 1: Con Compostaje	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
	Posibilidad de extender la vida útil del relleno sanitario municipal al disminuir los residuos orgánicos dispuestos en él.	Existe normativa nacional reciente para el correcto manejo de las PdC
	Fácil implementación	
	Bajo costo de operación y mantenimiento	
	Posibilidad de comercialización	
	Disminución de la generación de gases y lixiviados en el relleno	
	DEBILIDADES	AMENAZAS
	No es un sistema de disposición final	Exceso de lluvias o sequías dificultan la generación de compost
	Calidad del compost es variable	Falta de personal capacitado en PdC
	Malos olores si no hay buena aireación	
	Para fines comerciales, necesita un riguroso control de producción	
	Necesidad de terreno disponible dentro del Complejo Ambiental	

La principal fortaleza de la PdC es la posibilidad de gestionar los residuos verdes y de poda, con otro fin que no sea el relleno sanitario, disminuyendo los lixiviados y los gases producidos.

Esta disminución en la generación de gases y lixiviados reduce los costos de tratamiento de los mismos.

4.2 Memoria descriptiva

La gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Villa María será desarrollada a continuación:

4.2.1 Generación de residuos en la Ciudad de Villa María

En la Tabla IV.III, se muestran los habitantes en los años 1991, 2001 y 2010 según el INDEC.

Tabla IV.III. Evolución demográfica de la Ciudad de Villa María en los últimos tres censos nacionales.

FUENTE: INDEC

Evolución demográfica del aglomerado según los últimos tres censos nacionales	
AÑO	Villa María
1991	64630
2001	72162
2010	79946

Para calcular la cantidad de residuos sólidos a disponer en Villa María con una proyección de 25 años se utiliza como metodología de proyección las Tasas de crecimiento medio anual decrecientes. Se toma como población base la del año 2020, año en el cual se enviarán al relleno sanitario los residuos de Villa María. Por tal motivo, se realizará una proyección para el año 2045.

En primer lugar, se deben analizar las tasas medias anuales de los dos últimos períodos intercensales, donde se toma como punto de partida los valores extraídos de los tres últimos censos del INDEC.

Se determinó la tasa media de crecimiento anual durante el período de “n” años, i , donde P_1 es la población al comienzo del período y P_2 la población al final del período. Además, n es la duración del periodo de tiempo en años (Ecuación 4.1)

$$i = \left(\sqrt[n]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Luego, se calculó la población según la Ecuación 4.2, donde P_n es la estimación de la población al año “n”, P_0 es la población base, i es la tasa media anual de proyección y n es el número de años transcurridos entre la población base y el año de proyección.

$$P_n = P_0(1 + i)^n \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Para definir la tasa con que se proyectará en cada período se comparan tasas i_1 e i_2

- Si $i_2 > i_1$ se toma el promedio de ambas
- Si $i_2 < i_1$ se adopta el valor de la tasa i_2

Entonces, para el período de 1991 a 2001, se utilizó la Ecuación 4.1:

$$i_1 = \sqrt[10]{\frac{88643}{78520}} - 1 = 0,0122$$

Lo mismo se realiza para el período comprendido entre los años 2001 y 2010:

$$i_2 = \sqrt[9]{\frac{99308}{88643}} - 1 = 0,0127$$

Debido a que i_2 es mayor a i_1 se toma el promedio de ambas $\rightarrow i_3 = 0,01245$

Para calcular el valor de la población base (2020) se realizó una proyección utilizando la Ecuación 4.2:

$$P_{2020} = P_{2010} (1 + i_3)^1$$

Conociendo los diferentes valores de población a lo largo de los años, se puede calcular la cantidad de residuos sólidos a disponer en Villa María, siendo la tasa de generación de residuos de 1,011 kg/hab/día (Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, 2016). Las ecuaciones mencionadas anteriormente serán utilizadas en los siguientes apartados.

4.2.2 Recolección de Residuos Húmedos

La recolección de residuos húmedos se ejecuta de forma manual por el sistema puerta a puerta. La metodología de recolección manual es aquella en la que los residuos son recolectados y cargados dentro del camión recolector y transportados hacia el sitio de disposición final.

4.2.2.1 Sectorización

En un primer momento, para realizar el diseño de la ruta de recolección de Residuos Húmedos de la Ciudad de Villa María, se dividió la misma en 5 zonas o sectores operativos, de manera que cada uno tenga los vehículos de recolección requeridos (Figura 4.4).

Para llevar a cabo el trabajo de sectorización se necesitan los siguientes datos (Sakurai, 1980):

- a) Área de cada zona a servir
- b) Densidad de población de cada zona
- c) Índice de producción de basura per cápita (PPC)

- d) Equipo de recolección disponible
- e) Densidad de basura en el camión recolector
- f) Frecuencia de recolección
- g) Número de viajes factibles de realizar por camión durante la jornada normal de trabajo.

Los diferentes sectores de esta Ciudad, definidos a partir de límites físicos naturales y/o artificiales, son detallados a continuación:

ZONA OESTE (en violeta): B° Roque Sáenz Peña, B° General Roca, B° Almirante Brown, B° Manuel Belgrano, B° Ramón Carrillo, B° Trinitarios, B° Parque Norte, B° Carlos Pellegrini y B° Felipe Neri Botta.

ZONA NORTE (en celeste): B° Florentino Ameghino, B° General Lamadrid, B° Nicolás Avellaneda, B° General San Martín, B° San Nicolás, B° Malvinas Argentinas.

ZONA CENTRO (en amarillo): B° Centro Norte, B° Centro Este, B° Centro Oeste, B° Centro Sur.

ZONA 4 ESTE (en naranja): B° Bello Horizonte, B° Los Olmos, B° San Juan Bautista, B° San Justo, B° Industrial, B° Eva Perón, B° Las Playas, B° Bernardino Rivadavia, B° Domingo F. Sarmiento, B° Santa Ana, B° Barrancas del Río, B° Villa del Sur.

ZONA SUR (en verde): B° Vista Verde, B° Mariano Moreno, B° Palermo, B° General Güemes, B° General Paz, B° Las Acacias.

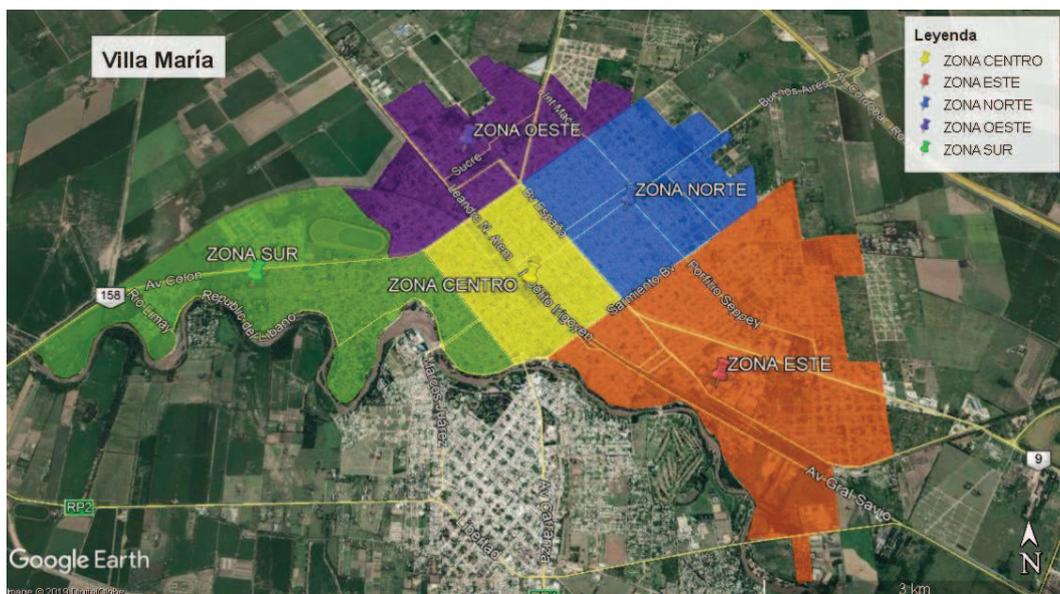


Figura 4.4: Sectorización de Villa María para Recolección de Residuos Húmedos
FUENTE: Google Earth.

El área total a servir es de 1794ha. Asimismo, el índice de producción de residuos per cápita es de 1,011 kg/hab/día.

Los camiones compactadores elegidos poseen una caja recolectora y compactadora de 12m³ con una capacidad de compactación de 550 kg/m³ (*Modelo CS6* marca *Scorza*). Teniendo en cuenta estos dos últimos datos cada camión podría transportar hasta 6,6 ton de residuos por viaje (Figura 4.5).



Figura 4.5: Camión compactador de Residuos Húmedos COTRECO.
FUENTE: COTRECO, 2018.

Fontán (2017), subgerente de transferencia y transporte del CEAMSE, afirma que el rendimiento del camión recolector es de 1,67 ton/hombre. Teniendo en cuenta que un camión recolector generalmente tiene una tripulación de tres personas (un chofer y dos cargadores), la carga promedio de residuos por camión es de 5,01 ton/viaje.

Asimismo, hace referencia a que el tiempo total del ciclo del vehículo recolector es de 6hs en las cuales dos horas y media dedica a la recolección y transporte al sitio de disposición final y media hora a la descarga de desechos (realizando así dos viajes por camión en una jornada laboral).

Teniendo en cuenta esto último se dividió a las zonas en subsectores que contemplan el diseño del recorrido específico (o microrutas) que deben realizar los vehículos recolectores en cada lugar.

La frecuencia de recolección de Residuos Húmedos en zonas comerciales (Zona Centro) y residenciales con alta densidad de población será de seis días a la semana (lunes a sábado). En aquellos subsectores con baja densidad de población la frecuencia será de cuatro veces a la semana (lunes, miércoles, viernes y sábados). Además, la recolección será diurna (de 6 a 14 hs en las Zonas Centro y Este) y nocturna (de 19 a 3hs en las Zonas Norte, Oeste y Sur).

Para obtener el cálculo del ton/día que tiene podrá transportar el camión por viaje, teniendo como limitante las 5 ton, se utilizó la Ecuación 4.3:

$$\frac{\text{ton}}{\text{día.viaje}} = \frac{\text{días de generación}}{\text{días de recolección}} * \text{ha por SS} * \rho \text{ poblacional} \left(\frac{\text{hab}}{\text{ha}} \right) * \text{PPC} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \right) \text{ Ecuación 4.3}$$

donde:

- **días de generación:** 7 días
- **días de recolección:** 6 días (alta densidad poblacional) o 4 días (baja densidad poblacional)
- **ha por SS:** hectáreas a servir por subsector, según corresponda
- **ρ poblacional:** densidad poblacional por subsector, según corresponda.
- **PPC:** producción per cápita= 1,011 kg/hab/día.

El factor de capacidad o eficiencia de cada uno de estos viajes se calcula utilizando la Ecuación 4.4:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{carga por viaje}}{\text{capacidad de recolección por viaje}} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Aquellos subsectores que tienen un factor de capacidad menor a 40%, se consideraron como lugares con baja densidad poblacional (SS1 y SS3 del Sector Sur y SS2, SS4, SS8, SS9, SS10 y SS11 del Sector Este).

La diagramación de estos subsectores, se muestra en las Tablas IV. IV a IV.VIII y Figuras 4.6 a 4.10.

Tabla IV. IV: Zona Centro de Villa María y sus cuatro subsectores
FUENTE: *Elaboración personal.*

	SUBSECTOR	Superficie ha	Densidad poblacional hab/ha	Frecuencia de recolección días/sem	ton/día a recolectar por camión en cada Subsector	Factor de capacidad
ZONA CENTRO	SS1	61,4	60	6	4,3	65,7
	SS2	58,2	56		3,9	58,5
	SS3	66	49		3,8	57,9
	SS4	63,8	46		3,5	52,5



Figura 4.6: Zona Centro de Villa María y sus cuatro subsectores
FUENTE: Google Earth

Tabla IV.V. Zona Norte de Villa María y sus siete subsectores
FUENTE: Elaboración personal.

	SUBSECTOR	Superficie ha	Densidad poblacional hab/ha	Frecuencia de recolección días/sem	ton/día a recolectar por camión en cada Subsector	Factor de capacidad
ZONA NORTE	SS1	46,4	66	6	3,6	55,0
	SS2	63	67		5,0	75,4
	SS3	71	42		3,5	53,6
	SS4	56,8	62		4,2	63,2
	SS5	49,3	76		4,4	66,9
	SS6	45,3	59		3,1	47,4
	SS7	36,8	72		3,1	47,4

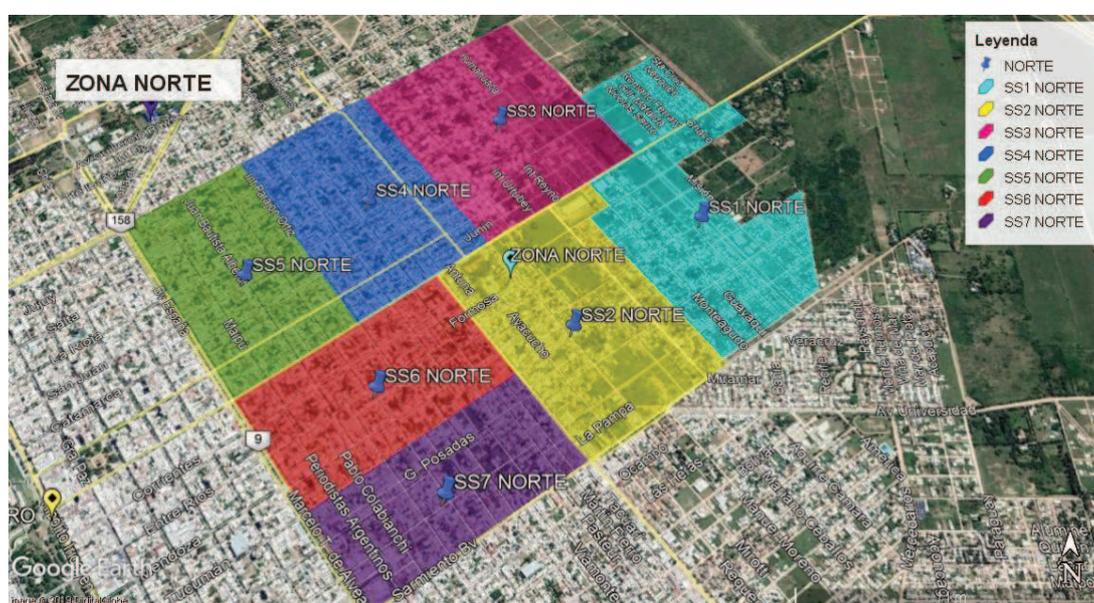


Figura 4.7: Zona Norte de Villa María y sus siete subsectores
FUENTE: Google Earth

Tabla IV.VI. Zona Oeste de Villa María y sus seis subsectores
FUENTE: Elaboración personal.

	SUBSECTOR	Superficie ha	Densidad poblacional hab/ha	Frecuencia de recolección días/sem	ton/día a recolectar por camión en cada Subsector	Factor de capacidad
ZONA OESTE	SS1	53,0	71	6	4,5	67,5
	SS2	54,3	57		3,6	55,1
	SS3	61,1	45		3,3	49,3
	SS4	61,5	43		3,1	47,0
	SS5	48,8	43		2,5	37,6
	SS6	45,0	48		2,6	38,9



Figura 4.8: Zona Oeste de Villa María y sus seis subsectores
FUENTE: Google Earth

Tabla IV.VII. Zona Este de Villa María y sus once subsectores
FUENTE: Elaboración personal.

	SUBSECTOR	Superficie ha	Densidad poblacional hab/ha	Frecuencia de recolección días/sem	ton/día a recolectar por camión en cada Subsector	Factor de capacidad
ZONA ESTE	SS1	43,3	61	6	3,1	47,6
	SS2	63,2	37	4	4,2	63,0
	SS3	43,5	63	6	3,2	49,1
	SS4	67,4	23	4	2,7	41,1
	SS5	48,5	52	6	3,0	45,0
	SS6	36,8	79	6	3,4	52,1
	SS7	41,3	59	6	2,9	43,2
	SS8	63,2	42	4	4,7	71,2
	SS9	36,6	68	4	4,4	66,3
	SS10	52,9	28	4	2,6	39,9
	SS11	41,9	48	4	3,5	53,4

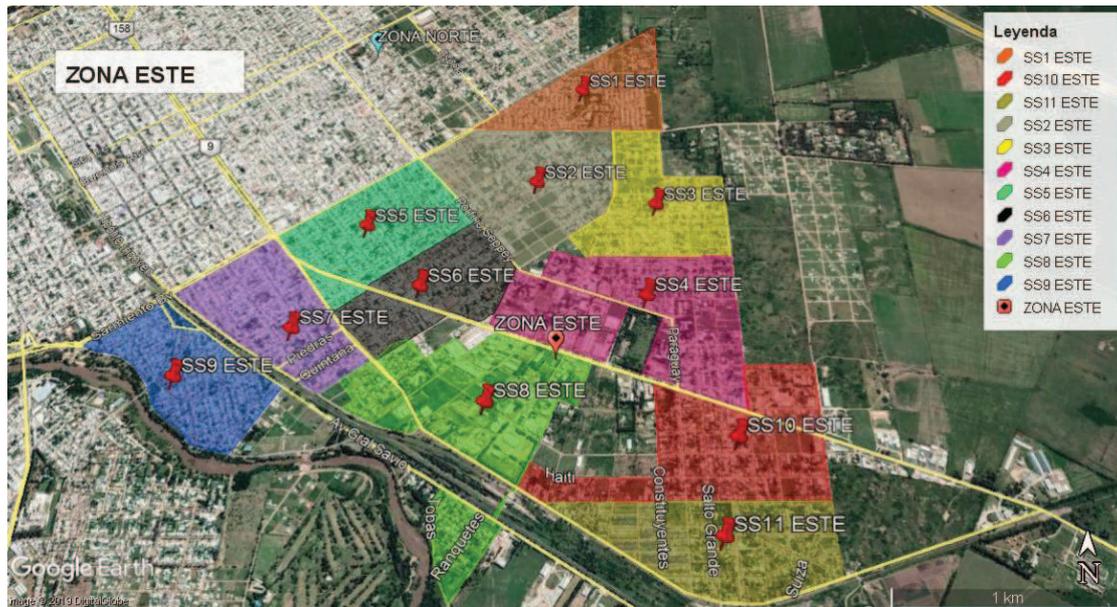


Figura 4.9: Zona Este de Villa María y sus once subsectores
FUENTE: Google Earth

Tabla IV. VIII: Zona Sur de Villa María y sus cinco subsectores
FUENTE: Elaboración personal.

	SUBSECTOR	Superficie ha	Densidad poblacional hab/ha	Frecuencia de recolección días/sem	ton/día a recolectar por camión en cada Subsector	Factor de capacidad
ZONA SUR	SS1	86,7	20	4	3,0	45,5
	SS2	70,6	42	6	3,5	53,6
	SS3	50,7	39	4	3,5	53,6
	SS4	56,2	48	6	3,2	48,4
	SS5	49,3	49	6	2,9	43,3



Figura 4.10: Zona Sur de Villa María y sus cinco subsectores
FUENTE: Google Earth

Teniendo en cuenta que Villa María contará con 33 subsectores para Recolección de Residuos Húmedos en dos turnos (diurno y nocturno) y que cada camión recolector puede realizar dos viajes por turno, serán necesarios 8 unidades durante el día y 9 unidades durante la noche. Asimismo, 2 camiones serán necesarios para back-up en caso de mantenimiento o roturas de los vehículos habituales de recolección, generando así un total de 11 camiones compactadores de residuos húmedos.

4.2.2.2 Diseño de las rutas de recolección de Residuos Húmedos en Villa María

Para el diseño de las rutas de recolección, se deben tener en cuenta ciertos criterios citados en Sakurai (1980) y Tchobanoglous (2002).

1. Siempre que sea posible, se deben trazar las rutas de manera que empiecen y terminen cerca de vías arterias, utilizando las barreras topográficas y físicas como límites de las rutas.
2. Dentro de lo posible, las rutas deberían iniciarse en los puntos más cercanos al garage, y conforme avanza el día, ir acercándose al lugar de disposición final con el propósito de disminuir el tiempo de acarreo.
3. Se deben minimizar el número de vueltas izquierdas y giros en U, con el propósito de evitar pérdidas de tiempo al cargar, reducir peligros a la tripulación y minimizar la obstaculización del tráfico.
4. Los desechos producidos en lugares congestionados por el tráfico se deben recolectar tan temprano como sea posible.
5. Las fuentes en las cuales se produzcan cantidades muy grandes de residuos deben ser atendidos durante la primera parte del día.
6. Los lugares dispersos de recolección donde se producen pequeñas cantidades de desechos sólidos que reciben la misma frecuencia de recolección deben, si es posible, ser atendidos durante un viaje en el mismo día.
7. Se deben evitar duplicaciones, repeticiones, fragmentaciones de recorrido y movimientos innecesarios.
8. Se debe tratar en lo posible de recolectar a ambos lados de la calle, contemplando las disposiciones de tránsito vigentes.
9. Las rutas con mucho tráfico no deben recorrerse en la hora de mayor tránsito

Rutas de recolección para cada zona

En la Figura 4.11 se muestra en forma genérica las diferentes rutas de recolección de Residuos Húmedos diseñadas para la Ciudad de Villa María. Luego, en las Figuras 4.12 a 4.16 se observan las rutas diseñadas para los subsectores de las diferentes zonas.

En cada subsector se muestra en color verde y rojo, el inicio y fin del recorrido, respectivamente.

En todos los casos, se priorizó que el final del recorrido se encuentre lo más cercano posible al Complejo Ambiental. Las distancias recorridas por cada subsector para la recolección de residuos y su transporte al Complejo Ambiental, se especifican en la Tabla IV. IX. Conocer estas distancias permite calcular el costo de combustible necesario para la recolección de residuos en el período deseado (Ver Capítulo 7).

Tabla IV. IX: Distancias recorridas en cada ruta de recolección
FUENTE: *Elaboración personal.*

	SUBSECTOR	RECORRIDO DE RECOLECCIÓN km	RECORRIDO A COMPLEJO AMBIENTAL km	RECORRIDO TOTAL/VIAJE
ZONA CENTRO	SS1	12,1	12,7	24,8
	SS2	11,8	12,2	24
	SS3	11,5	14,1	25,6
	SS4	11,0	12,9	23,9
ZONA NORTE	SS1	13,2	11,8	25
	SS2	10,2	11,1	21,3
	SS3	10,4	12,5	22,9
	SS4	10,4	12,8	23,2
	SS5	8,8	12,2	21,0
	SS6	7,4	11,7	19,1
	SS7	8,4	11,3	19,7
ZONA OESTE	SS1	9,1	14,5	23,6
	SS2	8,3	13,7	22,0
	SS3	11,9	14,0	25,9
	SS4	10,8	14,1	24,9
	SS5	8,3	13,2	21,5
	SS6	7,9	14,2	22,1
ZONA ESTE	SS1	8,9	10,6	19,5
	SS2	14,2	10,4	24,6
	SS3	8,7	9,5	18,2
	SS4	10,8	8,7	19,5
	SS5	12,0	10,6	22,6
	SS6	9,0	10,2	19,2
	SS7	8,1	10,8	18,9
	SS8	8,4	9,4	17,8
	SS9	9,5	11,4	20,9
	SS10	9,6	8,6	18,2
	SS11	8,5	8,6	17,1
ZONA SUR	SS1	13,0	16,2	29,2
	SS2	10,1	16,1	26,2
	SS3	7,5	15,0	22,5
	SS4	10,7	14,4	25,1
	SS5	7,3	13,3	20,6



Figura 4.12: Rutas de recolección para ZONA CENTRO
FUENTE: Google Earth.

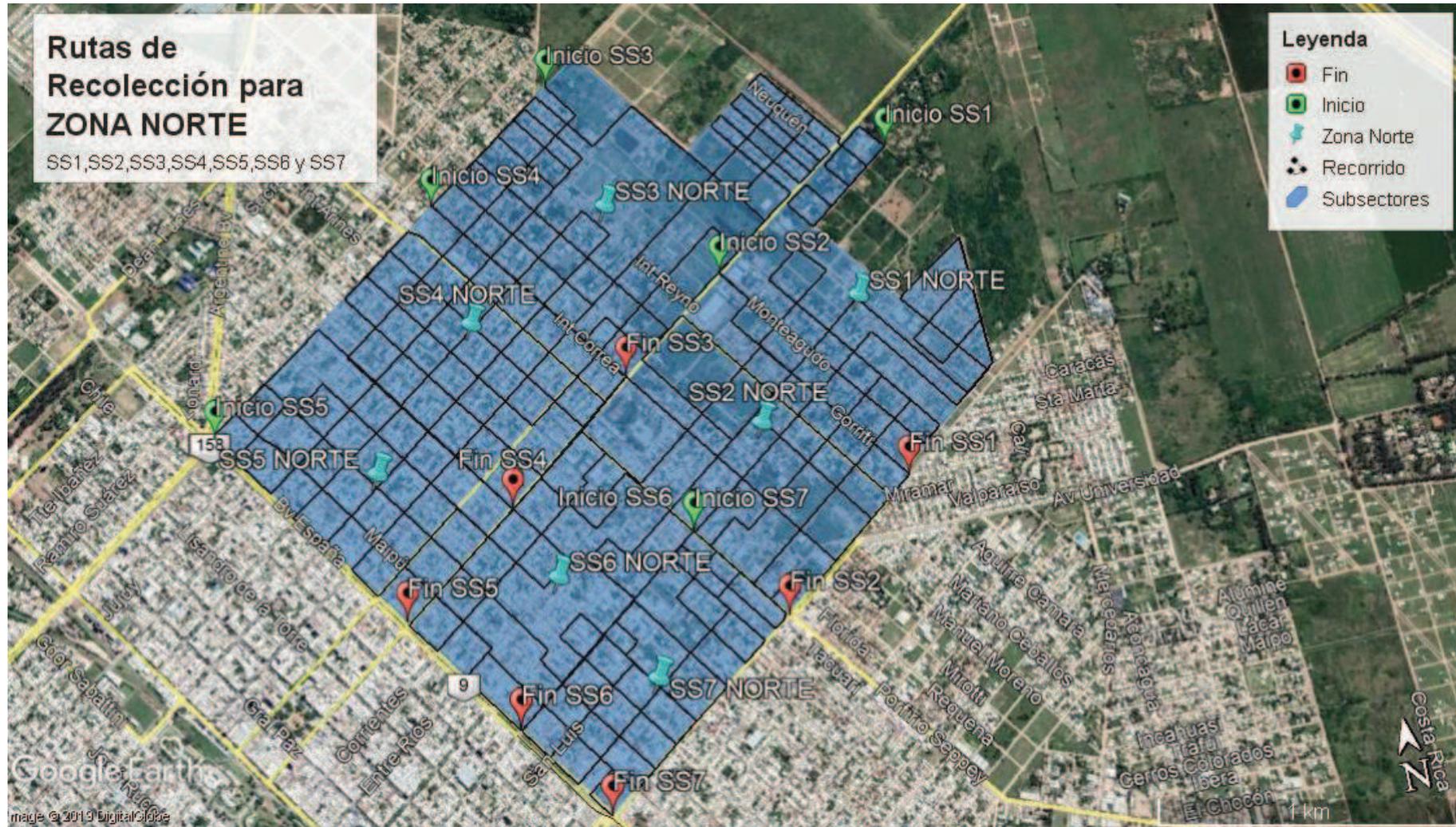


Figura 4.13: Rutas de recolección para ZONA NORTE
FUENTE: Google Earth

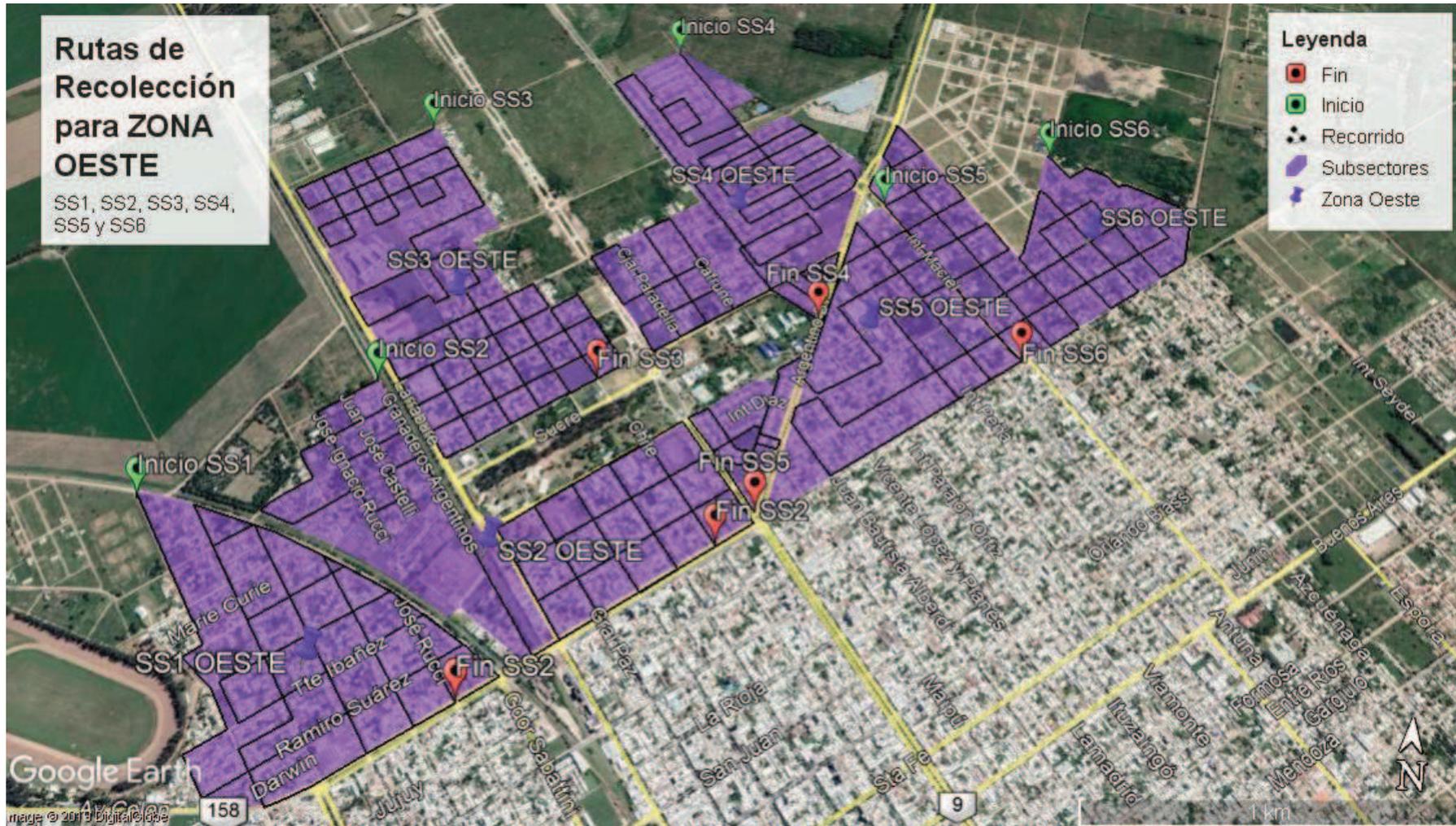


Figura 4.14: Rutas de recolección para ZONA OESTE
FUENTE: Google Earth

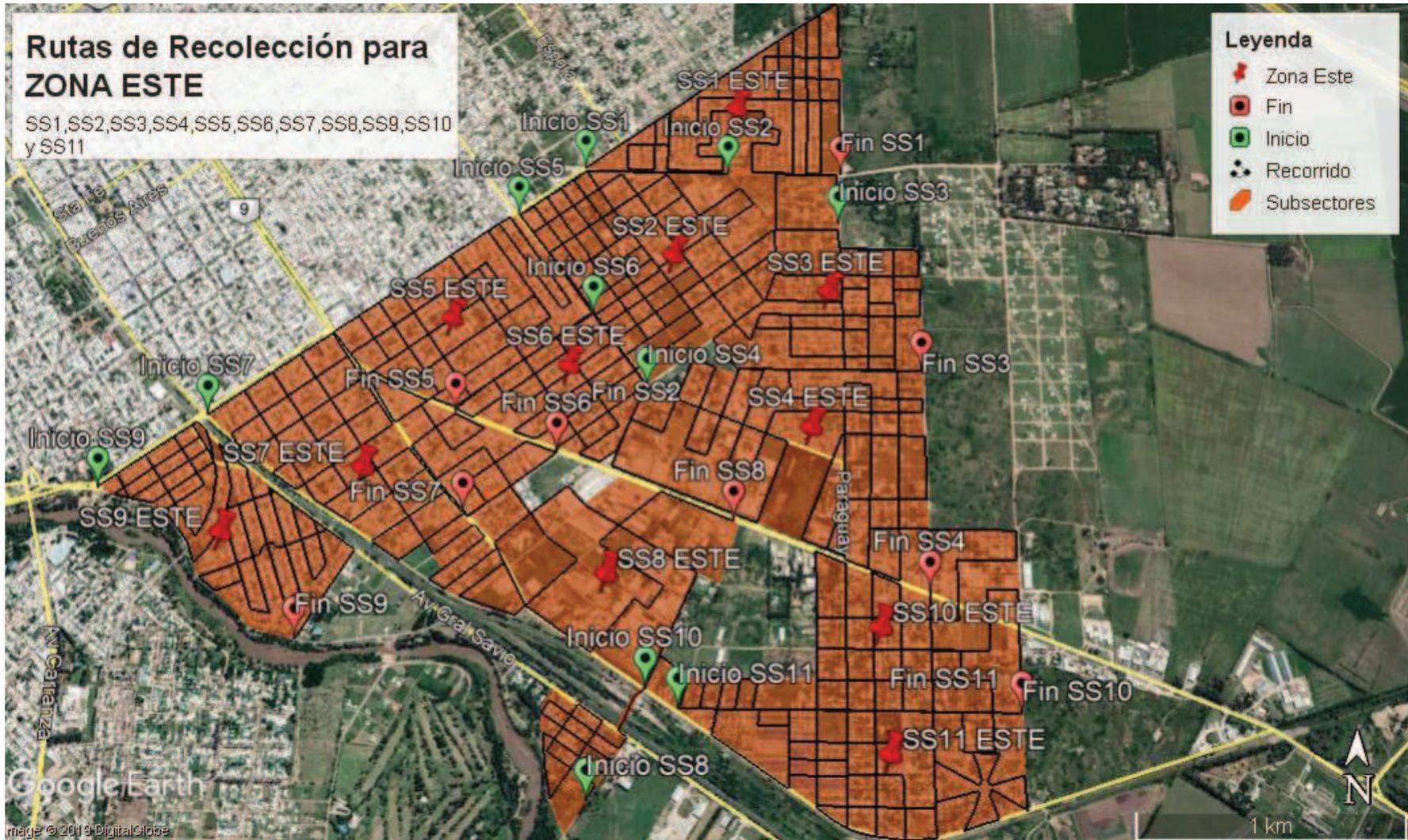


Figura 4.15: Rutas de recolección para ZONA ESTE
FUENTE: Google Earth



Figura 4.16: Rutas de recolección para ZONA SUR
FUENTE: Google Earth.

4.2.3 Separación en origen y Recolección de Residuos Diferenciados

Del total de residuos generados, alrededor del 28,5% es potencialmente reciclable (cartón y papel, plástico, vidrio, metales y textiles), los cuales serán separados y clasificados en la Planta de Separación y Clasificación. Un 19,6% del total, será utilizado para generar compost proveniente de restos de jardín, poda y madera, con su previo chipeado o triturado, y por último un 44% serán restos húmedos próximos a disponer en el relleno sanitario. El porcentaje restante serán residuos inertes y especiales que no serán analizados en el Proyecto Final.

El Complejo Ambiental donde se encuentra el relleno sanitario funcionará de lunes a sábado. Los feriados nacionales que no coincidan con el día domingo, serán considerados laborables, con excepción de los días 25 de diciembre y 1° de enero, que en todos los casos serán no laborables.

Atendiendo a los servicios de recolección que descargan en este relleno y considerando la vigencia de días feriados, en ningún caso podrá permanecer el relleno dos días consecutivos sin operación.

4.2.3.1 Período actual

La recolección diferenciada abarca actualmente sólo 18 de los 37 barrios existentes en la Ciudad. Esta recolección se realiza una vez por semana, en los siguientes barrios:

- *Lunes:* B° Sarmiento, B° Santa Ana, B° Rivadavia, B° San Justo
- *Martes:* B° Almirante Brown, B° Trinitarios, B° Parque Norte, B° Carlos Pellegrini
- *Miércoles:* B° Centro Norte, B° Centro Sur, B° Centro Oeste y B° Centro Este
- *Jueves:* B° Lamadrid, B° Ameghino
- *Viernes:* B° General Paz, B° Güemes, B° Palermo, B° Mariano Moreno.

En todos los casos el servicio es realizado en el horario de 14 a 16 hs, salvo el B° Centro, el cual opera con un horario de recolección de 15 a 17 hs.

Asimismo, existen tres puntos limpios en tres barrios de la ciudad que no cuentan con servicio diferenciado de recolección.

4.2.3.2 A implementar

Se realizará una recolección más eficiente de los residuos diferenciados producidos en Villa María.

Se ampliará la zona de recolección diferenciada en la Ciudad de Villa María ya que se pasaría de 18 a 30 barrios de los 37 existentes, en los cuales se realizará este tipo de recolección.

Actualmente en Villa María, existen tres Puntos Limpios *-ubicados en: Las Acacias, Las Playas y Bello Horizonte-*. Se realizará una reubicación del último punto ubicado en Bello Horizonte y será trasladado al B° Los Olmos, ya que el primero, debido a la nueva optimización en la recolección, tendrá recolección diferenciada. Es importante mencionar que no se justifica la implementación de un mayor número de Puntos Limpios en este Municipio, ya que los barrios que no cuentan con un sistema de recolección diferenciada domiciliario tienen poca densidad poblacional, por lo que no sería rentable económicamente y no generaría una gran reducción en el número de residuos a disponer en el relleno sanitario.

Los residuos voluminosos, escombros y restos de poda deberán ser retirados por la municipalidad, previo llamado telefónico para coordinar día y horario correspondiente a su domicilio.

Para calcular los valores reales de habitantes que utilizan estos dos servicios se realizaron las suposiciones expuestas a continuación. Las mismas se realizaron teniendo en cuenta bibliografía de experiencias en otras ciudades.

Con la optimización del servicio (30 barrios) y 3 Puntos Limpios se tuvo en cuenta que (Tabla IV.X):

- El 60% de la población que cuenta con Rec. Diferenciada la implementará en sus domicilios.
- El 25% de la población que cuenta con PL en su barrio lo utilizará.

Tabla IV.X: Recolección diferencial potencial y real en Villa María

FUENTE: Elaboración propia en base a datos de la *Municipalidad de Villa María* y *COTRECO*

VILLA MARÍA		
	Hab (2020)	Porcentaje
TOTAL GENERAL	90.475	100,00 %
TOTAL POTENCIAL Rec. Diferenciada	80.521	89,00 %
TOTAL REAL Rec. Diferenciada	48.313	53,4 %
TOTAL POTENCIAL Punto Limpio	7.215	7,97 %
TOTAL REAL Punto Limpio	1.804	1,99 %
TOTAL REAL Rec Dif + Punto Limpio	50.116	55,39 %

4.2.3.3 Diseño de rutas de recolección de Residuos Diferenciados en Villa María

Las rutas de recolección se diseñaron siguiendo los mismos pasos que en Residuos Húmedos. Los subsectores de las Zonas Centro, Norte y Oeste no sufrieron modificaciones. Sin embargo, el SS1 de la Zona Sur, así como también SS3, SS4, SS8, SS10 y SS11 de la Zona Este no contarán con Recolección Diferenciada y por lo tanto

no fueron considerados. Se adicionó un nuevo SS5 que contempla al B° Industrial y una pequeña porción del B° San Juan Bautista.

La nomenclatura utilizada corresponde al Número de Subsector + Inicial de la Zona escogida + la letra D que corresponde a diferenciados.

En la Tabla IV.XI se muestra la implementación de la recolección diferenciada en los diferentes barrios de Villa María con los respectivos habitantes al año 2020 (Municipalidad de Villa María, 2018), los días de la semana en los cuales se realiza esta recolección diferencial y la distancia a recorrer por viaje.

Tabla IV.XI: Implementación de Rec. Diferenciada en los diferentes B° de Villa María
FUENTE: *Municipalidad de Villa María, 2018; COTRECO, 2018.*

Subsector o Barrio	Hab con Rec Diferenciada Real o PL Real 2020	Día de Recolección	RECORRIDO DE RECOLECCIÓN km	RECORRIDO A COMPLEJO AMBIENTAL km	RECORRIDO TOTAL/VIAJE km
SS3 E.D	1510	Lunes	12,0	10,6	22,6
SS4 E.D	1750	Lunes	9,0	10,2	19,2
SS5 E.D	1383	Lunes	15,5	9,4	24,9
SS6 E.D	1451	Lunes	8,1	10,8	18,9
Los Olmos	822	PL. Lunes	-	9,8	9,8
Las Playas	719	PL. Lunes	-		
SS1 N.D	1846	Martes	13,2	11,8	25,0
SS2 N.D	2656	Martes	10,2	11,1	21,3
SS3 N.D	1800	Martes	10,4	12,5	22,9
SS6 O.D	1307	Martes	7,9	14,2	22,1
SS1 E.D	1597	Martes	8,9	10,6	19,5
SS1 C.D	2206	Miércoles	12,1	12,7	24,8
SS2 C.D	1964	Miércoles	11,8	12,2	24,0
SS3 C.D	1944	Miércoles	11,5	14,1	25,6
SS4 C.D	1764	Miércoles	11,0	12,9	23,9
SS7 E.D	1484	Miércoles	9,5	11,4	20,9
SS4 N.D	2122	Jueves	10,4	12,8	23,2
SS5 N.D	2247	Jueves	8,8	12,2	21,0
SS6 N.D	1593	Jueves	7,4	11,7	19,1
SS7 N.D	1592	Jueves	8,4	11,3	19,7
SS2 E.D	1410	Jueves	14,2	10,4	24,6
SS1 O.D	2267	Viernes	9,1	14,5	23,6
SS2 O.D	1850	Viernes	8,3	13,7	22,0
SS3 O.D	1655	Viernes	11,9	14,0	25,9
SS4 O.D	1577	Viernes	10,8	14,1	24,9
SS5 O.D	1262	Viernes	8,3	13,2	21,5

SS1 S.D	1799	Sábado	10,1	16,5	26,6
Las Acacias	262	PL. Sábado	-		
SS2 S.D	1200	Sábado	7,5	15,0	22,5
SS3 S.D	1624	Sábado	10,7	14,4	25,1
SS4 S.D	1453	Sábado	7,3	13,3	20,6

Para la recolección de Residuos Diferenciados se utilizarán camiones recolectores que cuentan con la misma capacidad que para Residuos Húmedos (Figura 4.17).



Figura 4.17: Camión compactador para servicio de recolección diferenciada COTRECO. FUENTE: COTRECO, 2018.

Como puede observar en la tabla anterior, la frecuencia de recolección de residuos diferenciados será de una vez/semana (lunes a sábado) en el horario de 13 a 19hs. Sabiendo que cada camión puede realizar dos viajes por turno, serán necesarias tres unidades por día de recolección. Asimismo, un cuarto camión será necesario en caso de mantenimiento o roturas de los vehículos en circulación.

Los residuos de los Puntos Limpios de Las Playas y Los Olmos serán recogidos por el mismo camión debido a que se encuentran a corta distancia entre sí. De la misma forma, los residuos de Las Acacias serán recolectados por el camión que recoge los residuos del SS1 Sur.

En la Figura 4.18 se puede observar la ubicación geográfica de los barrios que cuentan y aquellos que no poseen servicio de recolección diferenciada. Además, se muestran los barrios con servicio optimizado de recolección y Puntos Limpios.

A partir de la metodología utilizada en las Ecuaciones 4.1 y 4.2 se obtuvo la proyección de población en Villa María para el período (2020-2045). Posteriormente, se calcularon la cantidad de residuos generada por día en esa localidad (ton/día) por medio de la Ecuación 2.1 (Ver Capítulo 2) que relaciona el número de habitantes con la generación per cápita.

Luego, el número de habitantes total se lo dividió en dos conjuntos. Una parte corresponde a la población que cuenta con servicio de recolección diferenciada -y por

lo tanto genera una fracción reciclable, una compostable y otra de restos- y otro sector que no cuenta con recolección diferenciada y por lo tanto todo lo generado es llevado a disposición final.

Para el segundo grupo, a partir de la diferencia entre los residuos totales generados en Villa María y aquellos con recolección diferenciada, se obtuvieron los que irían a disposición final.

En la última columna se muestra la suma de los Restos totales tanto de los barrios con recolección diferenciada, como los de aquellos que no la poseen y/o practican.

Lo explicado anteriormente, se puede observar en la Tabla IV. XII.

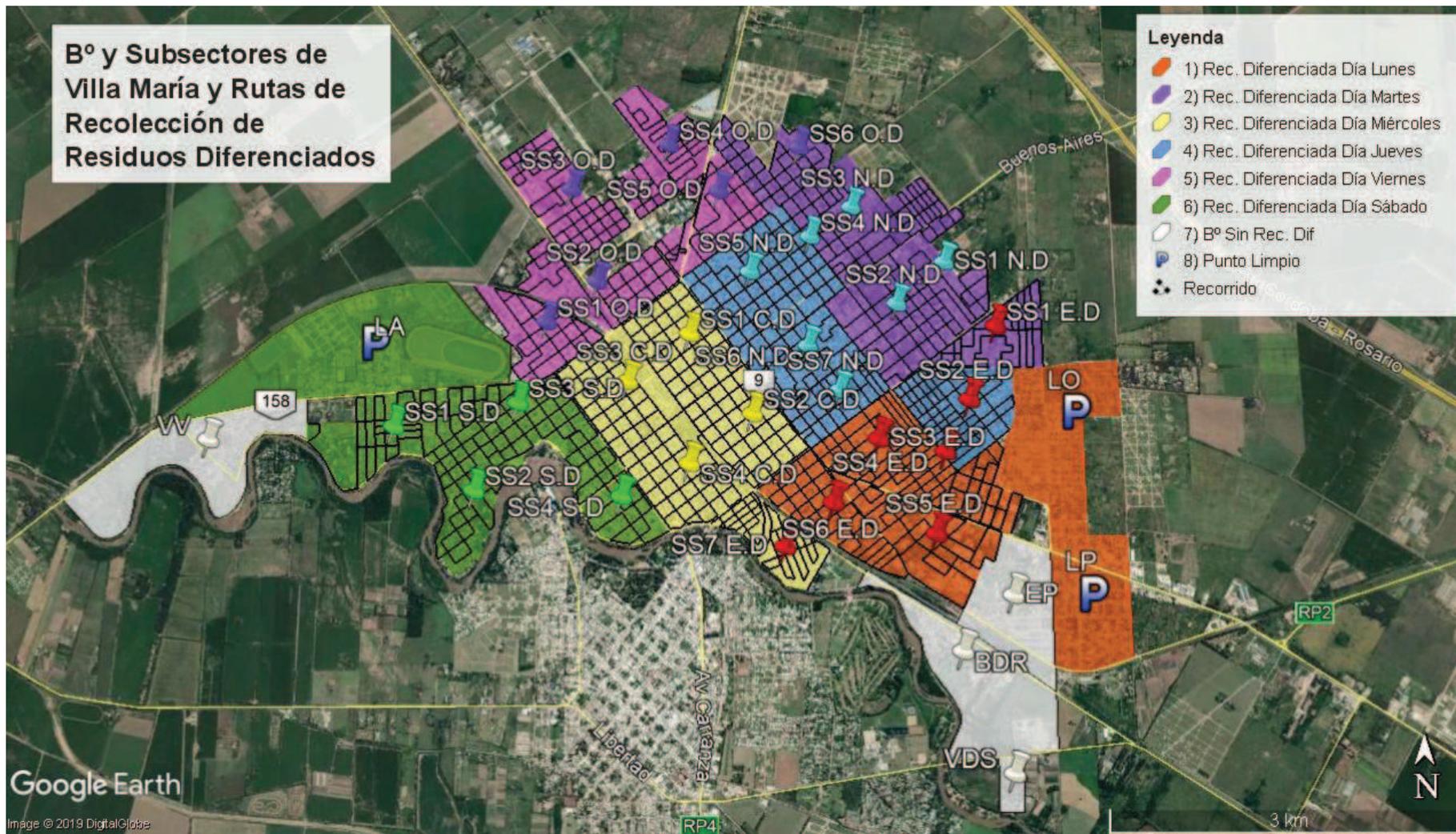


Figura 4.18: Ubicación geográfica de los barrios CON optimización + Puntos Limpios
FUENTE: Google Earth.

Tabla IV.XII: Habitantes de Villa María CON/SIN Rec. Diferenciada y ton/día de residuos generados (Reciclables, Compostables y Restos)

FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Villa María y COTRECO.*

AÑO	Hab VM	VM ton/día	Hab VM CON Rec Dif +PL REAL	VM Rec Dif + PL REAL ton/día	Reciclable ton/día	Compostable ton/día	Resto B° CON Dif ton/día	Hab VM SIN Rec Dif o PL	Resto B° SIN Dif ton/día	Resto B° CON + SIN Dif ton/día
2020	90.475	91,47	50.117	50,67	14,49	9,93	26,25	40.358	40,80	67,05
2021	91.602	92,61	50.741	51,30	14,67	10,05	26,57	40.861	41,31	67,88
2022	92.742	93,76	51.373	51,94	14,85	10,18	26,90	41.370	41,82	68,73
2023	93.897	94,93	52.012	52,58	15,04	10,31	27,24	41.885	42,35	69,58
2024	95.066	96,11	52.660	53,24	15,23	10,43	27,58	42.406	42,87	70,45
2025	96.250	97,31	53.315	53,90	15,42	10,56	27,92	42.934	43,41	71,33
2026	97.448	98,52	53.979	54,57	15,61	10,70	28,27	43.469	43,95	72,22
2027	98.661	99,75	54.651	55,25	15,80	10,83	28,62	44.010	44,49	73,11
2028	99.889	100,99	55.332	55,94	16,00	10,96	28,98	44.558	45,05	74,02
2029	101.133	102,25	56.021	56,64	16,20	11,10	29,34	45.113	45,61	74,95
2030	102.392	103,52	56.718	57,34	16,40	11,24	29,70	45.674	46,18	75,88
2031	103.667	104,81	57.424	58,06	16,60	11,38	30,07	46.243	46,75	76,82
2032	104.958	106,11	58.139	58,78	16,81	11,52	30,45	46.819	47,33	77,78
2033	106.264	107,43	58.863	59,51	17,02	11,66	30,83	47.401	47,92	78,75
2034	107.587	108,77	59.596	60,25	17,23	11,81	31,21	47.992	48,52	79,73
2035	108.927	110,12	60.338	61,00	17,45	11,96	31,60	48.589	49,12	80,72
2036	110.283	111,50	61.089	61,76	17,66	12,11	31,99	49.194	49,74	81,73
2037	111.656	112,88	61.849	62,53	17,88	12,26	32,39	49.806	50,35	82,74
2038	113.046	114,29	62.619	63,31	18,11	12,41	32,79	50.427	50,98	83,77
2039	114.453	115,71	63.399	64,10	18,33	12,56	33,20	51.054	51,62	84,82
2040	115.878	117,15	64.188	64,89	18,56	12,72	33,62	51.690	52,26	85,87
2041	117.321	118,61	64.988	65,70	18,79	12,88	34,03	52.334	52,91	86,94
2042	118.782	120,09	65.797	66,52	19,02	13,04	34,46	52.985	53,57	88,03
2043	120.261	121,58	66.616	67,35	19,26	13,20	34,89	53.645	54,23	89,12
2044	121.758	123,10	67.445	68,19	19,50	13,36	35,32	54.313	54,91	90,23
2045	123.274	124,63	68.285	69,04	19,74	13,53	35,76	54.989	55,59	91,35

4.2.4 Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada

La Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada recibirá los residuos pre-seleccionados de los domicilios de Villa María, así como también aquellos dispuestos en los Puntos Limpios. Este valor promedio está estimado en 20,81 ton/día laboral para 2020 y 28,35 ton/día laboral para 2045.

4.2.4.1 Corrientes de residuos ingresados a la Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada

En la segunda columna de la Tabla IV.XIII se puede observar la cantidad de residuos reciclables reales generados en Villa María por semana (ton/semana). A partir de los datos provistos por las rutas de recolección por barrios se computó qué porcentaje del total de los reciclables es llevado a la Planta de lunes a sábado.

Analizando los resultados de la tabla que se presenta a continuación, el máximo de reciclables recibidos en la Planta de Separación y Clasificación llegará los días miércoles y será de 18,95 ton/día laboral y 25,82 ton/día laboral en los años 2020 y 2045, respectivamente. Por otro lado, el mínimo se obtendrá los días sábados y será de 12,83 ton/día laboral (año 2020) y de 17,48 ton/día laboral (año 2045).

Tabla IV.XIII: Ingreso de residuos reciclables a la Planta de Separación y Clasificación por día de la semana

FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Villa María y COTRECO.*

Planta de Separación y Clasificación							
Del total del reciclable* se recibe los días:							
AÑO	Reciclable VM ton/semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	Porcentaje del total	15,23%	18,37%	18,68%	17,89%	17,18%	12,65%
2020	101,44	15,45	18,63	18,95	18,15	17,43	12,83
2021	102,70	15,64	18,87	19,18	18,37	17,64	12,99
2022	103,98	15,84	19,10	19,42	18,60	17,86	13,15
2023	105,27	16,03	19,34	19,67	18,83	18,09	13,32
2024	106,58	16,23	19,58	19,91	19,07	18,31	13,48
2025	107,91	16,43	19,82	20,16	19,31	18,54	13,65
2026	109,26	16,64	20,07	20,41	19,55	18,77	13,82
2027	110,62	16,85	20,32	20,66	19,79	19,00	13,99
2028	111,99	17,06	20,57	20,92	20,04	19,24	14,17
2029	113,39	17,27	20,83	21,18	20,28	19,48	14,34
2030	114,80	17,48	21,09	21,44	20,54	19,72	14,52
2031	116,23	17,70	21,35	21,71	20,79	19,97	14,70
2032	117,67	17,92	21,62	21,98	21,05	20,22	14,89

2033	119,14	18,14	21,89	22,26	21,31	20,47	15,07
2034	120,62	18,37	22,16	22,53	21,58	20,72	15,26
2035	122,12	18,60	22,43	22,81	21,85	20,98	15,45
2036	123,65	18,83	22,71	23,10	22,12	21,24	15,64
2037	125,18	19,07	23,00	23,38	22,40	21,51	15,84
2038	126,74	19,30	23,28	23,68	22,67	21,77	16,03
2039	128,32	19,54	23,57	23,97	22,96	22,05	16,23
2040	129,92	19,79	23,87	24,27	23,24	22,32	16,43
2041	131,54	20,03	24,16	24,57	23,53	22,60	16,64
2042	133,17	20,28	24,46	24,88	23,82	22,88	16,85
2043	134,83	20,53	24,77	25,19	24,12	23,16	17,06
2044	136,51	20,79	25,08	25,50	24,42	23,45	17,27
2045	138,21	21,05	25,39	25,82	24,73	23,74	17,48

4.2.4.2 Descripción del proceso

La Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada utilizará un tratamiento mecánico para la selección y recuperación de distintas fracciones de materiales de los residuos para su reciclado.

Para esto se propone la construcción de una Planta con una línea de clasificación que permite procesar 4 toneladas de residuos por hora.

Si se considera un solo turno de ocho horas con una eficiencia de seis horas reales por turno, se prevé el procesamiento de aproximadamente 24 ton/día (valor promedio de residuos que se generará por día en el año 25).

Los residuos de los camiones recolectores serán descargados a una tolva de recepción de 4m³ (2m x 2m) a nivel del piso ya existente en la Planta, para luego ser llevados a una cinta de alimentación y elevación inclinadas con un largo de 8m marca Residuos Di-3R *Modelo Di3r.ca*.

Posteriormente un abridor de bolsas (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.ab08*) con capacidad productiva de 4 ton/h de residuos embolsados, desgarrará las bolsas de manera mecánica. Este equipo reemplaza la operación manual de abrir bolsas en donde se produce mayor demora en el proceso y, además, es el punto de mayor riesgo de accidentes punzo cortantes. Esta operación automatiza, aproximadamente, el trabajo de dos operarios y tiene descarga directa a la cinta de clasificación.

La cinta de clasificación (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.cc*) tendrá un largo de 13m y los residuos serán depositados en 12 contenedores ubicados bajo la plataforma de clasificación según corresponda para su tratamiento diferenciado, lo que equivale a 10 operarios trabajando en este proceso unitario.

La secuencia de clasificación en esta cinta es: primero los materiales plásticos, luego los celulósicos, los textiles, vidrios y por último los metales.

Los vidrios seleccionados son derivados por una cinta transportadora transversal con un largo de 6m (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.con.ct*) hacia un contenedor metálico (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.con.01*) con capacidad de 1m³ para su acopio transitorio hasta completar la carga.

De igual manera, aquellos rechazos de la Planta provenientes de la incorrecta separación de residuos diferenciados en los domicilios, serán llevados a disposición final previo paso por una cinta transportadora transversal y acopio transitorio.

Los materiales celulósicos y plásticos serán compactados a través de un compactador hidráulico (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.com*) que permitirá generar un fardo de 0,7m x 0,7m x 1,1m de alto. Este compactador tiene una puerta tolva que permite contener los bolsones cuando se está cargando el equipo de modo de facilitar el proceso.

Los metales serán compactados por otro compactador (Residuos Di-3R *Modelo Di3r.com.m*) que generará un fardo de 0,47m x 0,35m x 0,3m de largo (0,05m³) con alta densidad, poco volumen y fácil de manipular y cargar al transporte manualmente.

Si bien este último compactador admite todo tipo de RSU reciclable, será utilizado mayormente para materiales metálicos.

El diagrama del proceso se puede observar en la Figura 4.19.

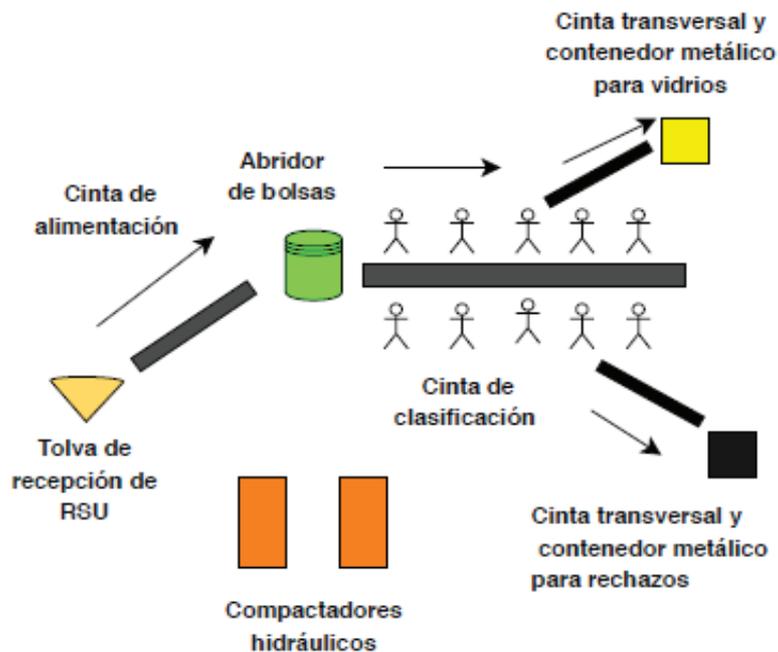


Figura 4.19: Diagrama del proceso de Separación y Clasificación
FUENTE: *Elaboración propia.*

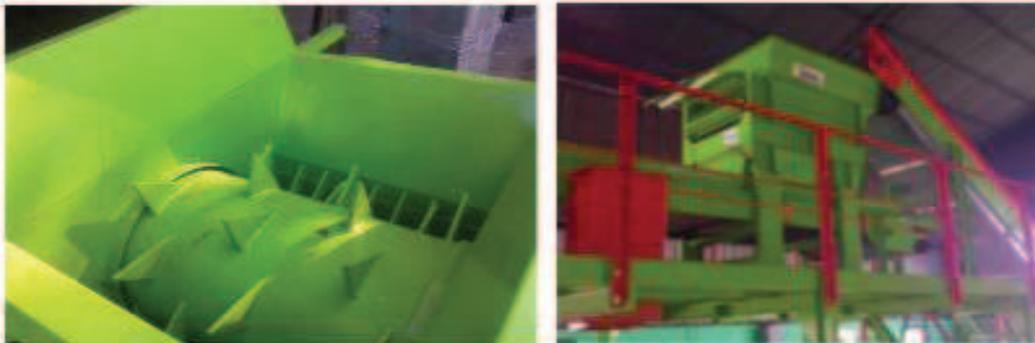
4.2.4.3 Características de los equipos

Cinta de alimentación y elevación (Modelo Di-3r.ca): 1 unidad

- Altura de descarga: 3,5m
- Moto reductor helicoidal: 3HP trifásico, eje hueco directo al eje de cabezal de mando (sin cadenas ni poleas)
- Medidas generales:
 - Ancho de banda 700mm,
 - Ancho total con perfiles laterales de la cinta: 850mm
 - Largo útil de la cinta: 8m

Abridor de bolsas (Modelo Di3r.ab08, Figuras 4.20 y 4.21): 1 unidad

- Capacidad productiva: 4 ton/h de residuos embolsados
- Sistema de desgarrado de bolsas totalmente mecanizado
- Moto reductor helicoidal: 3HP trifásico
- Cuchillas recambiables en acero SAE1045
- Rotor de corte a 18 r.p.m. que permite mínima generación de ruidos y particulados volátiles.
- Sistema de limpieza de rotor con pulsador para inversión de marcha.
- Accionamiento sin contacto con operarios, con protecciones de seguridad electromecánicas.



Figuras 4.20 y 4.21: Abridor de bolsas Modelo Di3r.ab08
FUENTE: *Residuos Di-3R.*

Cinta de clasificación (Modelo Di3r.cc, Figuras 4.22, 4.23 y 4.24): 1 unidad

- Bandeja de deslizamiento conformada en perfiles laterales de diseño exclusivo que evita el derrame de líquidos.
- Cabezal de mando y tensor con rodamientos blindados, autocentrantes, conformado de perfiles laterales de 2mm en una sola pieza.
- Pistas laterales de deslizamiento de la banda cambiables en zonas de desgaste.

- Moto reductor helicoidal: 3HP trifásico, eje hueco directo al eje de cabezal de mando (sin cadenas ni poleas).
- Tablero de mando con botonera de marcha y pare y regulador de frecuencia para control de velocidad de la cinta.
- Medidas generales:
 - Ancho de banda 700mm
 - Ancho total con perfiles laterales de la cinta: 850mm
 - Largo útil de la cinta: 13m



Figuras 4.22, 4.23 y 4.24: Cinta de clasificación Modelo Di3r.cc
FUENTE: Residuos Di-3R.

Cinta de derivación transversal (Modelo Di3r.ct): 2 unidades

- Moto reductor helicoidal: 1HP trifásico, eje hueco directo al eje de cabezal de mando.
- Ancho de banda: 500mm.

Contenedor metálico (Modelo Di3r.con.01, Figura 4.25): 4 unidades

- Capacidad de 1m³, ideal para cargas pesadas (vidrios)
- Construido con perfiles conformados en chapa N° 14 laminada comercial SAE1010.



Figura 4.25: Contenedor metálico Modelo Di3r.con.01 (color a elección)
FUENTE: Residuos Di-3R.

Compactador Hidráulico (Modelo Di3r.com, Figura 4.26): 1 unidad

- Fardo de 0,7m x 0,7m x 1,1m de alto
- Consumo: 7HP, 380vol, trifásico
- Estructura Construida en perfiles conformados en chapa laminada comercial SAE1010 con extractor de fardo mecánico.
- Capacidad de carga neta de envases plásticos, compactado en un equipo completo: 15ton.
- Con puerta tolva frontal que permite contener los bolsones cuando se la está cargando de forma de facilitar el proceso.
- Puerta frontal amplia que facilita la extracción del fardo.
- Cilindro: Camisa Ø int. 5" de acero bruñida interiormente. Vástago Ø 63,5mm, de acero rectificad con protección de cromo duro. Carrera útil 900mm.
- Medidas generales:
 - Ancho: 0,95m
 - Profundidad: 0,9m
 - Alto Total: 2,75m



Figura 4.26: Compactador Hidráulico Modelo Di3r.com
FUENTE: Residuos Di-3R.

Compactador Hidráulico (Modelo Di3r.com.m): 1 unidad

- Fardo de 0,47m x 0,35m x 0,3m de largo y una capacidad de 0,05 m³
- Consumo: 5,5HP, 380vol, trifásico
- Permite compactar todo tipo de RSU reciclables incluidos metálicos.
- Cilindro hidráulico con vástago de 3" y 1200mm de carrera que permite compactar en toda la máquina y actúa como extractor mecánico para sacar el fardo.

- Medidas generales:
 - Ancho: 0,6m
 - Largo: 2,7m
 - Alto: 1,2m

La seguridad del personal está presente en todo el diseño de la Planta. Para esto se ha contemplado barandas de protección en toda la cinta y en las escaleras de movimiento de personal, pisos antideslizantes en toda la Planta y paradas de emergencia en la zona de alimentación y a lo largo de las cintas de clasificación.

Asimismo, las cintas transportadoras son resistentes a ácidos grasos y detergentes para asegurar su durabilidad y permitir su limpieza al concluir cada turno de trabajo.

4.2.4.4 Subproductos obtenidos en la Planta de Separación y Clasificación y en otras corrientes de residuos

Como resumen, los subproductos que se obtienen en esta Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada son:

- 1) Materiales reciclables que serán compactados (materiales plásticos, celulósicos y metales) o separados (vidrios y textiles) para su comercialización (Ver Capítulo 7).
- 2) Rechazos provenientes de la incorrecta separación en origen que serán llevados a disposición final (Ver Capítulo 5).

Para este Proyecto se supuso que el 75% de los residuos pre-seleccionados en domicilios pueden ser reciclados en la Planta. El 25% de rechazos es sumado a la corriente de Restos Húmedos que luego irá a disposición final.

A partir de la Tabla II.IV del Capítulo 2 que muestra la composición física de los residuos en función de su peso, podemos señalar que del total de reciclables un: 30.07% son celulósicos; 42.31% son plásticos; 14.34% son vidrio; 4.89% son metales y 8.39% son textiles.

En cuanto a compostaje, debido a que el mismo corresponde solamente a restos de poda y jardín, se analizó el supuesto de que el 100% de estos residuos recogidos en los Barrios con Rec. Diferenciada o Puntos Limpios es compostable (Tabla IV.XIV).

Los Restos totales serán clasificados en Res. Húmedos para disposición en relleno sanitario (44,1%), Res. inertes (5,3%) y Res. especiales (2,4%).

La Figura 4.27 muestra un resumen de las corrientes de residuos del Complejo Ambiental de Villa María.

Tabla IV.XIV: Residuos generados y clasificados en Reciclables, Compostables, Húmedos, Inertes y Especiales en Villa María
FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Villa María y COTRECO.*

AÑO	GVM ton/sem	Reciclable ton/sem	75% del Reciclable: Recuperado en Planta de SyC ton/sem	Compostable ton/sem	Restos B° CON+SIN Dif+ No recuperable en Planta de SyC ton/sem	Restos Húmedos para disposición final ton/sem	Residuos Inertes ton/sem	Residuos especiales ton/sem
2020	640,29	101,44	76,08	69,52	494,70	421,16	50,62	22,92
2021	648,27	102,70	77,03	70,38	500,86	426,41	51,25	23,21
2022	656,34	103,98	77,98	71,26	507,09	431,72	51,88	23,49
2023	664,51	105,27	78,96	72,15	513,41	437,09	52,53	23,79
2024	672,78	106,58	79,94	73,04	519,80	442,53	53,18	24,08
2025	681,16	107,91	80,93	73,95	526,27	448,04	53,85	24,38
2026	689,64	109,26	81,94	74,87	532,82	453,62	54,52	24,69
2027	698,22	110,62	82,96	75,81	539,46	459,27	55,20	24,99
2028	706,92	111,99	83,99	76,75	546,17	464,99	55,88	25,31
2029	715,72	113,39	85,04	77,71	552,97	470,77	56,58	25,62
2030	724,63	114,80	86,10	78,67	559,86	476,64	57,28	25,94
2031	733,65	116,23	87,17	79,65	566,83	482,57	58,00	26,26
2032	742,78	117,67	88,26	80,64	573,88	488,58	58,72	26,59
2033	752,03	119,14	89,35	81,65	581,03	494,66	59,45	26,92
2034	761,40	120,62	90,47	82,66	588,26	500,82	60,19	27,26
2035	770,87	122,12	91,59	83,69	595,59	507,05	60,94	27,59
2036	780,47	123,65	92,73	84,74	603,00	513,37	61,70	27,94
2037	790,19	125,18	93,89	85,79	610,51	519,76	62,47	28,29
2038	800,03	126,74	95,06	86,86	618,11	526,23	63,24	28,64
2039	809,99	128,32	96,24	87,94	625,81	532,78	64,03	28,99
2040	820,07	129,92	97,44	89,04	633,60	539,41	64,83	29,36
2041	830,28	131,54	98,65	90,14	641,49	546,13	65,63	29,72
2042	840,62	133,17	99,88	91,27	649,47	552,93	66,45	30,09
2043	851,08	134,83	101,12	92,40	657,56	559,81	67,28	30,47
2044	861,68	136,51	102,38	93,55	665,74	566,78	68,12	30,85
2045	872,41	138,21	103,66	94,72	674,03	573,84	68,96	31,23

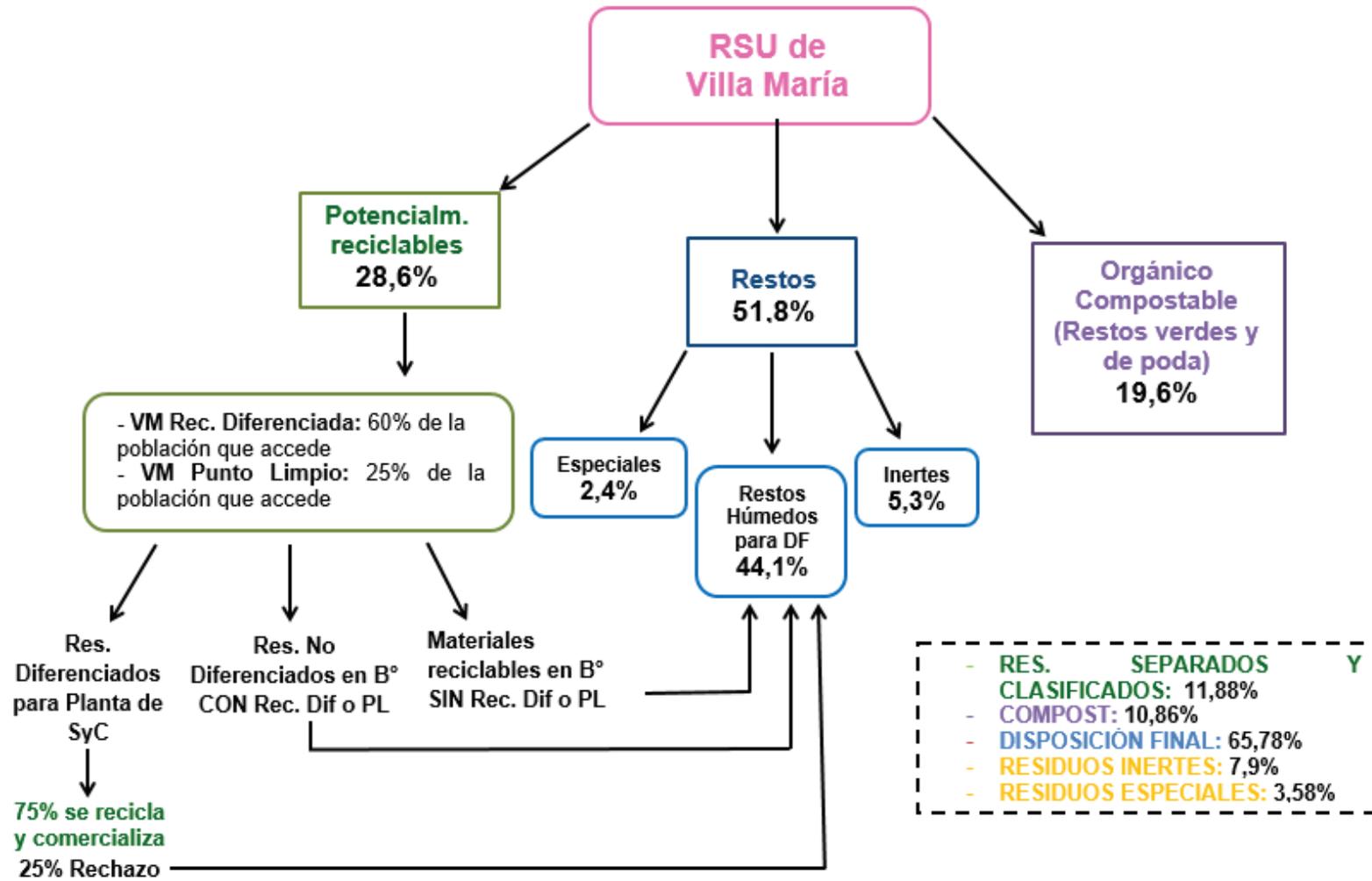


Figura 4.27: Resumen de las corrientes de residuos del Complejo Ambiental
FUENTE: *Elaboración propia*

4.2.5 Barrido y limpieza de calles

Barrido y limpieza es una actividad de recolección manual o mecánica de los residuos sólidos depositados en la vía pública.

El barrido manual tiene un rendimiento de 2-2,5 km/día, mientras que el mecánico con logística más simple y menor costo de operación tiene un rendimiento de 30-35 km/día (Fontán, 2017).

La frecuencia del barrido dependerá de la cantidad de residuos que se produzcan. Esto a su vez depende de la zona de la ciudad, del uso del suelo y del nivel socioeconómico, entre otros factores.

Según Fontán (2017), mínimamente es necesario realizar la acción de barrido en zonas comerciales y avenidas centrales una vez al día. Por otro lado, en zonas residenciales de alta densidad de población se recomienda el barrido 2 veces/semana.

Los alimentos, papeles, plásticos, vidrios y restos verdes son los residuos principales de la acción de barrido y limpieza, cuyos porcentajes se ven levemente modificados según sea una zona residencial o residencial/comercial.

En este proyecto se diseñaron las rutas de barrido y limpieza mecánica para las avenidas principales de la Ciudad de Villa María y las Rutas 9 y 158 con una frecuencia diaria de seis días a la semana. Para esta acción se tomó un rendimiento de 30km/día.

Las avenidas y rutas con barrido mecánico son mencionadas a continuación. Asimismo, en la Figura 4.28 se muestra el mapa correspondiente.

- Sarmiento Bv (Zona Centro-Norte): 3,1km
- Italia Bv (Zona Centro-Sur):3,4 km
- Bv Velez y Ruta 9 (Zona Norte-Centro): 5,1 km
- Calle Gob. Sabatini (Zona Centro): 1,8 km
- L.Alem-H. Yrigoyen (Zona Centro Este): 2,7 km
- Calle M.T. de Alvear (Zona Este): 2,6 km
- Av Savio (Zona Este): 3,0km
- Ruta 9 (Zona Este): 2,9 km
- Bv Velez (Zona Norte): 1,6 km
- Calle Buenos Aires (Zona Norte): 2,3 km
- Bv Velez y Ruta 158 (Zona Oeste): 2,6 km
- Ruta 9 y 158 (Zona Oeste): 4,2 km
- Bv Colón (Zona Sur): 3,6 km

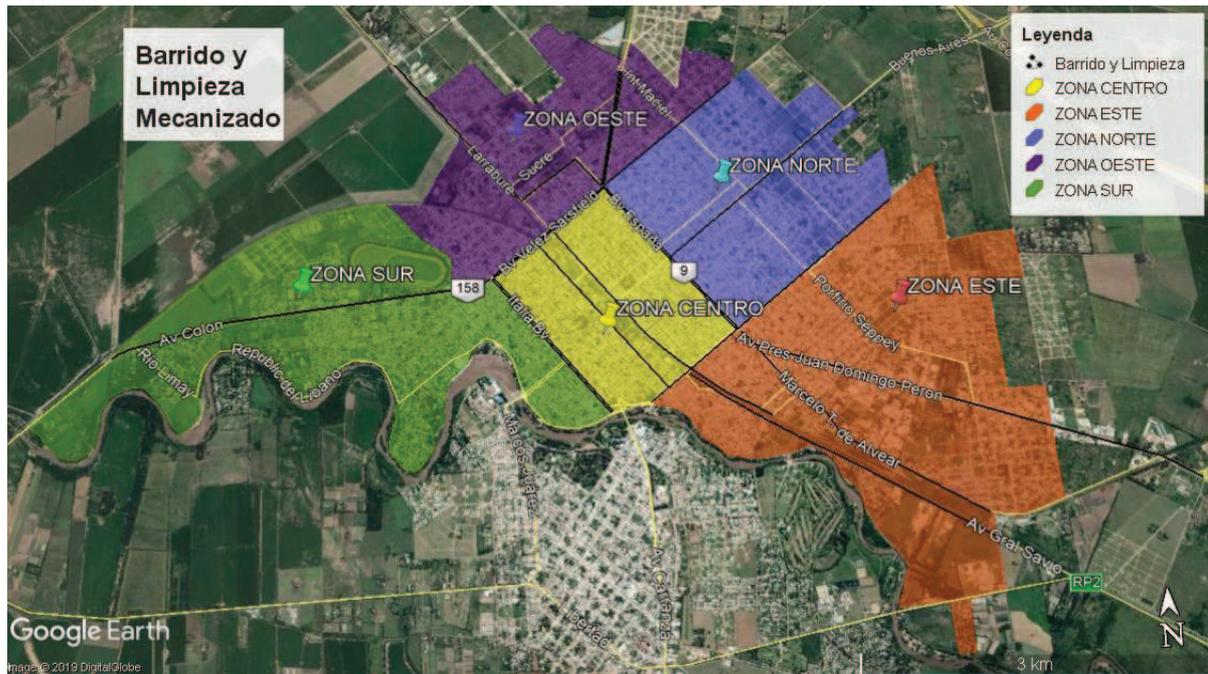


Figura 4.28: Barrido y Limpieza Mecánico
FUENTE: Google Earth.

Por lo tanto, para el barrido y limpieza mecanizado será necesario recorrer un total de 38,9 km/día. Para este fin, serán necesarios dos barredoras mecánicas Marca Scorza (*Modelos AS 6500 y GM 636*) para el barrido y limpieza mecanizado de rutas y avenidas y calles.

Barredora mecánica Scorza (Modelo AS 6500, Figura 4.29): 1 unidad

- Barredora de calles por sistema de aspiración
- Dimensiones generales
 - Largo: 6,5 m
 - Alto: 3,1 m
 - Ancho: 2,55m
- 2 Cepillos laterales de $\varnothing 700$ mm, con posicionado lateral y de altura automáticos, con control de velocidad comandados desde cabina.
- 1 Cepillo central transversal, de $\varnothing 450$ mm, auto-suspendido y amortiguado neumática e hidráulicamente con control de angulación, posicionado automático.
- 2 Toberas de aspiración, construidas en chapa de acero anti desgaste, montadas sobre carro con ruedas reforzadas, totalmente regulables, con riego interior, izaje neumático comandado desde cabina. Posibilidad de barrido con ambos cepillos laterales al mismo tiempo.
- Ancho de barrido con los dos cepillos laterales y cepillo central: 3,6 m.
- Ancho de barrido con un cepillo lateral y cepillo central: 2,5 m.



Figura 4.29: Barredora automática Modelo AS 6500
FUENTE: Scorza.

Barredora mecánica Scorza (Modelo GM 636, Figura 4.30): 1 unidad

- Dimensiones generales
 - Longitud: 3,45 m.
 - Alto: 1,98 m.
 - Ancho: 1,14 m.
 - Peso: 950 kg.
 - Base de ruedas: 1,400 m
- Dimensiones de giro de cordón a cordón: 3,25 m
- Ancho de barrido: 1,2 m a 2,05 m
- Velocidad de traslado de 40 km/h



Figura 4.30: Barredora automática Modelo GM 636
FUENTE: Scorza.

Para el barrido y limpieza manual se tomó un rendimiento de recolección por barrendero de 2km/día. Este barrido será luego recogido por los camiones recolectores de residuos húmedos mencionados en apartados anteriores y llevados luego al Complejo Ambiental.

El barrido y limpieza manual se llevará a cabo en plazas y espacios verdes de la Ciudad y sus alrededores. A saber:

- Parque Pereira y Domínguez (Zona Oeste, 5 manzanas)
- Parque de la Vida (Zona Centro, 1 manzana)
- Plaza Centenario (Zona Centro, 1 manzana)
- Plaza San Martín (Zona Centro, 1 manzana)
- Plaza Independencia (donde se emplaza la Municipalidad en la Zona Centro de la Ciudad, 1 manzana)
- Plaza Belgrano (Zona Centro, 1 manzana)

4.2.6 Maquinaria y equipos para el proceso de compostaje

Los restos de poda serán retirados de los domicilios en Camiones Roll-Off (Scorza Modelo ROS 20 de 20 ton de capacidad) previo llamado telefónico a la Municipalidad.

Los equipos a utilizar en la Planta de Compostaje serán una trituradora de restos de poda, una volteadora de compost para su aireación y un trómel para la limpieza del mismo.

La trituradora será de industria brasilera marca *Lippel*, *Modelo Chipeador Forestal PFL 300 x 500 M* que permite chipear arbustos, ramas, maderas y troncos de hasta 300 mm de diámetro

Esta trituradora tiene una producción de 45 m³/h y genera un chipeado homogéneo y de alta calidad de varias clases de maderas.

El equipo necesario para el volteo del compost determinará el tamaño de la planta, la separación entre hileras y tamaño de pilas. Se utilizará una volteadora RCO desarrollada mediante un convenio de asistencia técnica entre el INTA y El Pato Maquinarias Agrícolas SRL para la correcta remoción, aireación y humectación del compost. Esta volteadora de arrastre se acopla a un tractor que le permitirá mover la pila de compost de una forma homogénea. Además, permite trabajar con mayor velocidad, aumentando la cantidad de m³ por hora. De esta manera se logra mayor eficiencia y menor costo operativo. Cuenta con un sistema de aspersión por gravedad que no requiere la utilización de una bomba, disminuyendo de esta forma el costo de mantenimiento.

Para la etapa de post-tratamiento será necesario un trómel de limpieza de compost que permitirá obtener un producto final con una granulometría apta para su comercialización. Este trómel será marca Residuos Di-3R *Modelo Di3r.tr.c* que posee un rendimiento de 4 ton/h.

4.2.6.1 Características de los equipos de compostaje

Trituradora de compost (Modelo Chipeador Forestal PFL 300 x 500 M, Figura 4.31): 1 unidad

- Entrada de apertura vertical: 300mm
- Entrada de apertura horizontal: 520mm
- Producción: 45 m³/h
- Tamaño de Chip: a mm
- Accionamiento: Motor Diésel



Figura 4.31: Chipeadora forestal PFL 300 X 500 M
FUENTE: LIPPEL, 2019.

Volteadora de compost (Modelo RCO, Figuras 4.32 y 4.33)

- Ancho de labor: 2m.
- Alto máximo de la pila 1.50m.
- Ancho de transporte 3.15m.
- Rotor de 8" con paletas intercambiables construidas en acero SAE 1045.

- Tanque de 750 litros con sistema de aspersión por gravedad (no requiere bomba).
- Velocidad rotor 292 rpm, para toma fuerza del tractor de 540 RPM.
- Potencia mínima recomendada 60 HP.



Figuras 4.32 y 4.33: Volteadora RCO
FUENTE: *El Pato Maquinarias SRL en conjunto con el INTA.*

Trómel para limpieza de compost (Modelo *Di3r.tr.c*, Figura 4.34): 1 unidad

- Moto reductor helicoidal.
- Tolva de acopio y alimentación accionado conjuntamente con el rotor del trómel.
- Boca de descarga tolva: 2m x 1m.
- Diseñado para ser operado en todas las funciones desde pala cargadora por medio de un solo operario.
- Rendimiento aproximado de 4 ton/h.

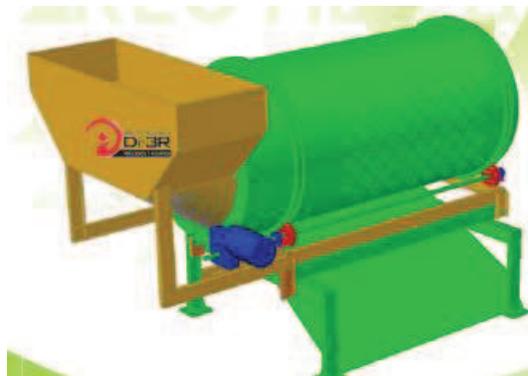


Figura 4.34: Trómel para limpieza de compost. Modelo *Di3r.tr.c*
FUENTE: *Residuos Di-3R.*

4.2.7 Maquinaria para la construcción de los módulos de disposición final

Los residuos serán colocados y compactados en el relleno sanitario utilizando una Retroexcavadora sobre orugas Marca *Michigan Modelo ME230F* de 112 KW.

Esta retroexcavadora cuenta con las siguientes características:

- Capacidad de balde excavador (hasta): 1 m³
- Capacidad de balde frontal (hasta): 6.500 mm

- Peso Operativo: 21.800 Kg
- Largo total: 9.379 mm
- Ancho máximo: 2.980 mm
- Altura máxima: 3.300 mm
- Largo del Brazo: 5.700 mm
- Radio de giro: 2.350 mm
- Motor - Potencia: 112 KW / 150 HP
- Rodado - Tipo: Oruga
- Rodado - Medidas: 800 mm

4.2.8 Recursos Humanos

Los recursos humanos necesarios en el funcionamiento de la Recolección de Húmedos y Secos, Planta de Separación y Clasificación, Compostaje y Barrido y limpieza se observan en la Tabla IV. XV. En todos los casos, los operarios deben contar con una previa capacitación sobre buenas prácticas en los procesos desarrollados.

Tabla IV.XV: Recursos humanos

FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de la Municipalidad de Villa María, COTRECO y Röben, 2002.*

RECURSOS HUMANOS		
FUNCIÓN	Nº PERSONAL POR SECTOR	COMENTARIOS/JUSTIFICACIÓN
Recolección de Residuos Húmedos y Diferenciados		
Administrativo	2	-
Chofer	22	8 choferes para Rec diurna de Húmedos, 9 para nocturna y 3 para Rec de Diferenciados + 2 reemplazos
Recolector	44	16 recolectores para Rec diurna de Húmedos, 18 para nocturna y 6 para Rec de Diferenciados + 4 reemplazos
Mantenimiento	4	-
Supervisor	3	(un supervisor diurno de R.Hum, un supervisor nocturno de R.Hum y un supervisor de R.Dif)
Barrido y Limpieza		
Barrendero para barrido automático	3	1 barrendero para cada modelo de barrido mecanizado + 1 reemplazo
Barrendero para barrido manual	8	6 barrenderos en actividad + 2 reemplazos
Supervisor	1	-
Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada		
Operarios	17	1 operario de tolva y cinta de alimentación + 10 operarios para cinta de clasificación + 2 operarios para cinta transversal de vidrios y rechazos + 2 operarios para compactador hidráulico + 2 reemplazos
Mantenimiento	2	-
Supervisor	1	Con formación técnica

Planta de Compostaje		
Operario	8	1 operario/3ton diarias de compost para tratamiento (Roben, 2002) + 1 operario para trituradora + 1 operario para trómel+ 1 reemplazo
Mantenimiento	1	
Supervisor	1	Con formación técnica
Módulos de disposición final (según Röben, 2002)		
Jefe de Relleno	1	Ing. Civil
Sub-jefe de Relleno	1	Ing. Ambiental
Responsable de balanza	2	
Chofer de retroexcavadora sobre orugas	3	
Chofer de camión u otra maquinaria necesaria en el relleno	2	
Obrero para mantenimiento de vehículos utilizados para disposición final	2	
Obrero de relleno sanitario	4	Para construcción de chimeneas, limpieza de canales de drenaje, acopio de suelo vegetal para cobertura diaria
Guardia de seguridad	2	Control de ingreso-egreso de camiones, control de ingreso de personal, registro en balanza, presencia continua sobre el relleno
Administrativos	2	

4.3 Conclusiones

A partir del análisis de las alternativas propuestas-*teniendo en cuenta los costos de inversión inicial, operación y superficie requerida*-, se optó por un Complejo Ambiental que cuenta con:

- Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada
- Planta de Compostaje en pilas de volteo mecánicas sin aireación artificial.
- Relleno Sanitario con tratamiento de lixiviados y gases.

CAPÍTULO V

MEMORIA DE CÁLCULO

En este capítulo se realizará el diseño del sistema ingenieril de tratamiento y disposición final. Es decir, se dimensionará el módulo y las celdas de disposición final en conjunto con el sistema de tratamiento pasivo de gases de vertedero en área en estudio.

5.1 Diseño de la Planta de Compostaje (PdC)

Como se mencionó en el capítulo anterior, se construirá una planta de compostaje para residuos orgánicos provenientes de espacios verdes y restos de poda (REV). Los mismos, contarán con un triturado previo que les permitirán obtener partículas con el tamaño adecuado para el compostaje.

La PdC constará de pilas con volteo mecánico y aireación natural. El diseño de la misma será desarrollado en los apartados siguientes.

5.1.1 Características de los residuos a compostar

Según la Agencia de Residuos de Cataluña, la fracción vegetal de los residuos urbanos, que abarca tanto a los residuos de espacios verdes como a los restos de poda, tiene las siguientes características:

- Humedad baja (20 a 40%).
- Materia orgánica: 1,2%.
- Relación C/N: 32/1.
- Densidad: 300-400 kg/m³ (cuando el material se encuentra triturado).

La fracción orgánica que incluye también restos de alimentos, tiene mayor humedad y mayor porcentaje de materia orgánica y una densidad de 600 a 800 kg/m³. Sin embargo, la relación C/N es de 17/1.

5.1.1.1 Mezcla de C/N óptima

Para obtener una relación C/N óptima se analizó la mezcla de tres componentes de la materia orgánica: restos de poda, hojas de árboles y madera. Se utilizó la técnica para la formulación de mezclas de compostaje descrita por Tchobanoglous en 1993 (Ecuación 5.1).

$$R = \frac{Q_1(C_1*(100-M_1)) + Q_2(C_2*(100-M_2)) + Q_3(C_3*(100-M_3)) + \dots}{Q_1(N_1*(100-M_1)) + Q_2(N_2*(100-M_2)) + Q_3(N_3*(100-M_3)) + \dots} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

donde:

- **R**= Relación C/N
- **Q_n**= Masa del material n

- **Cn**= % de carbono del material n
- **Nn**= % de nitrógeno del material n
- **Mn**: % de humedad del material n

La *Universidad de Cornell* en Estados Unidos, calcula la relación C/N ingresando los siguientes datos (Tabla V.I):

Tabla V.I: Relación C/N de la mezcla de restos verdes y de poda

FUENTE: Tchobanoglous et. al, 1993; Cornell University, 1996.

Componente	% de Agua	Peso	% Carbono	% Nitrógeno
Restos de poda	70	44	44	1
Hojas de árboles	60	44	18	1
Madera	20	4	40	1
Relación C/N de la mezcla			30,16	

Uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta durante el compostaje es que se debe mantener una aireación periódica de la pila y un riego frecuente para lograr una humedad constante del 65 al 70%. En este caso, será por aspersión.

Asimismo, se debe controlar la temperatura y el pH para lograr un compost maduro y de calidad.

5.1.2 Dimensionamiento de pilas de compostaje

En primer lugar, se debe realizar una limpieza del sitio de emplazamiento de la planta de compostaje. Esta limpieza deberá retirar la capa orgánica del suelo y realizar una nivelación del terreno para obtener pendientes menores al 5%.

Para el dimensionamiento, el primer factor a tener en cuenta es la cantidad de residuos sólidos que ingresan diariamente al proceso de compostaje.

A partir del análisis de los residuos diferenciados y restos, podemos identificar que se generarán entre 11,59 y 15,79 ton residuos orgánicos para compost/día laboral, para el año 2020 y 2045, respectivamente. La planta de compostaje funcionará dentro del Complejo Ambiental por lo que los días laborales serían seis (de lunes a sábado).

Para el diseño de las pilas de compostaje no es aconsejable la conformación de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura serían muy bruscas. Sin embargo, en plantas donde no hay aireación artificial, el tamaño de las pilas se ve limitado para evitar las condiciones anaeróbicas (Röben, 2002). La altura será de 1,5m y la base, el doble de la altura, es decir, 3m. Estas dimensiones nos permitirán obtener una buena relación superficie/volumen.

El tiempo de compostaje (T_c) se define como el tiempo transcurrido desde la conformación de una pila o hilera hasta la obtención de un compost estable.

Como se mencionó en el Capítulo 3, el Tc varía de acuerdo a las características de los residuos a compostar, las condiciones climáticas del lugar, el desarrollo de microorganismos y las características del producto final que se desea obtener. Generalmente, este tiempo es entre 90 días (para sistemas con aireación y riego automático) y hasta 120 o 180 días (aireación natural) para los residuos orgánicos municipales.

Las pilas de compost a lo largo de las semanas estarán separadas por un pasillo, cuyas dimensiones estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación. Si la operación es mecanizada, como en este caso, los pasillos deben tener el ancho suficiente para que la máquina pueda moverse y realizar la remoción de los montones siendo el más adecuado un ancho de 4 m.

5.1.2.1 Área para la Recepción y Selección Previa de Residuos a compostar

El área de pre-tratamiento será el sector de acopio de materias primas y triturado de restos de poda que se incorporarán al proceso de compostaje. La misma tendrá una superficie de 625m² (25m x 25m).

5.1.2.2 Área de tratamiento

Para el cálculo del área de compostaje se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **R:** Residuos a recibir en la PdC (ton/día)
- **V:** Volumen de residuos por día (m³)
- **VT:** Volumen total de residuos para el proceso de compostaje (m³)
- **h:** altura de las pilas= 1,5m
- **B:** ancho de base de las pilas= 3m (en fase de descomposición) y 2m (en fase de maduración)
- **D:** Densidad de los residuos a compostar= 0,35 ton/m³
- **Tc:** 60 días para la etapa de descomposición y otros 30 para la maduración.
- **L:** Longitud total de la pila (m)
- **LI:** Longitud total de la fila estándar de degradación (7 días de material acumulado) = 75m
- **AT:** Área total de las pilas de residuos en el proceso de degradación aeróbica (m²)
- **N:** Número de pilas
- **Ei:** Espacio entre hileras para realizar el volteo de los residuos orgánicos (m)
- **Aq:** Área de circulación para maquinaria (m²)
- **AI:** Área de espacio interno entre pilas (m²)
- **ATI:** Área total interna (inter pilas) (m²)
- **AC:** Área de compostaje (m²)
- **AF:** Área de fermentación (m²)
- **AM:** Área de maduración (m²)

El cálculo del volumen de residuos por día y total, se puede observar en las Ecuaciones 5.2 y 5.3. Para las mismas se analiza la cantidad de residuos a compostar por día de trabajo, la densidad de los residuos y el tiempo necesario para la obtención de compost fermentado o maduro según corresponda.

$$V(m^3) = \frac{R}{D} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

$$VT(m^3) = V * Tc \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Se debe tener en cuenta que en la etapa de maduración el volumen del compost se reduce a la mitad y por tal motivo las ecuaciones anteriores se verán modificadas por un factor 2.

Las pilas de compost serán triangulares. Para el cálculo de la longitud total de la pila, el número de hileras y el área total de las pilas de residuos en el proceso de degradación y maduración, se utilizarán las Ecuaciones 5.4, 5.5 y 5.6, respectivamente. En la etapa de descomposición la base tendrá un ancho de 3m mientras que en la maduración será de 2m. Esta disminución permite un mejor tránsito de maquinaria y personal de manera que se pueda retirar el compost una vez maduro.

$$L = \frac{VT}{\frac{b*h}{2}} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

$$N = \frac{L}{Li} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

$$AT = Li * B * N \quad \text{Ecuación 5.6}$$

La longitud estándar de la pila de compostaje (Li) es variable. En plantas pequeñas se recomienda un largo entre 10 a 15 m, en plantas grandes o con sistema de volteo mecánico puede alcanzar un largo de hasta 100m. En este caso, se optó por un largo de 75m.

Para calcular el número de espacios entre las pilas se utiliza la Ecuación 5.7.

El volteo de las pilas será mecánico por lo que la distancia entre las mismas será de 4m para el correcto tránsito de maquinarias (Ecuación 5.8). Este valor representa el área de circulación de maquinaria de volteo (Aq).

$$EI = N - 1 \quad \text{Ecuación 5.7}$$

$$Aq = Li * 4m \quad \text{Ecuación 5.8}$$

Las Ecuaciones 5.9 y 5.10 representan el área de espacios internos entre pilas y el área total interna, respectivamente.

$$AI = \frac{(Li*B)}{2} \quad \text{Ecuación 5.9}$$

$$ATI = Aq + (AI * EI) \quad \text{Ecuación 5.10}$$

El área de compostaje se muestra en la Ecuación 5.11 y es la suma del área total de pilas y área total interna. Asimismo, la Ecuación 5.12 representa la suma de las superficies requeridas en las dos etapas de tratamiento de compost.

$$AC = AT + ATI \quad \text{Ecuación 5.11}$$

$$ACT = AF + AM \quad \text{Ecuación 5.12}$$

Se utilizaron las Ecuaciones 5.2 a 5.12 para confeccionar la Tabla V.II desarrollada a continuación. La misma muestra el área necesaria para la etapa de tratamiento de compost en el 2045, año utilizado para el diseño de esta infraestructura.

Para el año 2020 se necesitarían aproximadamente 0,54 ha para el tratamiento.

Tabla V.II: Área de tratamiento de compost

FUENTE: *Elaboración personal.*

Área para pilas de compostaje de restos verdes y poda			
	Sigla	ETAPA DE FERMENTACIÓN PRINCIPAL	ETAPA DE MADURACIÓN
Residuos por día laboral para 2045 ton	R	15,79	
Densidad de residuos a compostar ton/m ³	D	0,35	
Volumen por día laboral m ³ /día	V	45,10	22,55
Tiempo de compostaje días	Tc	60	30
Volumen Total m ³	VT	2.706,29	676,57
Base m	B	3	2
Altura m	h	1,50	
Longitud total de la pila m	L	1.202,79	451,05
Longitud ideal de la pila m	LI	75	
Número de pilas	N	16	6
Área total m ²	AT	3608,38	902,10
Espacios internos	EI	15	5
Área de circulación de maquinaria de volteo m ²	Aq	300,00	
Área de espacio interno m ²	AI	112,50	75,00
Área total interna m ²	ATI	1.991,69	676,05
Área de compostaje m ²	AC	5.600,07	1.578,14
Area total de tratamiento ha	ACT	0,72	

5.1.2.3 Área de cribado y empacado

Para el post-tratamiento se realizará la construcción de un tinglado de aproximadamente 1000m² (20 x50m) y 5m de altura para el guardado y mantenimiento de la chipeadora y

removedora de compost. Asimismo, este espacio estará destinado a albergar el trómel necesario para lograr un producto comercializable.

Teniendo en cuenta los apartados anteriores, el área de compostaje total será de aproximadamente 0,9ha.

5.1.3 Tratamiento de emisiones y lixiviados en plantas de compostaje

No es necesario el tratamiento de emisiones en las plantas manuales o mecanizadas sin aireación artificial. El tratamiento del aire contaminado es necesario para plantas de compostaje mecanizadas con aireación forzada cercanas a un área habitada.

El terreno en donde se realizará la PdC debe ser arcilloso. Las pilas serán dispuestas en suelo compactado impermeabilizado con bentonita para evitar filtraciones a la napa.

Habitualmente, las zonas destinadas a la etapa de descomposición deben contar necesariamente con una solera pavimentada con hormigón o asfalto y una pendiente adecuada para recoger los lixiviados. Sin embargo, si el compost generado corresponde solo a una fracción vegetal, como es el caso del compost producido en Villa María, la etapa de descomposición se podría efectuar sobre una superficie de tierra.

Si en el compost además de la fracción vegetal, fuese realizado con restos de alimentos, el mismo generará lixiviados que deberán ser tratados.

5.2 Diseño y construcción de los módulos de disposición final

El módulo a construir consiste en una unidad de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transiten los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos.

Desde el punto de vista constructivo, el módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo o se filtren hacia la napa subterránea. Asimismo, los módulos se subdividen en sectores o zanjas mediante bermas de separación (terraplenes de menor altura) impermeabilizadas artificialmente con membranas de HDPE.

Las celdas se originan en la división de los sectores en unidades menores.

Para formar la celda de residuos sólidos con el fin de proporcionar una mayor compactación, mejor drenaje superficial y una mayor estabilidad del relleno, se colocarán las capas de residuos sólidos con una pendiente de 2:1 (avance: altura).

Se prevé la construcción de un módulo, el cual se dividió en sectores o zanjas. La secuencia de llenado será tal que se comenzará a distribuir y compactar los residuos sobre el talud, con un frente de trabajo de 6 m.

Para el dimensionamiento del módulo y las celdas del relleno sanitario, se utilizó la bibliografía provista por la Cátedra de Residuos Sólidos 2018 de la UNSAM.

Asimismo, para los cálculos se tuvieron en cuenta ciertos parámetros, dos de ellos son detallados a continuación:

- *Días laborales*: 6 días a la semana (se excluyen los domingos), lo que equivale a 26 días al mes y 313 días al año.
- *Densidad de residuos sueltos normalmente descargados en el relleno*: entre 300 y 600 kg/m³ aproximadamente. Se tomará un valor de 550 kg/m³ (Tchobanoglous, 2002).

A modo de resumen, los residuos a disponer en el relleno sanitario son:

- ✓ Residuos húmedos de B° de VM con recolección diferenciada.
- ✓ Residuos húmedos de B° del VM sin recolección diferenciada.
- ✓ Residuos no diferenciados de B° del VM con recolección diferenciada.
- ✓ Residuos no diferenciados de B° del VM con Puntos Limpios.
- ✓ Residuos provenientes del rechazo de la Planta de Separación y Clasificación

La sumatoria de estos residuos corresponde a 70,19 ton/día laboral para el año 0 (2020) y 95,64 ton/día laboral para el año 25 (2045).

5.2.1 Pasos a seguir para el dimensionamiento

5.2.1.1 Cálculo del Volumen de Relleno Sanitario

En primer lugar, para obtener el volumen diario de residuos se utilizó la Ecuación 5.13 que relaciona la producción diaria de los mismos en el año correspondiente, con la densidad de los residuos recién compactados. Asimismo, teniendo en cuenta el número de días laborables al año, se calculó el volumen anual (Ecuación 5.14):

$$VD \text{ diario } \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = \frac{PDR}{\rho_{DSRC}} \quad \text{Ecuación 5.13}$$

$$VD \text{ anual } \left(\frac{m^3}{\text{año}} \right) = VD_{\text{diario}} * 313 \text{ días} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

donde:

- **PDR**: Producción diaria de residuos en el año correspondiente, medido en kg/día.
- **ρ_{DS}** : Densidad de los residuos sólidos recién compactados= **550 kg/m³**

Sabiendo que el material de cobertura representa aproximadamente un 20% del volumen de residuos sólidos a disponer (MC=1,2), se determina el volumen requerido por año en el relleno (VAR) a partir de la Ecuación 5.15:

$$VAR = V_{Danual} \left(\frac{m^3}{año} \right) * MC \quad \text{Ecuación 5.15}$$

De esta forma, el volumen total requerido para el relleno sanitario en sus años de operación será la suma de los volúmenes requeridos por año.

5.2.1.2 Cálculo del Área requerida para el Relleno Sanitario

Conociendo el volumen requerido por año y teniendo en cuenta la altura de las celdas, se determina el área requerida por año (Ecuación 5.16). La altura o profundidad de la celda recomendada en rellenos mecanizados no debe ser mayor a 3m para evitar la compactación insuficiente.

$$ARS = \frac{VAR}{h} \quad \text{Ecuación 5.16}$$

donde:

- **ARS:** Área requerida para el relleno sanitario (m²)
- **VAR:** Volumen anual requerido (m³/año)
- **h_{celda}:** Altura o profundidad promedio de la celda= **3m**

Asimismo, debe considerarse un 20% extra de terreno (Ecuación 5.17) el cual será necesario para construir infraestructura complementaria (vías de acceso, estacionamiento, oficinas administrativas y laboratorio, etc.)

$$ARS_{TOTAL} = 1,2 * ARS \quad \text{Ecuación 5.17}$$

5.2.1.3 Dimensionamiento de la zanja

Para el cálculo de las dimensiones de la zanja se comenzará obteniendo el volumen de la misma.

La vida útil de la zanja (t) debe ser de 30 a 90 días. A fines prácticos, resulta más fácil utilizar días calendario en los cálculos para así generar 12 zanjas por año. Sabiendo que el mes laboral en el relleno del VM tendrá 26 días hábiles, se utilizará este valor como tiempo de vida útil.

Conociendo entonces el PDR y la vida útil de las zanjas, definimos el volumen de estas a partir de la Ecuación 5.18 como:

$$V_{zanja} = \frac{t * PDR * MC}{\rho DSRC} \quad \text{Ecuación 5.18}$$

donde:

- **V_{zanja}:** Volumen de la zanja (m³/mes)
- **t:** Vida útil de la zanja= **26 días**
- **PDR:** Producción diaria de residuos en el año correspondiente, medido en kg/día.

- **MC:** Material de cobertura definido como el 20% del volumen de residuos sólidos compactados.
- ρ_{DSRC} : Densidad de los residuos recién compactados= **550kg/m³**

El ancho de la zanja (*azanja*) equivale al frente de trabajo necesario para que los vehículos recolectores puedan descargar y compactar los residuos adecuadamente. Teniendo en cuenta esto, el ancho de la misma puede estar comprendido entre los 3 y los 6m. En este caso, el valor escogido es de 6m.

Para el largo o longitud de la zanja (*Lzanja*), se emplea el volumen de la misma, así como también el ancho y profundidad anteriormente definidos (Ecuación 5.19).

$$L_{zanja} = \frac{V_{zanja}}{azanja * h_{zanja}} \quad \text{Ecuación 5.19}$$

donde:

- **Lzanja:** Largo de la zanja (m)
- **Vzanja:** Volumen de la zanja (m³)
- **azanja:** Ancho de la zanja= **6m**
- **hzanja:** Profundidad de la zanja= **3m**

5.2.1.4 Dimensionamiento de las celdas

A partir de la producción diaria de residuos en el año correspondiente determinamos el volumen de la celda diaria que está dado por la Ecuación 5.20:

$$V_{celda} = \frac{PDR}{\rho_{DSRC}} * MC \quad \text{Ecuación 5.20}$$

donde:

- **Vcelda:** Volumen de la celda diaria (m³/día)
- **MC:** Material de cobertura definido anteriormente como el 20% del volumen de desechos sólidos compactados.
- ρ_{DSRC} : Densidad de residuos sólidos recién compactados (550kg/m³)

El área de la celda diaria se calcula a partir del volumen anteriormente obtenido, y la altura de la misma que era de 3m. (Ecuación 5.21):

$$Acelda = \frac{V_{celda}}{h_{celda}} \quad \text{Ecuación 5.21}$$

El largo o avance de la celda diaria viene dado por la Ecuación 5.22:

$$L_{celda} = \frac{Acelda}{acelda} \quad \text{Ecuación 5.22}$$

donde:

- **acelda:** Definido anteriormente en el ancho de zanja, que depende de los equipos utilizados. En este caso su valor es de 6m.

En la Tabla V.III se detallan los valores obtenidos para el dimensionamiento descrito anteriormente. El área necesaria total para el Complejo Ambiental a 25 años (teniendo en cuenta un 20% extra para Planta de compostaje, Planta de Separación y Clasificación e instalaciones secundarias) es de 60ha.

El módulo tendrá un volumen de 1.461.078 m³ y un área de 48,7ha. El largo será de 713m y el ancho de 683m.

Cada zanja tendrá una duración de un mes laboral (26 días) y además se construirá una celda por cada día laboral.

5.2.1.5 Rectificación del dimensionamiento de las celdas

El volumen real de las celdas es menor al calculado en el ítem anterior. Para corregir esto se utilizó la Ecuación 5.23 que describe el volumen de una pirámide truncada (Figura 5.1).

$$V_{real\ de\ la\ celda} = \frac{h}{3} (A1 * b + A2 * c + \sqrt{A1 * b * A2 * c}) \quad \text{Ecuación 5.23}$$

donde:

- **h:** Altura de las celdas= 3m
- **Pi:** Pendiente interna= 45°
- **A1:** Ancho interno de la base= 6m
- **A2:** Ancho= 12m (calculado a partir de Pi y h)
- **b y c:** Largo corregido de las celdas

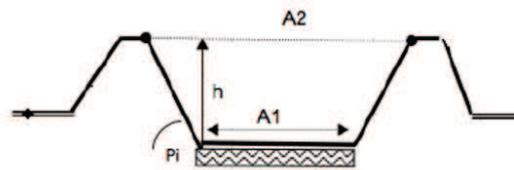


Figura 5.1: Rectificación del dimensionamiento de las celdas
FUENTE: Cátedra de Residuos Sólidos UNSAM, 2018.

Los valores obtenidos para el Volumen real se pueden observar en la última columna de la Tabla V.III.

Tabla V.III: Dimensionamiento de los módulos de disposición final

FUENTE: Elaboración propia.

Año	Restos Húmedos para disposición final ton/sem	Restos Húmedos para DF kg/día laboral	VD diario m3/día laboral	VD anual m3/año laboral	VAR m3/año laboral	ARS m2/año laboral	ARS Ha/año laboral	ARS TOTAL Ha/año laboral	Vzanja m3/mes	Lzanja m/mes	Vcelda m3/día	Acelda m2/día	Lcelda m/día	Vreal celda m3/día
2020	421,16	70.193,85	127,63	39.946,68	47.936,02	15.978,67	1,60	1,92	3.981,91	221,22	153,15	51,05	8,51	66,43
2021	426,41	71.067,76	129,21	40.444,02	48.532,82	16.177,61	1,62	1,94	4.031,48	223,97	155,06	51,69	8,61	69,24
2022	431,72	71.952,56	130,82	40.947,55	49.137,05	16.379,02	1,64	1,97	4.081,67	226,76	156,99	52,33	8,72	72,08
2023	437,09	72.848,36	132,45	41.457,34	49.748,81	16.582,94	1,66	1,99	4.132,49	229,58	158,94	52,98	8,83	74,96
2024	442,53	73.755,33	134,10	41.973,49	50.368,18	16.789,39	1,68	2,01	4.183,94	232,44	160,92	53,64	8,94	77,87
2025	448,04	74.673,58	135,77	42.496,06	50.995,27	16.998,42	1,70	2,04	4.236,03	235,33	162,92	54,31	9,05	80,82
2026	453,62	75.603,27	137,46	43.025,13	51.630,16	17.210,05	1,72	2,07	4.288,77	238,26	164,95	54,98	9,16	83,80
2027	459,27	76.544,53	139,17	43.560,79	52.272,95	17.424,32	1,74	2,09	4.342,16	241,23	167,01	55,67	9,28	86,82
2028	464,99	77.497,51	140,90	44.103,13	52.923,75	17.641,25	1,76	2,12	4.396,22	244,23	169,09	56,36	9,39	89,88
2029	470,77	78.462,35	142,66	44.652,21	53.582,65	17.860,88	1,79	2,14	4.450,96	247,28	171,19	57,06	9,51	92,98
2030	476,64	79.439,21	144,43	45.208,13	54.249,76	18.083,25	1,81	2,17	4.506,37	250,35	173,32	57,77	9,63	96,11
2031	482,57	80.428,23	146,23	45.770,97	54.925,17	18.308,39	1,83	2,20	4.562,47	253,47	175,48	58,49	9,75	99,29
2032	488,58	81.429,56	148,05	46.340,82	55.608,98	18.536,33	1,85	2,22	4.619,28	256,63	177,66	59,22	9,87	102,50
2033	494,66	82.443,35	149,90	46.917,76	56.301,32	18.767,11	1,88	2,25	4.676,79	259,82	179,88	59,96	9,99	105,76
2034	500,82	83.469,77	151,76	47.501,89	57.002,27	19.000,76	1,90	2,28	4.735,01	263,06	182,12	60,71	10,12	109,05
2035	507,05	84508,97	153,65	48093,29	57711,95	19237,32	1,92	2,31	4793,96	266,3	184,38	61,46	10,2	112,39
2036	513,37	85561,11	155,57	48692,05	58430,46	19476,82	1,95	2,34	4853,65	269,6	186,68	62,23	10,4	115,77
2037	519,76	86626,35	157,50	49298,27	59157,92	19719,31	1,97	2,37	4914,08	273,0	189,00	63,00	10,5	119,19
2038	526,23	87.704,84	159,46	49.912,03	59.894,43	19.964,81	2,00	2,40	4.975,26	276,40	191,36	63,79	10,63	122,65
2039	532,78	88.796,77	161,45	50.533,43	60.640,12	20.213,37	2,02	2,43	5.037,20	279,84	193,74	64,58	10,76	126,16
2040	539,41	89.902,29	163,46	51.162,58	61.395,09	20.465,03	2,05	2,46	5.099,91	283,33	196,15	65,38	10,90	129,70
2041	546,13	91.021,57	165,49	51.799,55	62.159,46	20.719,82	2,07	2,49	5.163,41	286,86	198,59	66,20	11,03	133,30
2042	552,93	92.154,79	167,55	52.444,45	62.933,34	20.977,78	2,10	2,52	5.227,69	290,43	201,06	67,02	11,17	136,94
2043	559,81	93.302,12	169,64	53.097,39	63.716,86	21.238,95	2,12	2,55	5.292,77	294,04	203,57	67,86	11,31	140,62
2044	566,78	94.463,73	171,75	53.758,45	64.510,14	21.503,38	2,15	2,58	5.358,67	297,70	206,10	68,70	11,45	144,35
2045	573,84	95.639,80	173,89	54.427,74	65.313,29	21.771,10	2,18	2,61	5.425,39	301,41	208,67	69,56	11,59	148,12
			VOLUMEN TOTAL REQUERIDO (m3)		1.461.078,23	ARS TOTAL (ha)		58,44						

La Figura 5.2 muestra el diseño y disposición general de celdas.

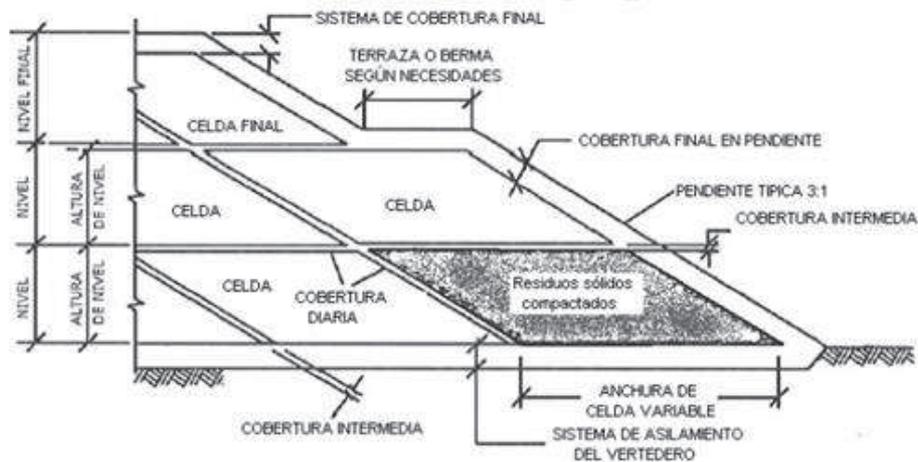


Figura 5.2: Diseño y disposición de celdas
FUENTE: Tchobanoglous, 2002.

5.2.2 Impermeabilización

El fondo y taludes son impermeabilizados con el objeto de evitar la migración de líquidos y gases hacia el exterior del módulo.

Para la aislación se contará con una capa de suelo de baja permeabilidad. La misma será de suelo-bentonita con un espesor de 0,6m y un coeficiente de permeabilidad $K_f \leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s. Esta barrera geológica se colocará tanto en el fondo como en taludes laterales, en tres capas de 0,2 m cada una compactándolas adecuadamente.

La preparación del fondo del módulo se realizará de manera que quede perfectamente nivelada y rodillada a efectos de obtener una base de asiento lisa y con las pendientes indicadas, dado que esta superficie constituye la base de apoyo para la posterior impermeabilización.

Sobre esta capa de suelo pondrá una membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 2000 μ para completar el cierre hidráulico. La misma será cubierta por una capa de suelo seleccionado y compactado de 0,30 m de espesor para protección de la membrana.

Por encima de la capa de polietileno se extiende la capa de drenaje de piedra bola. Su función es el drenaje de las aguas lixiviadas a fin de conducir estas a la Planta de tratamiento. Las piedras utilizadas serán de 6" para asegurar una buena permeabilidad hidráulica. Asimismo, el espesor de esta será de 50cm.

Sobre la capa de drenaje se coloca una capa de geotextil no tejido de 350 g/m², a fin de evitar que la primera se congestione con partículas sólidas escurridas en las aguas lixiviadas.

Es importante mencionar que no se requerirán todas las capas en cada ubicación.

5.2.3 Sistema de drenaje para lixiviados

Dentro de las celdas del relleno sanitario se generará escorrentía de lixiviados producto de diversos procesos químicos internos de los residuos depositados. Por consiguiente, se contará con un sistema de drenaje interno de la celda del relleno sanitario y un sistema de captación y conducción de los lixiviados al sistema de tratamiento más adecuado.

5.2.3.1 Sistema interno de drenaje en las celdas del Relleno Sanitario

Para evitar acumulaciones de aguas lixiviadas y asegurar una conducción rápida y eficiente a la planta de tratamiento, el fondo del relleno será diseñado mediante un sistema de drenaje interno denominado “espina de pescado”. Este consta de una red de evacuación de lixiviados diseñada con un ramal principal y varios ramales secundarios. El ramal principal confluye en el punto más bajo del relleno sanitario (Figura 5.3).

Las líneas de conducción serán a gravedad, con una pendiente mínima recomendada en el ancho del relleno (hacia el colector mayor de aguas lixiviadas) del 3%, mientras que la pendiente en el largo del relleno (hacia la planta de tratamiento) debe ser mayor al 1%.

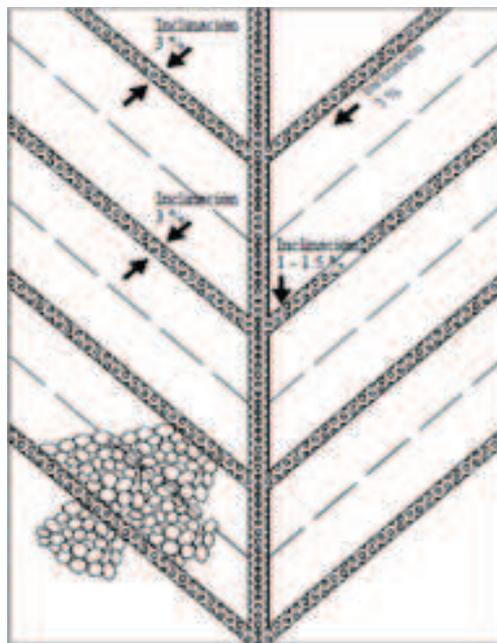


Figura 5.3: Colocación de la tubería de drenaje según el sistema “espina de pescado”
FUENTE: Röben, 2002

En este caso, el drenaje consistirá en tuberías ranuradas de PVC colocadas dentro de la capa de piedra bola para permitir que todas las aguas se percolen al interior del tubo. Este material fue elegido debido a que presenta bajos coeficientes de rugosidad, lo que implica una mayor eficiencia hidráulica.

Para simplificar el cálculo de la conducción mediante cañerías, se supone que el lixiviado que se transporta por las mismas es un fluido ideal, incompresible, irrotacional y que se mueve bajo régimen estacionario. Además, se considera régimen turbulento dentro de las cañerías de drenaje.

Las principales magnitudes geométricas de la sección transversal de una tubería son el diámetro nominal (DN) que corresponde a la designación técnica y comercial del diámetro de la tubería, el diámetro exterior (DE) que representa el máximo de sección de la tubería y el diámetro interior (DI) que corresponde al diámetro hidráulicamente aprovechable (ENOHSa).

Para el caso de las tuberías de PVC, el DN corresponde al DE y la clase de las tuberías es lo que define el espesor de la pared y, por lo tanto, la presión máxima que la instalación puede soportar.

El diámetro de las tuberías de PVC ranuradas puede variar entre 100 y 250 mm, dependiendo de la cantidad de residuos sólidos a depositarse y la precipitación pluvial. Para los colectores mayores, se recomiendan tubos con un diámetro de 250mm (Röben, 2002).

En las tuberías de impulsión de aguas residuales, la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. La velocidad máxima para tuberías de PVC es de 5 m/s, aunque generalmente se adopta un coeficiente de seguridad que lleva a fijar una velocidad media máxima admisible de 3 m/s o menor (ENOHSa).

El dimensionamiento de la red de lixiviados se realizó a través del software *HCANALES Versión 3.0* (Figura 5.4) . En este programa, además de las propuestas de los diámetros (d), se usaron los siguientes datos:

- Caudal= 425 m³/día (Ver apartado 5.6.1)
- Rugosidad del PVC= 0,011
- Pendiente= 0,03 m/m

Para saber cuál es el diámetro más adecuado se debe cumplir el siguiente criterio:

- La relación de tirante Y/d debe oscilar en el rango de 0,20-0,75.
- Se debe respetar la velocidad máxima admisible

Por lo tanto, la red estará constituida por tubería de PVC de 110 mm para los drenes secundarios transversales, cumpliendo los siguientes parámetros:

- La relación de tirante Y/d es 0,4154.
- La pendiente mínima en los tramos de conducción es de 3%.

- La velocidad mínima en los tramos de la red de aguas residuales es de 1,318 m/s.

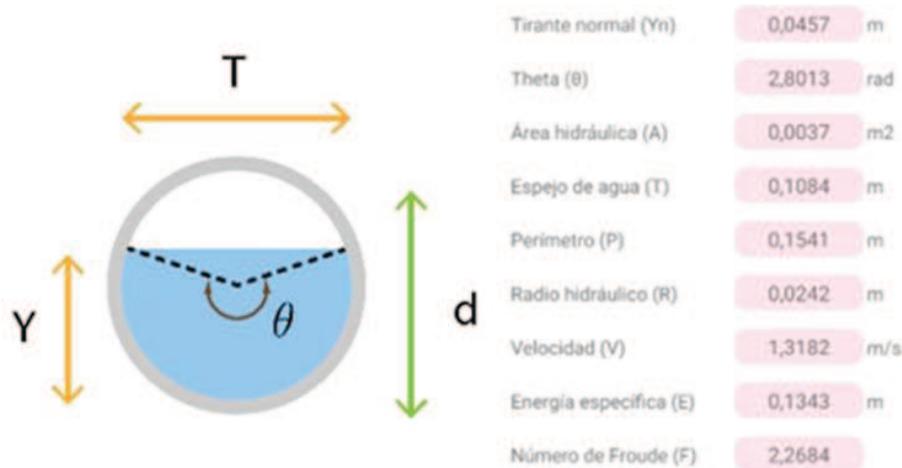


Figura 5.4: Cálculo del flujo sobre el dren secundario transversal utilizando Hcanales
FUENTE: Hcanales

Asimismo, el diámetro para el dren principal longitudinal será de 250mm, y estará conectado al dren secundario mediante ramal de PVC a 45° de 110 x 250 cada 50m.

El diámetro de los huecos en la tubería se debe determinar según las dimensiones de la piedra bola seleccionada. El área total de orificios tiene que ser superior a 100 cm²/m de tubo. Esto corresponde a orificios con un diámetro de 1 cm y una distancia entre ellos de 2.5 cm.

El drenaje interno para recolección de lixiviados diseñado y emplazado en el Complejo Ambiental se observa en la Figura 5.5.

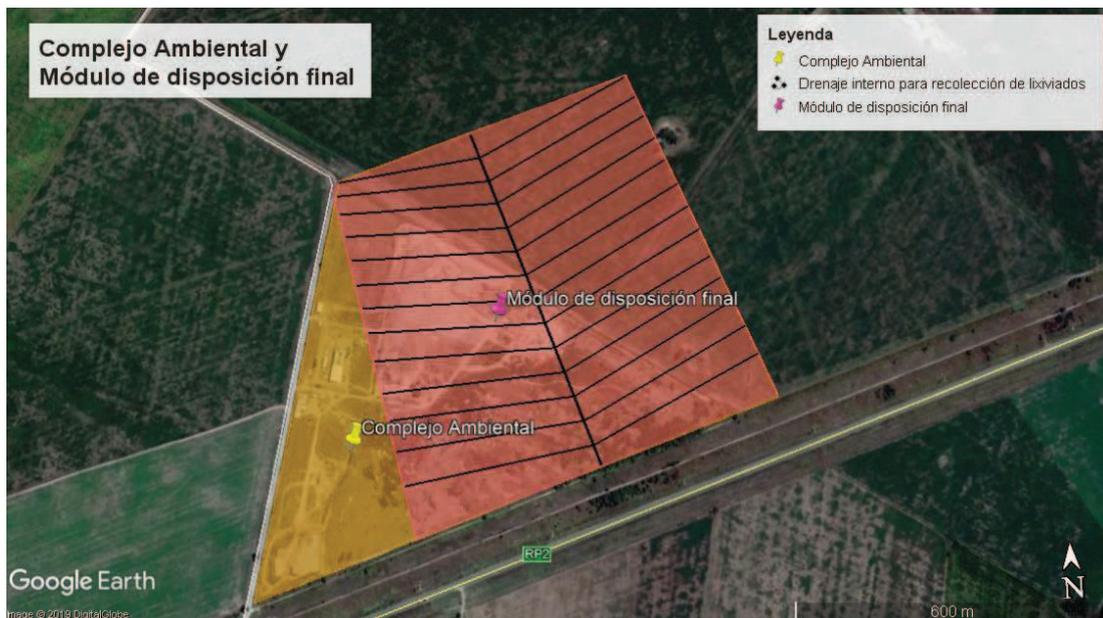


Figura 5.5: Drenaje interno para recolección de lixiviados en el Complejo Ambiental
FUENTE: Google Earth.

Posterior al drenaje interno, se debe captar y conducir el lixiviado a la Planta de tratamiento.

5.3 Metodología operativa en el Relleno Sanitario

5.3.1 Distribución y compactación

Cuando los residuos son descargados en la celda en operación, los mismos son empujados hacia el interior de esta celda por medio de un tractor sobre orugas. La distribución de los residuos es tal que permite que los espesores no sean mayores a los 0,3m, empujándolos en pendiente y alejándolos de la zona de descarga.

Las tareas de distribución y compactación son realizadas en simultáneo para lograr un mejor desgarramiento y desmenuzamiento de los residuos y envases dispuestos.

Se estima que un mínimo de tres pasadas del equipo por cada punto de cada capa de 0,3m de espesor logra una buena trituración y compactación, siempre y cuando la distribución de los desechos haya sido realizada correctamente.

5.3.2 Cobertura

5.3.2.1 Cobertura diaria

Al final del día laboral se procede a cubrir los residuos con una capa de suelo compactada de 0,2m proveniente de la zona de acopio. Esto se realiza a efectos de:

- mitigar el arrastre de vientos y olores
- evitar la proliferación de vectores
- minimizar la producción de lixiviados
- facilitar la compactación más homogénea de la masa de residuos
- minimizar el riesgo de incendios
- agilizar el inicio de la fase metanogénica al crear un ambiente reductor
- facilitar el acceso y movilidad de los vehículos para descargas posteriores

5.3.2.2 Cobertura final

Según la Res 1143/02 de la Prov. de Bs As, a medida que los residuos llegan a las cotas finales del proyecto en cada celda, se procede a ejecutar la cobertura final en el sector específico de la siguiente manera, de abajo hacia arriba:

- capa de suelo del lugar de 20 cm de espesor mínimo para emparejamiento de residuos.
- capa de suelo arcilloso compactado de baja permeabilidad, con 40 cm de espesor como mínimo, a efectos de: minimizar el ingreso de agua de lluvia que generaría lixiviado, evitar la emanación de olores, proliferación de vectores como insectos y roedores y posibilitar que comience la etapa de descomposición anaeróbica de los residuos.

- capa de suelo vegetal, con un espesor igual o mayor a 20 cm, extraído y acopiado previamente durante el proceso de preparación del módulo que permitirá el crecimiento de vegetación en superficie.

En aquellas superficies de residuos que no llegaron a su cota y que no están en operación, se realiza una cobertura provisoria con una capa de suelo compactado de 40cm. Esta secuencia debe continuarse hasta que el sector se complete y los residuos lleguen a la cota final.

Asimismo, la superficie superior del módulo debe ser uniforme y libre de depresiones que permitan y/o faciliten la acumulación de agua sobre el terreno, y en el caso que se originen asentamientos diferenciales se debe proceder a su corrección.

La pendiente mínima sobre el relleno a nivel final de proyecto, en cualquier punto de la topografía es del orden del 5 % (entre 3-6%) para favorecer el escurrimiento y reducir la acumulación de agua en la superficie de los módulos.

El resumen de las capas de impermeabilización y de cobertura diaria se muestra en la Tabla V. IV.

Tabla V.IV: Tipo de cobertura (1 indica la cobertura superior, y 9 la inferior)

FUENTE: Tchobanoglous, 2002; CORMECOR, 2015.

N° DE CAPAS	TIPO DE COBERTURA	ESPESOR
1	Suelo vegetal	0,2m
2	Suelo de baja permeabilidad	0,4m
3	Suelo seleccionado	0,2m
4	Residuos	variable
5	Geotextil no tejido de 350g/m ²	
6	Capa de drenaje de piedra bola	0,5m
7	Suelo seleccionado compactado	0,3m
8	Membrana HDPE	2000 μ
9	Suelo-bentonita	0,6m

5.3.3 Drenaje pluvial externo

Como se mencionó en capítulos anteriores, el drenaje pluvial tiene la función de interceptar y desviar el escurrimiento de agua de lluvia fuera del relleno sanitario por medio de cunetas perimetrales.

Para obtener las dimensiones de la canaleta será necesario calcular el tamaño de desagüe utilizando la fórmula de Manning (Ecuación 5.24):

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{A * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Ecuación 5.24}$$

donde:

- **Q:** Caudal de desagüe (m³/s)
- **A:** Área de sección del canal (m²)
- **S:** Pendiente longitudinal del canal (se asume una pendiente del 2%)
- **n:** Coeficiente de Manning= 0,023 para canales de tierra rectos y bien conservados (Ven Te Chow, 1959)
- **Rh:** Radio hidráulico

El cálculo del caudal que influirá sobre el relleno sanitario por efecto de las aguas pluviales se calcula empleando el Método Racional, que es un procedimiento muy empleado para estimar el escurrimiento en áreas urbanas, principalmente para el caso de cuencas poco extensas.

El caudal máximo de diseño se calcula a través de la ecuación empírica de Q= CIA, el cual está en función del coeficiente de escorrentía del suelo, la intensidad pluvial máxima de la zona y el área de la cuenca, respectivamente. Asimismo, la escorrentía es una variable que depende de tres factores como son el uso y tipo de suelo y la pendiente del terreno.

Para el empleo del Método Racional se utilizan las siguientes hipótesis:

1. La intensidad I de la precipitación es constante durante el Tiempo de Concentración de la cuenca.
2. La intensidad I de la precipitación es también la misma en cualquier punto de la cuenca durante el Tiempo de Concentración.
3. La relación entre la escorrentía superficial máxima Q y el volumen de la precipitación por unidad de tiempo, denominado Coeficiente de Escorrentía, es constante cualquiera sea la intensidad y la duración de la lluvia, dependiendo solamente de las características superficiales de la cuenca.

Para obtener el caudal que influirá en el relleno sanitario del municipio de Villa María se utiliza la siguiente ecuación racional (Ecuación 5.25):

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{C * I (mm/h) * A (ha)}{360} \quad \text{Ecuación 5.25}$$

donde:

- **Q=** Caudal (m³/s)
- **C=** coeficiente de escorrentía superficial

- **I**= Intensidad pluvial máxima (mm/h)
- **A**= Área total de la cuenca (ha)

Según V.T Chow (1959), la escorrentía es una variable que depende de tres factores como son el uso y tipo de suelo y la pendiente del terreno. El producto de estos tres componentes determina el coeficiente de escorrentía. El valor escogido para cada uno se enumera a continuación:

- **Uso de suelo (Us):** En este caso se escogió un suelo sin vegetación o cultivos anuales por lo que el Us es 0,1
- **Tipo de suelo (Ts):** Semipermeable (terreno arcilloso- arenoso) = 1,25
- **Pendiente del terreno (%):** 3,1-5%= 1,5%

Por lo tanto, el valor de **C** es de **0,1875**.

El área total de la cuenca será de 48,7 ha que corresponde al área del módulo de disposición final.

La intensidad de precipitación adoptada para un período de recurrencia de 50 años se obtuvo de la Tabla V.V. El valor de esta para la estación Córdoba observatorio es de 71,11 mm/h.

Tabla V.V: Estudio sobre tormentas de diseño para la estación Córdoba observatorio
FUENTE: *Instituto Nacional del Agua, 2014.*

Duración "d" min.	Intensidad de Precipitación "mm/h"					
	Recurrencia "Años"					
	2	5	10	25	50	100
10	101.71	121.71	139.43	166.86	191.14	218.95
20	75.13	89.91	103.00	123.26	141.20	161.74
30	59.92	71.71	82.15	98.31	112.62	129.00
40	50.02	59.86	68.57	82.07	94.01	107.69
50	43.04	51.51	59.00	70.61	80.68	92.65
60	37.84	45.28	51.87	62.08	71.11	81.46
70	33.81	40.46	46.35	55.46	63.53	72.78
80	30.59	36.60	41.93	50.18	57.48	65.85
90	27.95	33.45	38.32	45.86	52.53	60.18
100	25.76	30.82	35.31	42.25	48.40	55.44
110	23.89	28.59	32.75	39.20	44.90	51.44
120	22.29	26.68	30.56	36.58	41.90	47.99
130	20.91	25.02	28.66	34.30	39.29	45.00
140	19.69	23.56	26.99	32.30	37.00	42.38
150	18.61	22.27	25.51	30.53	34.97	40.06
160	17.65	21.12	24.20	28.96	33.17	38.00
170	16.79	20.09	23.02	27.54	31.55	36.14
180	16.01	19.16	21.95	26.27	30.09	34.47

Sustituyendo C, A e I en la Ecuación 2, se obtiene un **caudal (Q) de: 1,8 m³/s.**

Para un canal trapezoidal se tiene un cálculo del área (Ecuación 5.26) y de su radio hidráulico (Ecuación 5.27) igual a:

$$A = \frac{3}{2} * d^2 \quad \text{Ecuación 5.26}$$

$$Rh = \frac{3d}{2*(1+\sqrt{5})} = 0,4635d \quad \text{Ecuación 5.27}$$

Reemplazando A y Rh en la Ecuación 5.24, se obtiene:

$$1,8 = \frac{\frac{3}{2} * d^2 * (0,4635d)^{\frac{2}{3}} * (0,02)^{\frac{1}{2}}}{0,023}$$

Por lo que $d = 0,66\text{m}$; $A = 0,65\text{ m}^2$ y el Rh es de 0,31 (Figura 5.6).

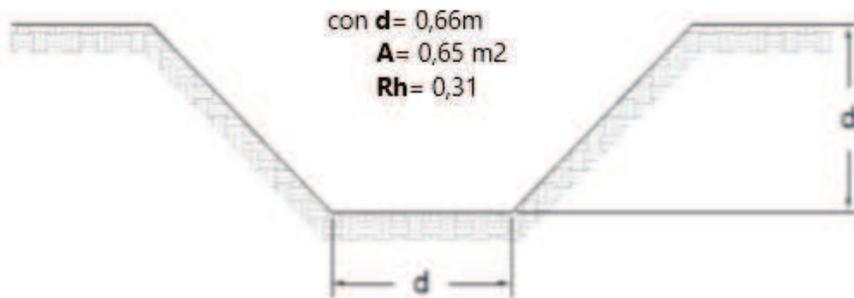


Figura 5.6: Canal de drenaje de sección trapezoidal
Fuente: V.T Chow, 1959.

5.4 Control ambiental Post-cierre

Una vez cerrado el módulo del relleno sanitario, continúan los trabajos en el mismo. Durante la descomposición de los residuos depositados, disminuyen su volumen, descendiendo el nivel superior del módulo cerrado. En vista de la heterogeneidad de los residuos, se pueden producir diferentes magnitudes de asentamientos en distintas áreas del relleno, generándose desniveles o hundimientos en los que se puede acumular agua que luego podría entrar al relleno y sumar volumen al líquido lixiviado.

De la misma manera, en caso de producirse pérdidas de líquido lixiviado deben ser rápidamente corregidas y no permitir que el líquido salga de los límites del módulo. También continúa la extracción y tratamiento de gases y líquidos lixiviados.

5.5 Tratamiento pasivo de gases de vertedero

5.5.1 Estimación de la cantidad de biogás a generar

Por medio del programa LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model. Versión 3.2* de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) se obtuvieron las emisiones del módulo de disposición final. Este modelo utiliza una ecuación de descomposición de primer orden para estimar la cantidad de metano (Q_{CH_4}) que se genera en un relleno sanitario, a partir de la tasa de generación de metano (k), el potencial de generación de metano (L_0) y la masa de residuos aceptadas en el año i (M_i) según la Ecuación 5.28:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k * L_0 * \left(\frac{M_i}{10}\right) * e^{-kt_{ij}} \quad \text{Ecuación 5.28}$$

Los valores de las variables k y Lo (Tabla V.VI) se obtienen a partir de datos de los residuos urbanos proporcionados por el Acta del Aire Limpio (AAL), y el “Inventario por Defecto” basado en los factores de emisión de USEPA.

Tabla V.VI: Variables del Modelo LandGEM

FUENTE: *LandGEM*

Tipo	Tipo de Relleno	$k(\text{año}^{-1})$	Lo (m ³ /ton)
AAL	Convencional	0,05 (por defecto)	170 (por defecto)
AAL	Área árida	0,02	170
Inventario	Convencional	0,04	100
Inventario	Área árida	0,02	100
Inventario	Húmedo (biorreactor)	0,70	96

donde:

k: Tasa de generación metano (año^{-1}): Cuanto más alto sea el valor de k , más rápido aumenta la tasa de generación de metano que luego va a decaer con el tiempo. El valor de k es principalmente una función de cuatro factores:

- Contenido de humedad de la masa residual
- Disponibilidad de nutrientes para aquellos microorganismos que descomponen residuos y forman metano y dióxido de carbono
- pH de la masa residual
- Temperatura de la masa residual.

En este caso, el k adoptado tiene un valor de $0,04 \text{ año}^{-1}$

Lo: Capacidad potencial de generación de metano (m³/ton): Depende únicamente del tipo y composición de los residuos depositados en el relleno. Cuanto mayor sea el contenido de celulosa de los residuos, mayor será el valor de Lo .

En este caso, el valor de Lo es de $100 \text{ m}^3/\text{ton}$.

M: Cantidad de residuos depositados por año (ton)

t: Número de años (edad) de los residuos (en años)

También se tienen en cuenta:

Concentración de compuestos orgánicos que no contienen metano (NMOC): Es función de los tipos de residuos en el vertedero y del tipo de reacciones que producen los compuestos en la descomposición anaeróbica de los residuos. Se mide en partes por millón por volumen. El valor utilizado es 600 ppmv como hexano.

Contenido de metano: 60 % volumen. No se recomienda el uso de LandGEM en rellenos que tienen un contenido de metano fuera del rango del 40 al 60 por ciento, esto

se debe a que la ecuación de la velocidad de descomposición de primer orden utilizada por LandGEM puede no ser válida fuera de este rango.

Por lo tanto, el máximo de emisiones totales de LFG para el módulo de disposición final ocurrirá en el año 2046 y será $2,85 \times 10^6$ m³/año (7.803 m³/d). Esto corresponde mayoritariamente a la suma de las emisiones de tres tipos de gases: $1,71 \times 10^6$ m³/año de CH₄, $1,14 \times 10^6$ m³/año de CO₂ y $1,71 \times 10^3$ m³/año de NMOC (Figura 5.7).

Es importante mencionar que el modelo asume que la producción de biogás no existe en el primer año después de ser dispuestos los residuos.

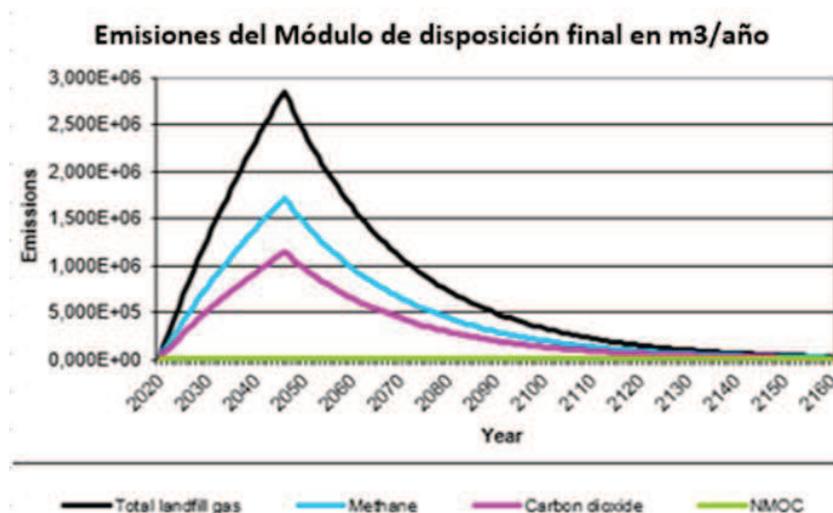


Figura 5.7: Evolución de las emisiones del módulo de disposición final
FUENTE: LandGEM

5.5.2 Construcción de chimeneas en un relleno sanitario mecanizado

Para realizar el drenaje pasivo de gases con chimeneas, las mismas deben construirse durante la operación del relleno sanitario. Este tratamiento aprovecha la difusión horizontal del gas de relleno debido a que el gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia es muy pequeña la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero que sí lo hace por la superficie del cuerpo de residuos.

Las chimeneas de drenaje se construirán a partir de un tubo perforado de HDPE relleno con piedra bola. Teniendo en cuenta que el sistema de drenaje interno de lixiviados presenta un sistema de canales colocados en forma de espina de pescado, las chimeneas serán ubicadas sobre estos canales. Esto permite que cierta cantidad de contaminantes del gas sean absorbidos en las aguas lixiviadas.

Las chimeneas para captación del biogás estarán compuestas de una tubería de polietileno ranurada tipo PE de 630mm de diámetro nominal (siendo lo recomendado un

valor entre 600 y 1200mm). Esta tubería tendrá como mínimo el 10% de su superficie con perforaciones o ranuras con un diámetro de 2cm.

La chimenea estará rellena de piedra bola con un diámetro <16cm, lo que impide una rápida congestión por causa de material espeso o sólido ingresando a la chimenea. Es importante que las piedras sean pequeñas debido a que las que son grandes se rompen bajo la influencia del calor extremo de la incineración del biogás.

La distancia entre chimeneas será de 25m que es lo recomendado en rellenos compactados donde el cuerpo de residuos tiene una altura < 15m.

Para quemar el gas de relleno dentro de la chimenea, se colocará un tubo de hormigón de 160 mm a una altura de 6m por encima del relleno ya completo (Figura 5.8).

Teniendo en cuenta la superficie del módulo de disposición final se necesitarán en los 25 años de operación del relleno, 245 chimeneas (aproximadamente cinco chimeneas por ha).

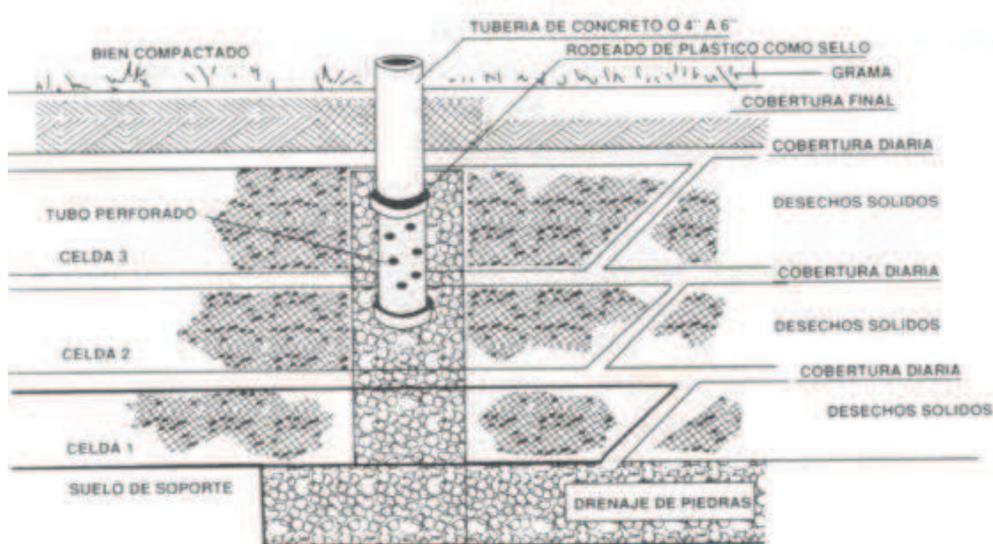


Figura 5.8: Chimenea con tubo perforado para drenaje pasivo y capuchón de hormigón para incineración de biogás en una celda terminada

FUENTE: Röben, 2002

5.5.3 Emisiones del sistema de chimeneas para quema de biogás

Si los gases no son quemados se emitirá principalmente metano. En cambio, si se queman los gases, el metano producto de la actividad bacteriana se transformará en dióxido de carbono. Además, los otros compuestos minoritarios se oxidarán.

Si el drenaje se produce en un relleno bien compactado y con cobertura diaria suficiente, como se espera que suceda, se puede obtener un 30-60% de gas captado por esta tecnología. La proporción de gas que no se recolectó será emitida a la atmósfera y cuanto mayor sea la eficiencia de recolección, menor emisión de CH₄ ya que éste se oxida a CO₂.

A modo comparativo podemos mencionar que un sistema activo con iguales características logra una eficiencia del 40-70%.

Para un análisis más detallado de las emisiones es necesaria la utilización del programa SCREEN3 que realiza un sondeo detallado de la pluma de contaminantes a partir de un modelo gaussiano. De esta forma, teniendo en cuenta las eficiencias de recolección, se puede comparar los niveles emitidos por las chimeneas con la nueva normativa de calidad de aire ambiental de la OPDS (Decreto 1074/18).

Se utilizó normativa de la Provincia de Buenos Aires debido a que es la más reciente (octubre 2018) y por lo tanto la más estricta en calidad atmosférica.

5.6 Emisiones producidas por los camiones recolectores de residuos

Para las emisiones de los camiones compactadores de residuos diésel se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Los camiones son de tecnología Euro III con un peso mayor a las 3,5 ton.
- Por ser camiones diésel no existen emisiones evaporativas y, además, se desprecian las emisiones en frío, debido a que son muy pequeñas en relación con las emisiones en caliente.
- Se asumió que las emisiones son urbanas en todo el recorrido.
- Se escogió una velocidad media = 30km/h, ya que todo el tramo de recolección se realiza en zona urbana y con detenciones frecuentes.
- El combustible tiene un 0,25% de azufre.

Las emisiones de los camiones recolectores se confeccionan a partir de un dato de actividad (DA), que brinda información sobre el nivel de consumo o producción de una categoría emisora *-en este caso la flota vehicular-*, y de un factor de emisión (FE) específico para cada compuesto que cuantifica la masa emitida por unidad de dicha actividad. El dato de actividad se compone del número de vehículos (NV) y la distancia recorrida (VKT) dentro del área de estudio durante un período de tiempo específico, y el factor de emisión (FE) se expresa en términos de la masa del contaminante emitida por unidad de longitud recorrida (Ecuación 5.29).

$$\text{Emisión} = \text{Actividad} * \text{Factor de emisión} = N^{\circ} \text{ veh} * VKT * FE \quad \text{Ecuación 5.29}$$

El factor de emisión de cada compuesto se calcula utilizando la velocidad media escogida y el software denominado COPERT III: *Computer programme to calculate emissions from road transport (Version 2.1)* del European Environment Agency. Sin embargo, debido a que en algunos tramos el camión está lleno y en otro vacío, se realizó una corrección por peso utilizando la Ecuación 5.30.

$$FCaliente i = FEi * \frac{1+(2*Lcorri)*(LP-50)}{100} \quad \text{Ecuación 5.30}$$

donde:

- **FE i:** Factor de emisión del compuesto i
- **Lcorr i:** factor de corrección por peso del compuesto i
- **LP:** factor de peso, el cual es 0 cuando el camión se encuentra vacío y 100 cuando está lleno. En este caso el factor es de 53,2 que indica un promedio de la capacidad del camión por viaje.

Luego, teniendo en cuenta el número de vehículos recolectores que circulan por día (de residuos húmedos y diferenciados), la cantidad de viajes que realiza cada uno y la distancia que recorren por viaje, se calculó la actividad de los camiones. Para esto se utilizó la Ecuación 5.31:

$$Actividad = 20 \text{ veh} * 22 \frac{\text{km}}{\text{veh}} * 2 = 880 \text{ km} \quad \text{Ecuación 5.31}$$

Con el factor de emisión corregido y la actividad se obtuvieron las emisiones correspondientes de cada compuesto (Tabla V.VII):

Tabla V.VII: Emisiones de los camiones recolectores
FUENTE: Elaboración propia a partir de Copert III

Emisiones de camiones recolectores					
Compuesto	FE del compuesto g/km	FE del compuesto corregido g/km	Actividad km	Emisión del compuesto g/día	Emisión del compuesto ton/año
CO	3,51	0,08	880	7,25E+01	2,27E-02
Nox	13,79	0,30		2,61E+02	8,17E-02
PM	0,97	0,01		1,29E+01	4,05E-03
SO2	317,72	0,02		1,50E+01	4,71E-03
CO2		6,82		6,00E+03	1,88E+00
CH4	0,18	-		1,54E+02	4,82E-02

5.7 Lixiviados

5.7.1 Estimación del lixiviado a generar

El método suizo, permite estimar sencillamente el caudal de lixiviado mediante la Ecuación 5.32:

$$Q_L = \frac{1}{t} * P * A * K \quad \text{Ecuación 5.32}$$

donde:

- **Q_L:** Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)
- **P:** Precipitación media anual (mm/año)
- **A:** Área superficial del relleno (m²)
- **t:** Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

- **K:** Coeficiente que depende del grado de compactación de los residuos, cuyos valores recomendados son los siguientes:

Según Tchobanoglous (2002), para rellenos débilmente compactados con peso específico de 400 a 700 kg/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% ($k = 0,25$ a $0,50$) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

En este caso, al utilizar una densidad de residuos compactados de 550 kg/m³, el K correspondiente a dicho valor es de 0,35.

Teniendo en cuenta un valor de precipitación de 911 mm/año, un área de relleno de ha y un k de 0,35, se calculó el caudal de lixiviados a partir de la Ecuación 6.13. Dicho valor **Q_L es de 4,92 L/seg o 425,1 m³/d.**

Existen varios modelos más sofisticados para el cálculo de lixiviados que tienen en cuenta el tipo de suelo, el material de cobertura, el tipo de vegetación y la evaporación de las aguas en el sitio de disposición final. Uno de ellos es el modelo HELP (Hydrological Evaluation of Landfill Performance) desarrollado por la EPA.

CAPÍTULO VI

PLANOS DEL PROYECTO

Se presentan los planos del Complejo Ambiental diseñado para la Ciudad de Villa María, Córdoba. Estos planos son a modo de referencia y corresponden a las obras e instalaciones que serán necesarias realizar para completar el proyecto. Por tanto, deben considerarse como una complementación a la memoria descriptiva y de cálculo desarrollada anteriormente.

El dimensionamiento definitivo de las estructuras, equipos e instalaciones se presenta en los planos conforme a obra que surgirá de la ingeniería y del cálculo estructural que se realice acorde a los requerimientos y funciones.

Los planos diseñados son los siguientes:

- **Plano 1:** Vista en planta del Complejo Ambiental
- Vista en planta de la Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada
- **Plano 2:** Vista en planta de la Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada
- **Plano 3:** Planta de Compostaje
- **Plano 4:** Módulo de disposición final y sistema de drenaje interno de lixiviados
- **Plano 5:** Chimeneas para tratamiento pasivo de gases de vertedero

CAPÍTULO VII

CÓMPUTO Y PRESUPUESTO

Todo proyecto de ingeniería requiere un análisis económico de las actividades llevadas a cabo. En este capítulo se elabora un presupuesto base donde se consideran los costos generales del proyecto, que involucran costos de inversión inicial, de operación y mantenimiento y de cierre/post-cierre del Complejo Ambiental de Villa María.

7.1 Cálculo del costo del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición Final de RSU

El costo total de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (CTGIRSU) es el costo que tiene para un municipio, en un período de tiempo normalmente de un año, llevar adelante la gestión de RSU. Ello implica calcular el costo de todas las actividades y todas las fases que la componen (Observatorio Nacional para la Gestión de RSU, 2010).

En los municipios de todo el país, no se cuenta con un sistema único e integral de contabilidad, ejecución y financiamiento de GIRSU, por lo que hay múltiples partidas de gasto y de ingreso de recursos. Esto dificulta la posibilidad de poder calcular y conocer el costo final. En este caso, de acuerdo a lo analizado en capítulos anteriores, se llevará a cabo el análisis económico de tres fases del Sistema GIRSU:

- Recolección de Residuos Húmedos, Diferenciados y Barrido y Limpieza.
- Tratamiento en Planta de Compostaje y Planta de Separación y Clasificación de Residuos Diferenciados.
- Disposición final en Relleno Sanitario con drenaje pasivo de gas de relleno.

7.2. Inversión inicial

La inversión inicial de capital consiste en el costo directo para la adquisición de nuevos equipos para la recolección de residuos húmedos y diferenciados, sistema de compostaje y diseño del relleno sanitario. Asimismo, incluye el honorario de operarios para recolección, tratamiento de compost, construcción del relleno, supervisor general e Ingenieros del proyecto.

Los honorarios para el ejercicio profesional de ingeniería fueron calculados según lo establecido por el Colegio Profesional de Ing. Química de Jurisdicción Nacional según lo establecido en la Resolución 15/12 y el Decreto-Ley N° 7887/55.

En la Tabla VII.I se muestra el cómputo y presupuesto del Proyecto. Para esto se enlistan los precios de cada ítem y el porcentaje de incidencia de cada uno en función del costo neto total.

Tabla VII.I: Cómputo y presupuesto: Inversión inicial
 FUENTE: *Elaboración propia.*

N°		DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS	UN.	CANT.	COSTO UNITARIO (\$)	IMPORTE ITEM	IMPORTE RUBRO	%INCIDENCIA
RUB	ITEM							RUBRO
1		TRABAJOS PRELIMINARES					\$ 891.100,00	0,92
	1.01	Limpieza del terreno/obra	m2	67.000	\$ 13,30	\$ 891.100,00		
2		MOVIMIENTO DE TIERRAS Y MATERIAL (para los dos primeros años de operación)					\$ 24.805.033,97	25,475
	2.01	Excavación del módulo	m3	96.469,00	\$ 113,16	\$ 10.916.432,04		
	2.02	Retiro y acopio de suelo vegetal	m3	6.431	\$ 129,89	\$ 835.348,57		
	2.03	Distribución y compactación de suelo-bentonita	m3	19.294	\$ 303,00	\$ 5.845.960,80		
	2.04	Membrana HDPE DE 2000µ	m2	32.156	\$ 152,57	\$ 4.906.040,92		
	2.05	Geotextil	m2	32.156	\$ 29,98	\$ 964.036,88		
	2.06	Piedra bola <16cm para drenaje	m3	16.078	\$ 79,42	\$ 1.276.914,76		
	2.07	Tubo de HDPE perforado para chimeneas de ø 630mm	u	45	\$ 720,00	\$ 32.400,00		
	2.08	Tubo de hormigón de 160mm	u	45	\$ 620,00	\$ 27.900,00		
3		CAÑERIAS Y ACCESORIOS					\$ 4.775.298,68	4,904
	3.01	Tubo perforado de PVC de ø110mm	m	8.866	\$ 449,00	\$ 3.980.834,00		
	3.02	Tubo perforado de PVC de ø250mm	m	713	\$ 1.090,00	\$ 777.170,00		
	3.03	Ramal de PVC a 45° de 110 x 250	u	26	\$ 665,18	\$ 17.294,68		
4		INSTALACIONES ELÉCTRICAS					\$ 8.662,68	0,009
	4.01	Provisión y montaje de tableros de electricidad	gl	1	\$ 8.662,68	\$ 8.662,68		
5		EQUIPAMIENTO Y MAQUINARIA					\$ 65.719.966,18	67,495
	5.01	Camión recolector <i>Scorza de 16 m3. Incluye chasis camión</i>	u	11	\$ 2.975.000,00	\$ 32.725.000,00		
	5.02	Camión Roll Off <i>Scorza. Modelo ROS 20 de 20 ton de capacidad</i>	u	2	\$ 750.000,00	\$ 1.500.000,00		
	5.03	Barredora mecánica <i>Scorza. Modelo AS 6500. Incluye chasis camión</i>	u	1	\$ 4.750.000,00	\$ 4.750.000,00		
	5.04	Barredora mecánica <i>Scorza. Modelo GM 636</i>	u	1	\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00		
	5.05	Chipeadora Forestal <i>Lippel PFL 300X500M</i>	u	1	\$ 745.400,00	\$ 745.400,00		
	5.06	Volteadora de Compost <i>RCO</i>	u	1	\$ 460.000,00	\$ 460.000,00		

5.07	Cinta de alimentación Residuos Di-3R. Modelo Di3r.ca. 3HP Trifásico	u	1	\$ 498.163,70	\$ 498.163,70		
5.08	Abridor de bolsas Residuos Di-3R. Modelo Di3r.ab. 3HP Trifásico	u	1	\$ 468.706,64	\$ 468.706,64		
5.09	Cinta de clasificación Residuos Di-3R. Modelo Di3r.cc. 3HP Trifásico	u	1	\$ 652.470,54	\$ 652.470,54		
5.10	Compactador para reciclables. Residuos Di-3R. MODELO Di3r.com. 7,5 HP Trifásico	u	1	\$ 614.724,80	\$ 614.724,80		
5.11	Compactador para reciclables. Residuos Di-3R. MODELO Di3r.com.m 5,5 HP Trifásico	u	1	\$ 644.932,40	\$ 644.932,40		
5.12	Cinta de derivación transversal. Residuos Di-3R, Modelo Di3r.con.ct. 1HP Trifásico	u	2	\$ 281.053,55	\$ 562.107,10		
5.13	Contenedor metálico Residuos Di-3r. Modelo DI3R.con.01	u	3	\$ 37.927,00	\$ 113.781,00		
5.14	Tromel para limpieza de compost Residuos Di-3r. Modelo: Di3r.trom.c	u	1	\$ 351.000,00	\$ 351.000,00		
5.15	Retroexcavadora sobre orugas Michigan ME230F de 112 kw	u	2	\$ 7.816.840,00	\$ 15.633.680,00		
6	VIARIOS					\$ 1.106.460,00	1,136
6.01	Elaboración proyecto de ingeniería básica	gl	1	\$ 65.000,00	\$ 65.000,00		
6.02	Elaboración proyecto de ingeniería en detalle	gl	1	\$ 120.000,00	\$ 120.000,00		
6.03	Informe técnico y plano conforme a Obra	gl	1	\$ 53.000,00	\$ 53.000,00		
6.04	Subcontrataciones	gl	1	\$ 180.000,00	\$ 180.000,00		
6.05	Supervisión y capacitación	gl	1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00		
6.06	Licencias, permisos, autorizaciones y seguros	gl	1	\$ 34.460,00	\$ 34.460,00		
6.07	Varios	gl	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00		
6.08	Mano de Obra: Operarios para construcción del relleno e infraestructura secundaria	gl	24	\$ 19.500,00	\$ 468.000,00		
6.09	Mano de Obra: Personal Técnico especializado para construcción del relleno (Ing Civil y Ambiental)	gl	2	\$ 36.000,00	\$ 72.000,00		
6.10	Mano de Obra: Supervisor general	gl	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00		
7	ENTREGA FINAL					\$ 63.000,00	0,065
7.01	Revisión y ajuste de diseño	gl	1,00	\$ 63.000,00	\$ 63.000,00		
TOTAL COSTO NETO						\$	TOTAL NETO \$ 97.369.521,51

7.3. Costo de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento son aquellos que se generan para garantizar el buen desempeño de las tres fases de implementación de la GIRSU. Los mismos están asociados a la complejidad de la actividad a realizar y de la tecnología empleada para la misma (Tabla VII.II).

Estos costos incluyen el servicio de Higiene Urbana (tercerizado por la empresa COTRECO); los honorarios del personal involucrado en el relleno sanitario, Planta de Separación y Clasificación y Planta de Compostaje; costo por tonelada de residuo dispuesto en relleno sanitario y costo por tonelada de residuo compostado, entre otros. Además, se debe incluir el costo de construcción de las chimeneas para el drenaje pasivo de biogás. Por lo tanto, el costo de operación y mantenimiento total por año es de \$90.837.399,36.

Cabe destacar que se prevé un ingreso municipal proveniente de la venta de material separado y clasificado en la Planta semi-mecanizada de Separación y Clasificación.

7.3.1 Servicios: Energía Eléctrica

Para la energía eléctrica, se debe realizar el cálculo aproximado de los equipos a utilizar y la iluminación requerida en el Complejo Ambiental, para luego multiplicarlos por el costo de este servicio en el área en estudio.

Se consulta el cuadro tarifario vigente generado por la empresa prestadora local del servicio: Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC). El precio está compuesto por un cargo fijo más un cargo variable que se compone de la energía consumida sin discriminación horaria.

El cargo fijo por capacidad de suministro convenida (300kW) es de \$4.253,17 y el cargo fijo mensual por cada kW de potencia máxima es de \$1.563 (Actualizado a febrero 2019).

Tabla VII.II: Resumen de cómputo y presupuesto para operación y mantenimiento (Energía eléctrica es VARIABLE)
FUENTE: Elaboración propia.

ITEM	DESCRIPCIÓN COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	UN.	CANT.	Duración (mensual)	COSTO UNITARIO (\$)	Costo Subtotal (\$)
1.01	Tonelada dispuesta en Relleno Sanitario	ton	1.974,92	12	\$ 1.087,00	\$ 25.760.856,48
1.02	Tonelada de Restos Verdes a compostar	ton	325,72	12	\$ 1.080,00	\$ 4.221.331,20
1.03	Mano de obra: Recolectores de residuos	gl	44	12	\$ 17.284,00	\$ 9.125.952,00
1.04	Mano de obra: Choferes de Camiones Recolectores y Roll Off	gl	22	12	\$ 18.744,00	\$ 4.948.416,00
1.05	Mano de Obra: Barrido y Limpieza	gl	11	12	\$ 17.284,00	\$ 2.281.488,00
1.06	Mano de Obra: Mantenimiento de Camiones	gl	4	12	\$ 18.819,00	\$ 903.312,00
1.07	Mano de Obra: Supervisor de Recolección	gl	4	12	\$ 21.000,00	\$ 1.008.000,00
1.08	Mano de Obra: Administrativos en Recolección	gl	2	12	\$ 18.942,00	\$ 454.608,00
1.09	Mano de Obra: Operarios de Planta de Separación y Clasificación	gl	17	12	\$ 19.500,00	\$ 3.978.000,00
1.10	Mano de Obra: Operarios de mantenimiento en Planta de SyC	gl	2	12	\$ 20.000,00	\$ 480.000,00
1.11	Mano de Obra: Supervisor de Planta de SyC	gl	1	12	\$ 27.000,00	\$ 324.000,00
1.12	Mano de Obra: Operarios para PdC	gl	8	12	\$ 19.500,00	\$ 1.872.000,00
1.13	Mano de Obra: Mantenimiento	gl	1	12	\$ 20.000,00	\$ 240.000,00
1.14	Mano de Obra: Supervisor de PdC	gl	1	12	\$ 27.000,00	\$ 324.000,00
1.15	Mano de obra: Jefe de Relleno	gl	1	12	\$ 42.000,00	\$ 504.000,00
1.16	Mano de Obra: Sub-jefe de Relleno	gl	1	12	\$ 39.000,00	\$ 468.000,00
1.17	Mano de Obra: Responsable de balanza	gl	2	12	\$ 20.000,00	\$ 480.000,00
1.18	Mano de Obra: Chofer de retroexcavadora sobre orugas	gl	3	12	\$ 18.744,00	\$ 674.784,00
1.19	Mano de Obra: Chofer de camión u otra maquinaria necesaria en el relleno	gl	2	12	\$ 18.744,00	\$ 449.856,00
1.20	Mano de Obra: Obrero para mantenimiento de vehículos utilizados para disposición final	gl	2	12	\$ 20.000,00	\$ 480.000,00
1.21	Mano de Obra: Obrero de relleno sanitario	gl	4	12	\$ 19.500,00	\$ 936.000,00
1.22	Mano de Obra: Guardias	gl	2	12	\$ 20.250,00	\$ 486.000,00
1.23	Mano de Obra: Administrativos	gl	2	12	\$ 18.942,00	\$ 454.608,00
1.24	Sistema de iluminación	kw/mes			VARIABLE	
	TOTAL OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (ANUAL)	\$				90.837.399,36

7.3.2 Costo de consumo de combustible de los camiones recolectores

Para calcular el costo por consumo de combustible de los camiones recolectores se utilizó la Ecuación 7.1 que relaciona los km recorridos por subsector, el precio por litro de combustible (en este caso diésel) y el rendimiento (km/L)

$$\text{Costo mensual} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) = \frac{\text{km recorridos por mes} \left(\frac{\text{km}}{\text{mes}} \right) * \text{precio por unidad de combustible} \left(\frac{\$}{\text{L}} \right)}{\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{km}}{\text{L}} \right)}$$

Ecuación 7.1

El precio por litro de combustible es de 39,46\$ (YPF, abril 2019) mientras que el rendimiento es de 5,5 km/L.

Teniendo en cuenta estos valores se construyó la Tabla VII.III y VII.IV que muestra el costo por subsector, generando un costo total mensual de combustible para la Recolección de Húmedos de \$116.049,13 y para la Recolección de Diferenciados y Puntos Limpios de \$19.249,59.

Tabla VII.III: Costo mensual de combustible para Recolección de Residuos Húmedos
FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de YPF, 2019*

COSTO MENSUAL DE COMBUSTIBLE PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS HÚMEDOS				
	SUBSECTOR	Recorrido total/Viaje	Días de recolección al mes	Costo mensual recolección húmedos(\$/mes)
ZONA CENTRO	SS1	24,8	24	4.270,29
	SS2	24	24	4.132,54
	SS3	25,6	24	4.408,04
	SS4	23,9	24	4.115,32
ZONA NORTE	SS1	25	24	4.304,73
	SS2	21,3	24	3.667,63
	SS3	22,9	24	3.943,13
	SS4	23,2	24	3.994,79
	SS5	20,96	24	3.609,08
	SS6	19,1	24	3.288,81
	SS7	19,7	24	3.392,13
ZONA OESTE	SS1	23,56	24,00	4.056,77
	SS2	22,04	24,00	3.795,05
	SS3	25,90	24,00	4.459,70
	SS4	24,90	24,00	4.287,51
	SS5	21,54	24,00	3.708,95
	SS6	22,06	24,00	3.798,49

ZONA ESTE	SS1	19,54	24	3.364,57
	SS2	24,6	16	2.823,90
	SS3	18,23	24	3.139,01
	SS4	19,46	16	2.233,87
	SS5	22,6	24	3.891,47
	SS6	19,17	24	3.300,86
	SS7	18,93	24	3.259,54
	SS8	17,8	16	2.043,31
	SS9	20,9	16	2.399,17
	SS10	18,2	16	2.089,23
	SS11	17,1	16	1.962,96
ZONA SUR	SS1	29,2	16	3.351,95
	SS2	26,2	24	4.511,35
	SS3	22,5	16	2.582,84
	SS4	25,1	24	4.321,95
	SS5	20,56	24	3.540,21
TOTAL (\$)			116.049,13	

Tabla VII.IV: Costo mensual de combustible para Recolección de Residuos Diferenciados
FUENTE: *Elaboración propia en base a datos de YPF, 2019.*

COSTO MENSUAL DE COMBUSTIBLE PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DIFERENCIADOS			
Subsector o Barrio	Recorrido total/viaje	Días de recolección al mes	Costo mensual recolección húmedos(\$/mes)
SS3 E.D	22,6	4,0	649
SS4 E.D	19,2	4,0	550
SS5 E.D	24,9	4,0	714
SS6 E.D	18,9	4,0	543
Los Olmos	9,7	4,0	278
Las Playas	9,1	4,0	262
SS1 N.D	25,0	4,0	717
SS2 N.D	21,3	4,0	611
SS3 N.D	22,9	4,0	657
SS6 O.D	22,1	4,0	633
SS1 E.D	19,5	4,0	561
SS1 C.D	24,8	4,0	711,7
SS2 C.D	24,0	4,0	688,8
SS3 C.D	25,6	4,0	734,7
SS4 C.D	23,9	4,0	685,9
SS7 E.D	20,9	4,0	599,8

SS4 N.D	23,2	4,0	665,8
SS5 N.D	21,0	4,0	601,5
SS6 N.D	19,1	4,0	548,1
SS7 N.D	19,7	4,0	565,4
SS2 E.D	24,6	4,0	706,0
SS1 O.D	23,6	4,0	676,1
SS2 O.D	22,0	4,0	632,5
SS3 O.D	25,9	4,0	743,3
SS4 O.D	24,9	4,0	714,6
SS5 O.D	21,5	4,0	618,2
SS1 S.D	26,2	4,0	751,9
SS2 S.D	22,5	4,0	645,7
SS3 S.D	25,1	4,0	720,3
SS4 S.D	20,6	4,0	590,0
Las Acacias	16,5	4,0	473,5
TOTAL (\$)		19.249,59	

7.3.3 Costos no considerados en la Etapa de Construcción y/o de funcionamiento

En el cómputo y presupuesto del Proyecto no se incluyeron los costos de:

- Construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Lixiviados
- Costo de reasfalto de RP N°2 (de ser necesario, durante el funcionamiento del relleno).
- Costo de construcción de infraestructura complementaria.

7.4 Ingreso proveniente de la venta de material separado y clasificado

Teniendo en cuenta información provista por el Observatorio Nacional para la Gestión de RSU y Plataforma Recicladores se obtuvieron los precios de referencia por mes (a enero 2019) para la Venta de Material Clasificado en la Planta de Separación y Clasificación. Esta bibliografía no tiene en cuenta el costo de mercado de los metales ferrosos y textiles por lo que no se analizaron en el cómputo final.

Teniendo en cuenta el \$/kg del cartón, plásticos y vidrio mezclado, se realizó la Tabla VII.V generando de esta forma un ingreso de más de 1,95 millones de \$/mes en venta de material recuperado.

Tabla VII.V: Precios de referencia para venta de material recuperado en Planta de Separación y Clasificación (a enero 2019)

FUENTE: *Observatorio Nacional para la Gestión de RSU, 2019.*

Precios de referencia para Venta de Material Clasificado en Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada				
	Porcentaje del total (%)	Promedio de ton recuperada/mes	\$/kg	\$/mes
TOTAL	100%	356,75	-	\$ 1.956.749,85
Cartón	15,38	54,87	\$ 6,00	\$ 329.208,90
Papel mezcla	14,34	51,16	\$ 4,70	\$ 240.442,37
Papel Blanco	0,35	1,25	\$ 8,00	\$ 9.989,00
Tetra Brik	12,94	46,16	\$ 1,20	\$ 55.396,14
PET	13,29	47,41	\$ 15,87	\$ 752.429,63
PEAD	16,08	57,37	\$ 9,30	\$ 533.498,22
Vidrio Mezcla	14,33	51,12	\$ 0,70	\$ 35.785,59
Telas y Metales	13,29	47,41	-	-

7.5 Viabilidad económica y financiamiento

El Complejo Ambiental de la Ciudad de Villa María será financiado por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos dependiente de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), a través de un Financiamiento Nacional para Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos.

El objeto de este sistema es brindar asistencia técnico-financiera a municipios de todo el país a los fines de lograr una gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos, por medio del desarrollo de proyectos en lo referente a:

- La elaboración y desarrollo de Planes Integrales de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.
- La ejecución de proyectos para la eliminación de basurales a cielo abierto.
- La construcción de rellenos sanitarios o la ampliación de rellenos existentes.
- El montaje de plantas de separación y reciclaje de residuos sólidos urbanos y la adquisición de equipamiento para la misma.
- La adquisición de vehículos destinados a la recolección de residuos y maquinaria asociada a la adecuada gestión de los mismos.
- El desarrollo y ejecución de programas de gestión y capacitación en materia de residuos.

La financiación consiste en una transferencia de fondos de carácter no reembolsable contra rendición de cuentas al municipio, la cual proviene de fondos del tesoro nacional directo.

Para esto, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable debe, entre otras actividades:

- Orientar a los municipios en la formulación de proyectos

- Evaluar técnicamente los proyectos
- Evaluar los informes de avance y finales presentados por los municipios
- Realizar inspección de obras realizadas con los fondos asignados e informes correspondientes

Del mismo modo, el municipio solicitante será el encargado de ejecutar el Proyecto asumiendo las responsabilidades legales por el mismo, el cual deberá realizarse en un todo de acuerdo con la legislación local vigente. A su vez, el municipio debe rendir cuentas de los fondos invertidos en tiempo y forma, así como realizar informes parciales y finales de ejecución del proyecto según lo establecido en el convenio.

Veinticinco Bancos Provinciales, Nacionales e Internacionales se encuentran adheridos al sistema de cuenta única del Tesoro. En este caso, debido a que el proyecto se encuentra emplazado en la Provincia de Córdoba, el Banco de Córdoba S.A será el encargado de financiar el proyecto por medio de la SAyDS.

7.6 Conclusiones

A partir de los presupuestos expuestos en este capítulo, se puede decir que el costo de inversión inicial es de 97.369.521,51 \$ (PESOS NOVENTA Y SIETE MILLONES, TRESCIENTOS SESENTA Y NUEVE MIL QUINIENTOS VEINTIUNO CON CINCUENTA Y UN CENTAVOS), con un costo anual de operación de 7.569.783,28 \$ (PESOS SIETE MILLONES, QUINIENTOS SESENTA Y NUEVE MIL SETECIENTOS OCHENTA Y TRES CON VEINTIOCHO CENTAVOS).

CAPÍTULO VIII

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este capítulo se desarrolla el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) para la construcción, operación, y cierre del Relleno Sanitario en Villa María, Córdoba.

El Decreto 2131/00 reglamentario de la Ley Provincial N° 7343 “*Principios Rectores para la Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente*” y la Ley Provincial N° 10208 de “*Política Ambiental Provincial*” definen al **Estudio de Impacto Ambiental** como un estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que incorporado en el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir los efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y el ambiente en general.

Para prever las consecuencias de los daños ambientales que una determinada actividad puede generar, se debe identificar y estimar los impactos (positivos y negativos) a producirse durante las fases de su construcción, funcionamiento y cierre y post-cierre, así como también establecer medidas o planes de mitigación para cada impacto originado (Giordana, 2012).

Si bien el proyecto provocará efectos negativos sobre el medio durante las etapas constructivas y de operación, el funcionamiento del relleno sanitario generará impactos positivos ya que se estima que resolverá el problema de la gestión de los RSU de la región.

8.1 Objetivos y alcance

El EslA tiene como objetivo identificar los probables impactos ambientales, caracterizarlos y valorarlos para posteriormente generar un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que tiende a prevenir, monitorear, mitigar y corregir los aspectos adversos encontrados. Asimismo, el EslA tiene como objetivo global incorporar el concepto de sustentabilidad ambiental como un factor adicional en la toma de decisiones del proyecto, junto con los factores técnicos y económicos.

El objetivo de este capítulo es elaborar un EslA para la construcción, operación y cierre/post-cierre del relleno sanitario para el Municipio de Villa María, el cual debe ser viable desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

8.2 Metodología

En primer lugar, se realiza un diagnóstico ambiental y socioeconómico del área de influencia del relleno sanitario próximo a construir a partir de la recopilación y análisis

de la información encontrada. Para lograr esto se deberá respetar la normativa ambiental vigente en relación al EsIA.

Luego, se enumeran las principales actividades susceptibles a generar impactos, tanto positivos como negativos, en nuestra área en estudio. Se cuantifican y valorizan los impactos no deseables o evitables del proyecto a partir del análisis de las relaciones existentes entre las acciones del proyecto y los factores ambientales.

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) se lleva a cabo a posteriori y tiene en cuenta las medidas necesarias para prevenir, minimizar, evitar, mitigar o corregir los potenciales impactos negativos identificados anteriormente.

8.3 Descripción general del proyecto

Las obras a realizar están destinadas a la construcción de un Relleno Sanitario para la localidad de Villa María en el sureste de la provincia de Córdoba. Este proyecto surge ante la necesidad de brindar una solución integral a la generación de residuos sólidos urbanos en esta área en estudio.

8.3.1 Perfil del Relleno Sanitario a construir

- Ubicación: Ruta Provincial N°2 Km 104, Villa María, Córdoba, Argentina
- Zona: Suburbano
- Superficie total: 60 ha.
- Generación de residuos VM: 70,19 ton/día para 2020 y 95,64 ton/día para 2045
- Período de operación: 25 años
- Días de trabajo: lunes a sábado
- Generación de lixiviado: 425,1 m³/d
- Generación de biogás: Máximo de 2,85x10⁶ m³/año en el 2046

8.3.1.1 Infraestructura e instalaciones del Relleno Sanitario

Instalaciones principales

1. Planta de Reciclaje de residuos pre-seleccionados
2. Planta de Compostaje
3. Planta de Tratamiento de Lixiviados
4. Planta de Biogás

Infraestructura complementaria

1. Cercado perimetral del área, con un único punto de ingreso-egreso.
2. Control de ingreso al predio mediante una casilla de vigilancia ubicada en la entrada.
3. Pesaje de camiones recolectores de residuos
4. Cortina forestal en todo el perímetro del predio.

5. Galpón de guardado de maquinaria y materiales.
6. Oficina técnico-administrativa.
7. Laboratorio.
8. Estacionamiento.

Todos los caminos internos contarán con señalización vertical con postes, barreras y señales para dirigir el tránsito en todo el predio.

8.4 Normativa aplicable al EsIA

La Ley General del Ambiente N° 25.675 considera en su Art. 8 a las EIA como un instrumento de política y gestión ambiental y en los artículos 11 al 13 establece que toda actividad que en el territorio nacional sea susceptible de degradar el ambiente, alguno de sus componentes o afectar la calidad de vida de la población, está sujeto a un proceso de EIA previo a su ejecución. Menciona la responsabilidad de las personas físicas o jurídicas involucradas y de la autoridad de aplicación, como así también los requisitos mínimos que deben presentar las EIA.

En la provincia de Córdoba la Ley N° 7.343, en su Capítulo IX hace referencia al Impacto Ambiental y señala la necesidad de realización de EIA. En su decreto reglamentario 2131/00, define al EIA y EsIA. Además, señala cuáles son las actividades que deben presentar aviso de proyecto, EsIA y los puntos básicos que debe reunir ese aviso.

Al iniciar un EsIA se debe describir la localización y enumerar las acciones del proyecto susceptibles de producir impacto ambiental en las fases de construcción, funcionamiento y cierre. Asimismo, se deben identificar los factores ambientales susceptibles de ser impactados con la realización del proyecto. Por otra parte, se deben evaluar las alternativas, haciendo hincapié en las que sean técnicamente viables y que aporten en la dirección del cumplimiento de la normativa de emisiones vigente.

Deben estudiarse las condiciones ambientales antes de la realización de las obras, así como su evolución histórica (suelos, hidrología superficial y subterránea, ruido, flora y fauna, entre otras).

8.5 Área de influencia

Para la determinación del área de influencia del proyecto con el medio ambiente circundante, se consideró el grado de interrelación que tendrá la construcción, funcionamiento y cierre del proyecto de relleno sanitario con las variables socioeconómicas y ambientales. De esta forma se subdividió en dos áreas: directa (AID) e indirecta (AII). Esta subdivisión permitió tener una mayor comprensión y facilidad en el análisis ambiental.

El área de influencia directa en este proyecto corresponde a la sumatoria de las 60 hectáreas de superficie ocupada por el relleno sanitario y la superficie comprendida por el radio de 2 km que rodea al relleno sanitario (área buffer o de amortiguamiento de los efectos que pueda producir el tratamiento de los RSU en base a normas internacionales). Cabe mencionar que el predio de disposición final se encuentra ubicado sobre la RP N° 2 Km 104 en cercanías a Ana Zumarán y a la Nueva Autopista Rosario-Córdoba, al este de las localidades de Villa María y Villa Nueva.

El área de influencia indirecta comprende a la localidad de Villa María, beneficiaria de este proyecto. Alcanza un total de 235,35 km² (2.353,5 ha).

El relleno sanitario se encuentra ubicado a 10km al este del casco urbano de Villa María y a 6,5km al oeste de Ana Zumarán.

8.6 Línea de base - Antecedentes y diagnóstico ambiental del área de estudio

Para el diagnóstico ambiental se considera la sensibilidad de la zona de emplazamiento del relleno sanitario en relación a los componentes bióticos, abióticos y antropogénicos.

A continuación, se describen las variables del medio a tener en cuenta para el diagnóstico ambiental del área de influencia del proyecto.

8.6.1 Estructura demográfica y distribución territorial

La Ciudad de Villa María cuenta con 79.946 habitantes (INDEC, 2010). Junto a la Ciudad de Villa Nueva conforman el Gran Villa María, siendo ésta la tercera aglomeración más poblada de la provincia, luego del Gran Córdoba y el Gran Río Cuarto y la 32° a nivel nacional.

Villa María se encuentra localizada dentro del Departamento de General San Martín, al sureste de la provincia de Córdoba.

En el sur de la ciudad se encuentra el río Tercero que corre de oeste a este y separa a Villa María de su ciudad vecina (Villa Nueva).

8.6.1.1 Generalidades

La Municipalidad de Villa María, posee el “*Centro Estadístico de la Municipalidad de Villa María*” que brinda indicadores socioeconómicos y demográficos de esa ciudad.

En su sitio web, se puede observar un mapa (Figura 8.1) de los diferentes barrios de la Ciudad en el cual se muestra la Estructura Poblacional de cada uno a partir del último censo nacional del INDEC. Asimismo, en la Tabla VIII.I se representa el número de habitantes distribuido en los distintos barrios.

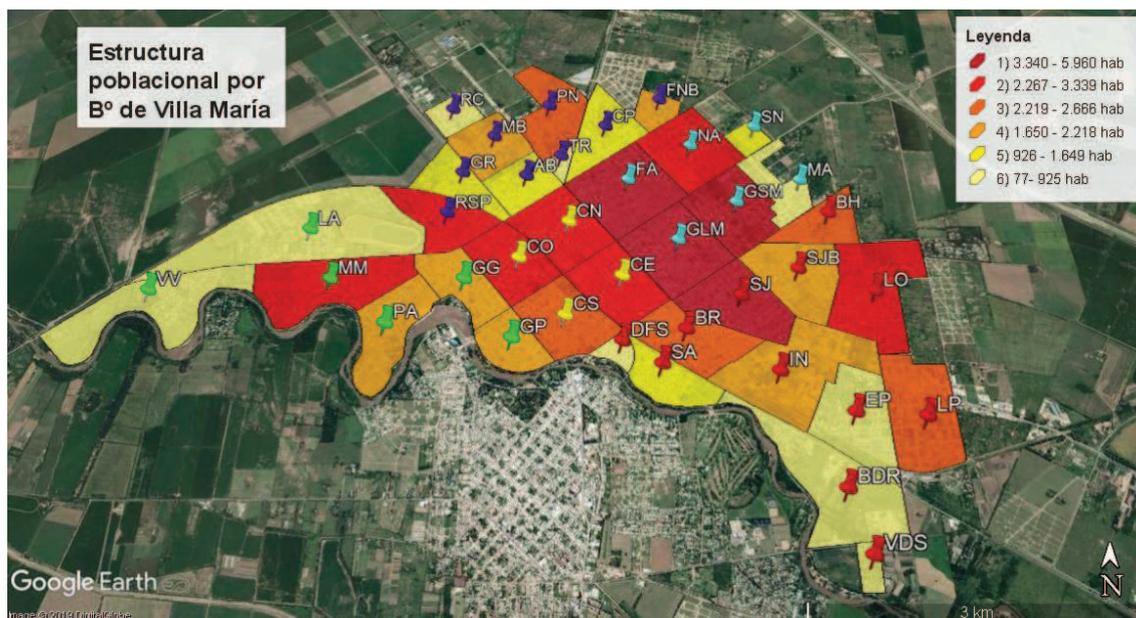


Figura 8.1: Estructura poblacional por barrios en la Ciudad de Villa María, Córdoba
FUENTE: Centro Estadístico de la Municipalidad de Villa María, 2018.

Tabla VIII.I: Habitantes por barrio en la Ciudad de Villa María, Córdoba
FUENTE: Centro Estadístico de la Municipalidad de Villa María, 2018.

ESTRUCTURA POBLACIONAL DE LOS B° DE VILLA MARÍA		
B°	Sigla por B°	Población total (2010)
FLORENTINO AMEGHINO	FA	5.960
GENERAL SAN MARTIN	GSM	4.972
GENERAL LAMADRID	GLM	4.691
SAN JUSTO	SJ	4.270
ROQUE SAENZ PENA	RSP	3.339
CENTRO NORTE	CN	3.249
NICOLAS AVELLANEDA	NA	3.125
MARIANO MORENO	MM	3.065
LOS OLMOS	LO	2.907
CENTRO ESTE	CE	2.893
CENTRO OESTE	CO	2.863
BERNARDINO RIVADAVIA	BR	2.666
CENTRO SUR	CS	2.598
LAS PLAYAS	LP	2.543
BELLO HORIZONTE	BH	2.351
PARQUE NORTE	PN	2.322
SAN JUAN BAUTISTA	SJB	2.218
MANUEL BELGRANO	MB	2.140
GENERAL GUEMES	GG	2.133
PALERMO	PA	1.964
INDUSTRIAL	IN	1.895
GENERAL PAZ	GP	1.787
FELIPE NERI BOTTA	FNB	1.778

CARLOS PELLEGRINI	CP	1.649
SANTA ANA	SA	1.605
ALMIRANTE BROWN	AB	1.411
SAN NICOLAS	SN	1.361
GENERAL ROCA	GR	1.313
LAS ACACIAS	LA	925
EVA PERON	EP	885
BARRANCAS DEL RIO	BDR	885
DOMINGO F SARMIENTO	DFS	581
VISTA VERDE	VV	574
TRINITARIOS	TR	356
VILLA DEL SUR	VDS	77

Según el Censo Nacional 2010 en Villa María el 51,82 % de la población está compuesta por mujeres y el restante 48,18% por hombres. El índice de masculinidad es de 93. En cuanto a la distribución por grupos de edad, del total de habitantes, el 22,6% corresponde a menores hasta 14 años, el 65% a edades entre 15 y 64 años, mientras que aquellos con 65 años o más representan el 12,4% del total

La tasa anual de crecimiento de la población de Villa María es de 1,26%, mientras que la esperanza de vida es de 79 años.

La población se asienta casi en su totalidad en zona urbana (99,4%), mientras que el 0,6% corresponde a zonas rurales agrupadas y dispersas.

En cuanto a educación, tanto el municipio como el Departamento de General San Martín poseen niveles altos de alfabetización, ya que el 98,9% de la población de 10 años o más sabe leer y escribir. En este mismo sentido, analizando la población entre 15 y 18 años, el 75,8% del total asiste a un establecimiento educativo y el 51% de la población de 18 años o más cuenta con el nivel secundario completo.

La ciudad de Villa María cuenta con diversos establecimientos educativos públicos y privados tanto a nivel primario y secundario, como así también a nivel terciario y universitario. En este municipio existen dos ofertas universitarias: la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María y la Universidad Nacional de Villa María creada en el año 1995.

En el factor empleo, en marzo del 2018, la PEA representa el 50,1% de la población, la tasa de empleo es de 52,87% (valor superior al de la Provincia) mientras que la tasa de desocupación es del 4,92%, menor al promedio provincial (Municipalidad de Villa María, 2018).

En los indicadores de vivienda, el contexto que se presenta en el Municipio de Villa María es similar al de la Provincia de Córdoba. Los hogares sin necesidades básicas

insatisfechas (NBI) representan el 96,0% del total, siendo la necesidad insatisfecha mas frecuente el hacinamiento.

La cobertura de salud alcanza el 74,17%

La mayoría de la población de Villa María cuenta con cobertura de red de agua potable (80,7%) y servicio cloacal (80,7%) brindado por Aguas de Villa María-Cooperativa 15 de Mayo. Asimismo, poseen servicio de red de energía eléctrica y servicio de gas natural por red (79,8%).

8.6.1.2 Actividad económica en la Ciudad de Villa María

En el aspecto industrial, Villa María es una de las más importantes cuencas lecheras del país. Asimismo, se encuentra en un área de agricultura y ganadería intensivas, con importante producción de cereales frutales y oleaginosos (soja, trigo, maíz, girasol, avena, cebada, centeno). La industria en esta ciudad se ha diversificado a partir de la segunda mitad de siglo XX, sumándose las industrias alimenticias, metalmecánicas livianas, textiles, vidrio, cementeras y químicas no específicamente ligadas al agro. Los sectores económicos más relevantes son el comercio minorista, el cual aporta el 63% de la actividad económica, los servicios con un 24% y la industria con un 10% (Municipalidad de Villa María, 2018)

8.6.1.3 Infraestructura en la Ciudad de Villa María

La Ciudad de Villa María cuenta con un nutrido flujo de transporte público y privado de pasajeros. Dispone de una Terminal de ómnibus para empresas de media y larga distancia y un Aeropuerto Regional en la Ruta N° 158 que permite unir Villa María con Buenos Aires. También, la ciudad tiene una Estación Ferroviaria que conecta a las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires cuyo servicio funciona tres veces por semana (Municipalidad de Villa María, 2018).

Las rutas que pasan por los municipios son: la Autopista Córdoba-Villa María (Au 9), Ruta Nacional N° 9 y N° 158 y las Rutas Provinciales N° 2 y N° 4.

El principal medio de transporte de carga son los camiones. Hay disponibles diez estaciones de servicio proveedoras de combustible.

En relación a los servicios educativos, Villa María cuenta con doce establecimientos educativos (públicos y privados) donde tres de ellos son escuelas primarias.

Con respecto a los servicios de salud, Villa María cuenta con un hospital regional y cuatro clínicas privadas.

8.6.2 Clima

Los datos climáticos con los cuales se caracterizó el clima de la región donde se instalará el relleno sanitario fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación que posee en la ciudad de Marcos Juárez, 120km al sureste de la ciudad de Villa María.

Esta estación si bien no es la más cercana, es la más representativa de las condiciones climáticas de la región donde se ubica el predio.

Las características generales de la región corresponden a un clima templado y seco durante los meses de invierno. La temperatura media en invierno de 10,8 °C y en verano 24,3 °C. La temperatura máxima diaria registrada durante el período 1981-2010 es de 42°C en el mes de enero y -10.2 °C en el mes de julio. La temperatura media anual es de 16,5 °C y resulta característica de la zona central de la pradera pampeana con una amplitud térmica aproximada del mes más cálido, enero, y el más frío, julio, de 14,5 °C (Figura 8.2).

La mayor parte de las precipitaciones ocurren en los meses de primavera-verano. Durante este periodo los vientos del sector norte ingresan con masas de aire cálido y húmedo desencadenando tormentas y precipitaciones.

El valor medio anual de precipitaciones acumuladas es de 911 mm (1981-2010). Las precipitaciones acumuladas muestran una variación estacional, siendo mayores para los meses de octubre-abril y menores para los meses de mayo-septiembre. El menor porcentaje de lluvias ocurre en junio. El promedio de este mes es 15,8 mm en el período 1981-2010. En diciembre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 148,3 mm. El valor máximo de precipitaciones máximas mensuales es de 368mm registrada en diciembre de 1991. La ocurrencia de fenómenos naturales como tormentas con caída de granizo o vientos de gran intensidad son frecuentes durante el verano.

La dirección predominante de los vientos es del sector norte. La velocidad media anual es de 7,6 km/h con máximas promedio de 8,9 km/h durante el mes de octubre. La incidencia de los vientos como agentes de dispersión de contaminantes y afectación de localidades será de baja importancia debido a que en la dirección de los vientos, no existen localidades en el área de influencia directa o indirecta que pueden verse afectadas.

En Villa María la humedad relativa del aire es de 46% en los meses cálidos.

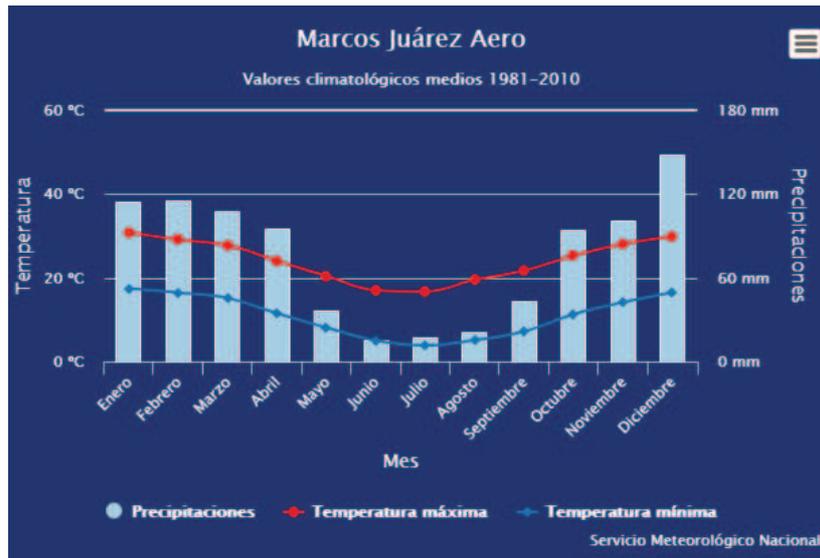


Figura 8.2: Valores climatológicos medios (1981-2010)

FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional, 2018.

8.6.3 Geología y geomorfología

Villa María se encuentra dentro de la llanura pampeana donde no existen plegamientos y, por lo tanto, no se registran accidentes orográficos. Su altura con respecto al nivel del mar es de 196 m y el suelo registra una suave pendiente con declive hacia el sudeste. La altura disminuye hacia el este, por lo que el relleno sanitario se sitúa a 185m sobre el nivel del mar ($32^{\circ} 24' 22''$ latitud S, $63^{\circ} 07' 05''$ longitud O).

La región geomorfológica en la que se encuentra esta ciudad corresponde a la Pampa loessica plana y según la taxonomía de suelos, el orden de suelos es de tipo molisol.

En general, los suelos de tipo molisol presentan horizontes subsuperficiales arcillosos, y superficiales pardos o negros, ricos, profundos, fértiles, con altos contenidos de materia orgánica y nutrientes; y al tener también buen drenaje, poseen muy buena aptitud agrícola. Se forman en áreas semiáridas a semihúmedas, típicamente bajo una cobertura de pasturas. Generalmente están formados por calcita, loess -depósitos sedimentarios arcillosos de origen eólico- o areniscas.

8.6.3.1 Sismicidad o riesgo sísmico

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona con sismicidad de muy reducida a reducida (Instituto Nacional de prevención sísmica, 2018).

8.6.4 Hidrogeología e hidrología

Las cuencas hídricas de Córdoba manifiestan características regionales y climáticas particulares. La zona sudeste está suficientemente abastecida -salvo sequías excepcionales-. En cambio, la zona noroeste es desértica y presenta un marcado déficit pluvial.

La disponibilidad de los recursos hídricos de la Provincia de Córdoba puede analizarse teniendo en cuenta dos grandes grupos:

El *agua superficial* cuya posibilidad de extracción, según estudios existentes, ronda los 100 metros cúbicos por segundo. Comparados con el total nacional, la participación de la provincia es de 0,5 % aproximadamente, lo que la convierte en una de las regiones más pobres del país en lo que a recursos hídricos se refiere. Esta carencia se profundiza si en la comparación se tiene en cuenta la superficie del territorio provincial.

El *agua subterránea* es capaz de proporcionar una dotación de entre 8 y 10 metros cúbicos por segundo. Estos escasos recursos se ven agravados por el efecto de la contaminación producida por el aumento de la población, los basurales a cielo abierto y desagües cloacales e industriales que, en forma descontrolada, vuelcan a cauces superficiales y napas subterráneas, principalmente en los centros de alta densidad poblacional (Aguas de Villa María, 2018).

8.6.4.1 Cuenca del Río Carcarañá

El río Carcarañá se localiza en el centro-sudeste de la provincia de Córdoba y su cuenca se angosta hacia su desembocadura que atraviesa el sur la provincia de Santa Fe para desembocar en el río Paraná. Es decir, que esta cuenca pertenece al sistema Río Paraná que tiene vertiente Atlántica.

La cuenca nace al este de las sierras de Comechingones. Las aguas provenientes de las lluvias son drenadas a través de dos ríos principales: el Tercero (o Ctlamochita) y el Cuarto. Algunos arroyos que se encuentran entre el río Tercero y Cuarto se pierden en dirección oeste-este y son de carácter arreicos. Desde el pie de las sierras los pequeños arroyos recorren una corta distancia hasta formar los cauces troncales como el río Tercero y Cuarto. Ambos ríos son de llanura, pero mientras el Tercero es continuo sin accidentes importantes, el Cuarto forma bañados y lagunas. Una vez atravesados los Bañados del Saladillo, el río homónimo es el que se junta al río Tercero para dar origen al río Carcarañá (Figura 8.3).

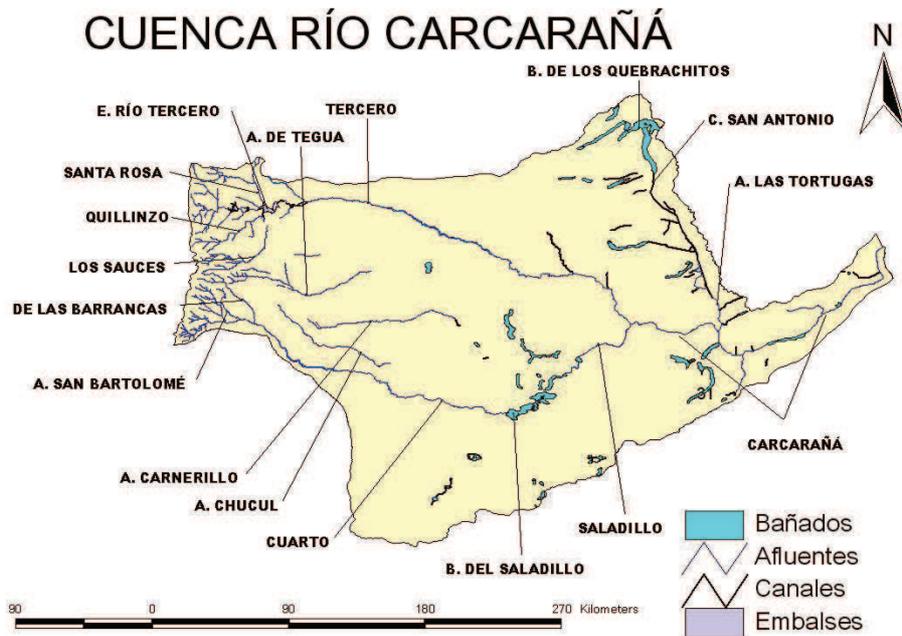


Figura 8.3: Cuenca Río Carcarañá

FUENTE: *Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2018*

La subcuenca del río Tercero tiene una superficie aproximada de 3.300 Km^2 , se extiende 75 Km desde la sierra Grande hacia el oeste en un cauce bien definido. Desde esta sierra se desprenden gran cantidad de quebradas con dirección hacia el este. Entre los principales afluentes de esta subcuenca se encuentran los ríos Santa Rosa, Grande y Quillinzo. El río Grande es el tributario más importante del río Tercero y está conformado por los arroyos Durazno, Manzano y las Letanías.

En la confluencia entre el río Santa Rosa y Grande nace el río Tercero que tiene gran caudal y tiene dirección este. Las barrancas que constituyen las orillas del río son arcillas de color rojizo (Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2018).

8.6.4.2 Aguas subterráneas

En gran parte de la provincia de Córdoba las aguas de napas no son aptas para el consumo humano o animal por la alta salinidad o por el alto contenido de arsénico. Sin embargo, contando sólo las reservas de calidad potabilizable, el volumen disponible es superior a toda el agua que se ve acumulada en ríos y diques provinciales.

Las universidades nacionales de Córdoba y Río Cuarto llevaron a cabo la primera investigación integral sobre disponibilidad y calidad de aguas subterráneas de la provincia.

En este informe se concluyó que en las franjas fluviales de los principales ríos (Primero, Segundo, Tercero y Cuarto) desde la zona serrana hasta el centro del territorio

cordobés, se encuentran los mejores acuíferos de Córdoba por su calidad y cantidad disponible.

El estudio confirma que las sierras constituyen un verdadero foco emisor de agua, ya que los ríos y arroyos que allí nacen, en su mayoría, se infiltran y recargan el sistema subterráneo de las llanuras.

También añaden que las lluvias en la llanura son una fuente de carga de los acuíferos superiores ya que se midieron tasas de recarga al acuífero freático de 8 a 20 por ciento del total anual de lluvias.

En la llanura cordobesa la napa subterránea se ubica, según las zonas, en los primeros 100m. Los acuíferos confinados se hallan entre los 100 y 350m. Esta publicación demostró que, del centro al oeste del mapa cordobés, esas aguas subterráneas se alojan en materiales geológicos de origen continental y son de alta calidad, mientras que, desde el centro hacia el este de la provincia, se alojan en algunos casos en sedimentos que suman salinidad, arsénico, o sulfatos que la tornan no potable. El agua subterránea del río Tercero (entre Almafuerde y Villa María) es la mayor reserva de agua de Córdoba (La Voz del Interior, 2014).

En Villa María, la profundidad de las napas varía según la zona, siendo menor en las proximidades del río. El agua de calidad de esta ciudad se ubica entre los 60 y 180 metros.

El agua de esta región es químicamente apta, por lo que solo se la desinfecta con agregados de clorógenos. Por este motivo, desde Villa María se abastece a través de distintos acueductos a diferentes poblaciones de la provincia que no cuentan con agua apta para el consumo humano (Aguas de Villa María, 2018).

8.6.5 Flora y Fauna

La región sudeste de la provincia de Córdoba se encuentra en el límite existente entre la región fitogeográfica denominada espinal al oeste y pampa al este.

El espinal *-ecotono entre el Chaco y la Estepa pampeana-* comprende bosques bajos, xerófilos, densos o abiertos, con un estrato arbóreo. Esta región se encuentra dominada por los algarrobos que son acompañados por estepas arbustivas de espinillos y chañares, palmeras y gramíneas. Es un área agrícola que se encuentra extremadamente degradada, con pocas formaciones que recuerden su fisonomía original o su vegetación prístina (Cabrera, 1971).

La región pampeana está dominada por gramíneas. Dada la fertilidad del terreno, la mayor parte de la superficie de esta provincia fitogeográfica ha sido históricamente alterada en forma intensiva, especialmente por la agricultura, y la ganadería.

En cuanto a la flora de la región, especies como el puma, ñandú y venado de las pampas fueron desapareciendo para ser encontrados en su hábitat natural en muy pocos lugares.

También pueden hallarse especies que han sido introducidas por el ser humano como la liebre europea, el jabalí, ciervo colorado y el gorrión común.

En la zona urbana, prácticamente no se encuentran las condiciones del medio natural representativo de la biota original.

8.7 Identificación de Impactos ambientales

Los impactos ambientales pueden definirse como la modificación neta (positiva o negativa) de la calidad o aptitud del ambiente o de uno o más de sus procesos y componentes, producida por una acción, proyecto u obra. El impacto ambiental es la diferencia entre la situación del ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación (Cátedra Proyecto Final Integrador, 2015).

En primer lugar, se deben identificar y describir las actividades o acciones llevadas a cabo en las diferentes etapas de nuestro proyecto que pueden impactar en el ambiente. Luego, se analizan los factores ambientales susceptibles de ser impactados por estas actividades.

Para analizar los impactos ambientales, se deben buscar los efectos que pueden generar las acciones identificadas sobre los distintos factores bióticos, abióticos y antrópicos que componen el área de influencia del proyecto.

8.7.1 Acciones o actividades

Se procedió a clasificar las diferentes acciones producidas en el proyecto según las etapas del mismo. En la Tabla VIII.II se listan estas actividades consideradas.

Tabla VIII.II: Acciones o actividades del proyecto

FUENTE: *Elaboración propia*

Etapas de construcción	Excavación de módulos
	Acopio de material de cobertura
	Transporte de material de construcción
	Construcción o mejoramiento de vías de acceso
	Construcción o mejoramiento de infraestructuras
	Mantenimiento de maquinaria y equipos

Etapa de operación/ funcionamiento	Circulación de camiones recolectores en Villa María y en el predio de disposición final
	Clasificación de residuos pre-seleccionados en domicilios
	Descarga y compactación de residuos
	Tapada y compactación de cobertura diaria
	Tratamiento de lixiviados
	Tratamiento de gases
	Tratamiento de residuos orgánicos (compost)
	Mantenimiento de maquinaria y equipos
	Mantenimiento del predio
	Instalación de estaciones de control y monitoreo
Etapa de cierre y post-cierre	Mantenimiento del predio
	Revegetación y recomposición final del sitio
	Cobertura final
	Monitoreo de gases y lixiviados

En la etapa de construcción se analizaron seis acciones susceptibles de dañar el medio físico-biológico y socioeconómico.

Para la excavación de módulos se ejecutarán terraplenes perimetrales y se impermeabilizarán los fondos y taludes para posteriormente recibir los residuos y compactarlos. Asimismo, se acopiará material de cobertura para el cubrimiento diario de los residuos.

Los materiales de construcción del relleno sanitario e infraestructura secundaria, serán transportados desde nueve corralones de la ciudad de Villa María.

Si es necesario, se reasfaltará el tramo de la Ruta Provincial N° 2 que une a Villa María con el relleno, y se mejorarán los caminos interiores y perimetrales del sitio. Además, se construirá la infraestructura secundaria descrita en el apartado 8.3.1.1 que incluye tratamiento de gases, compostaje, cercado perimetral y cortina forestal, entre otros.

El mantenimiento de maquinarias y equipos será tanto en la etapa de construcción, como de operación, para evitar contingencias y lograr un correcto funcionamiento del relleno.

En la etapa de operación, habrá una mayor frecuencia en la recolección de residuos, por lo tanto, existirá mayor cantidad de camiones recolectores circulando en la zona urbana de Villa María y luego, en los caminos de acceso al predio de disposición final.

Antes de la descarga, los residuos serán re-clasificados y aquellos que no sean aptos para reciclar, serán previamente triturados para luego ser descargados en el relleno. Los residuos serán compactados para lograr una mayor densidad. Luego, serán cubiertos diariamente con material de baja permeabilidad extraído de la excavación.

Para un correcto funcionamiento del relleno sanitario, se instalarán estaciones de control y monitoreo de agua subterránea, agua superficial, gases y lixiviados.

El mantenimiento del predio en la etapa de cierre y post-cierre incluye el control de coberturas, sistemas de drenaje, pendientes y taludes, y accesos y caminos.

Se realizará una revegetación y recomposición final del sitio con flora autóctona, para un posterior uso recreativo del sitio cuando ya no reciba residuos y haya cumplido los estándares de control y monitoreo establecidos previamente.

8.7.2 Factores Ambientales

En la Tabla VIII.III se listan los factores o componentes del medio que pueden sufrir afectaciones significativas debido a las actividades llevadas a cabo en el proyecto. Estos factores se clasificaron en dos categorías: físico-biológico (aire, suelo, agua y biodiversidad) y socioeconómico.

Tabla VIII.III: Factores ambientales del proyecto

FUENTE: *Elaboración propia*

Físico-Biológico	AIRE	Calidad de aire
		Olores
		Ruido y vibraciones
	SUELO	Calidad del suelo
		Susceptibilidad a la erosión
		Topografía y estabilidad del terreno
	AGUA	Calidad del agua superficial
		Escorrentamiento superficial
		Calidad del agua subterránea
	BIODIVERSIDAD	Ambiente biótico
		Biodiversidad vegetal- Cobertura vegetal
		Biodiversidad animal- Hábitat
		Paisaje natural
Socioecon.	SOCIOECONÓMICO	Empleo
		Calidad de vida en Villa María
		Salud y seguridad laboral
		Infraestructura de servicios

8.7.3 Matriz de Impactos Ambientales

Las matrices de identificación y evaluación de impactos son un instrumento que permiten identificar y evaluar las interrelaciones entre las principales acciones producidas en cada una de las etapas del proyecto y los principales componentes del medio natural y socioeconómico.

El método utilizado para identificar y valorar los impactos del proyecto consiste en una matriz tipo Leopold modificada (Cátedra Proyecto Final Integrador, 2015).

La matriz de impactos propone un ordenamiento de doble entrada en cuyas columnas y filas se disponen las acciones impactantes y los factores del medio susceptibles a recibir impactos, respectivamente.

Una vez identificadas las acciones y los factores ambientales susceptibles, se procede con la valuación de cada posible efecto. El impacto ambiental se cuantizará y tendrá una incidencia negativa o positiva respecto a la actividad cual se está evaluando.

8.7.3.1 Identificación de Impactos Ambientales

En la Figura 8.4 se puede observar la matriz confeccionada para la identificación de los impactos ambientales.

Posteriormente, en la Tabla VIII.IV se pueden describen los impactos generados en cada uno de los factores físico-biológicos y socioeconómicos implicados.

Tabla VIII.IV: Impactos ambientales del proyecto

FUENTE: *Elaboración propia*

FACTOR AMBIENTAL		IMPACTO
AIRE	Calidad de aire	Disminución de la calidad de aire debido a la generación de MP en suspensión proveniente de la excavación de módulos, acopio de material de cobertura y disposición diaria de residuos. Emisiones gaseosas provenientes de vehículos de combustión interna y emisiones de gas de vertedero
	Olores	Generación de olores desagradables debido a la descomposición de residuos, emisiones de biogás, como producto de la digestión anaeróbica de los residuos contenidos en el relleno.
	Ruido y vibraciones	Generación de ruidos provenientes de las actividades de construcción, operación y cierre del relleno sanitario
SUELO	Calidad del suelo	Modificación de la estructura del suelo que provoca: Cambios en la permeabilidad
	Susceptibilidad a la erosión	Cambios del relieve natural debido a la excavación de módulos e instalación de infraestructuras
	Topografía y estabilidad del	
AGUA	Calidad del agua superficial	Modificación de la calidad de agua debido al aumento de la turbidez y cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas en la construcción y funcionamiento del relleno
	Escurrimiento superficial	Afectación de la dinámica del drenaje superficial durante la excavación y disposición de residuos
	Calidad del agua subterránea	Modificación en la calidad de agua de las napas debido a cambios en las propiedades químicas o biológicas del agua como consecuencia de las actividades de construcción y operación
BIODIVERSIDAD	Ambiente biótico	Impacto positivo en la generación de compost orgánico
	Biodiversidad vegetal- Cobertura vegetal	Afectación de la cobertura vegetal debido a la remoción de la vegetación para implantación del relleno. Reforestación y revegetación que impacta positivamente en la etapa de cierre y post-cierre
	Biodiversidad animal- Hábitat	Modificación del hábitat de fauna silvestre durante la excavación de trincheras
	Paisaje natural	Modificación del paisaje natural durante la construcción y operación del relleno por movimiento de tierras y aumento del tránsito vehicular

SOCIOECONÓMICO	Empleo	Impacto positivo. Aumento de la demanda de mano de obra local y regional, tanto de personal especializado como no especializado
	Calidad de vida en Villa María	Impacto positivo. Aumento de la venta de insumos para la construcción y mejoras en el servicio de recolección y disposición final
	Salud y seguridad laboral	Contingencias debido a accidentes laborales
	Infraestructura de servicios	En general se preve una mejora en la infraestructura de servicios por el acceso a la correcta recolección y disposición final de los residuos urbanos. Durante la excavación de los módulos pueden existir intermitencias en la red de suministro de agua potable de la zona.

8.7.3.2 Caracterización de los Impactos Ambientales

En la Tabla VIII.V se describen los criterios utilizados con mayor frecuencia para la caracterización de los impactos ambientales y su valoración respectiva.

Tabla VIII.V: Características de los impactos ambientales

FUENTE: Conesa Fernández-Vitora, 1995

Variable	Descripción	Estado	Valor
Valor del impacto	Caracteriza el impacto según su afectación al factor ambiental	Positivo	+
		Negativo	-
Intensidad (In)	Mide la magnitud o el grado de incidencia del impacto en el ámbito específico en que actúa.	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
Extensión o magnitud espacial (Ex)	Mide el alcance o área de influencia del impacto.	Puntual	1
		Local	2
		Regional	4
Momento o magnitud temporal (Mo)	Plazo de manifestación. Tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor ambiental	Largo plazo	1
		Medio plazo	2
		Inmediato	4
Persistencia (Pe)	Mide el tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto	Fugaz	1
		Temporal	2
		Permanente	4
Reversibilidad (Rv)	Evalúa la capacidad que tiene el factor afectado de asimilar y restablecer las condiciones originales naturalmente.	Corto plazo	1
		Mediano plazo	2
		Irreversible	4
Recuperabilidad (Rc)	Caracteriza la capacidad de restablecer las condiciones originales por intervención humana.	Inmediata o alta	1
		Mediano plazo	2
		Baja-Mitigable	4
		Irrecuperable	8
Efecto o relación causal (Ef)	Relación causa-efecto	Indirecto	1
		Directo	4
Periodicidad o probabilidad de ocurrencia (Pr)	Regularidad de la manifestación. Nivel de riesgo de causar un impacto en función de la frecuencia con la que se realiza la acción que lo produce	Baja-Eventual	1
		Media-Periódico	2
		Alta-Continuo	4

8.7.3.3 Valorización de los Impactos Ambientales

Una vez cuantificados los atributos de cada impacto se procede a confeccionar la correspondiente matriz de impacto ambiental en la que cada casilla de cruce corresponde a un impacto. Para expresar la importancia (I) del impacto numéricamente se aplica la Ecuación 8.1:

$$I = \pm(3In + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Rc + Ef + Pr) \quad \text{Ecuación 8.1}$$

Para una mejor visualización de los resultados de los impactos, se han agrupado los valores obtenidos en diferentes categorías y se han identificado con colores según la siguiente distribución (Tabla VIII.VI):

Tabla VIII.VI: Categorías de impacto en función de su valoración
FUENTE: EN-AR-SA, 2010.

Impacto	Valor
Positivo	Mayor a 0
No significativo	≤-25
Moderado	Entre -25 y -50
Severo	Entre -50 y -75
Crítico	<-75

Solamente se han cuantificado los impactos de valor negativo, ya que los positivos no resultarían comparables con los valores de los primeros. Los impactos negativos serán valorizados y analizados con el propósito de tomar medidas de gestión ambiental.

Los casilleros en blanco representan acciones que no producen impacto visualizable con la mínima identidad requerida

Con posterioridad, se desarrolla la suma de los impactos de cada acción, por columnas, lo que permite identificar las acciones más significativas. Asimismo, la suma del efecto de cada factor por filas permite conocer los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias del proyecto (EN-AR-SA, 2010).

El impacto total neto, producto de la operación, operación y cierre y post-cierre, será el resultado de la suma de los efectos generados.

La matriz de valoración de impacto generada en función del índice de importancia se puede observar en la Figura 8.5.

Al analizar la matriz de valoración de impactos podemos observar que todas las acciones tienen un carácter no significativo o moderado en su caracterización.

En cuanto a impactos negativos, si realizamos un valor medio de las actividades llevadas a cabo (columnas) podemos observar las actividades que generan mayor

efecto negativo son: excavación de módulos, construcción o mejoramiento de vías de acceso, circulación de camiones recolectores en Villa María y en el predio, y por último la descarga y compactación de residuos, dos acciones que corresponden a la construcción y dos a la etapa de funcionamiento, respectivamente.

En cuanto a la sumatoria por factores del medio (filas), el aire -*calidad de aire y olores*, suelo -*calidad del suelo, susceptibilidad a la erosión y topografía y estabilidad del terreno*- y la cubierta vegetal son los más afectados.

En general, la tapada y compactación de cobertura diaria, excavación de módulos y circulación de camiones recolectores son las actividades que mayor efecto negativo provocan en el entorno físico-biológico y socioeconómico.

La acción que repercute positivamente en todas las acciones y etapas es la generación de empleo que presenta extensión regional. Asimismo, al optimizar el servicio de recolección y disposición final en Villa María, se mejora la calidad de vida de la población y la infraestructura de servicios allí existente.

Luego del cierre y post-cierre del predio, la revegetación y reforestación genera un nuevo espacio recreativo en el área, y por ende provoca la mitigación del paisaje natural preexistente.

Es importante que se lleve a cabo el PGA para prevenir, minimizar, evitar o remediar la ocurrencia de estos potenciales impactos negativos.

Cabe recordar, que esta valoración cuantitativa de las variables es subjetiva ya que muchos de los potenciales efectos ambientales no son cuantificables o no poseen una magnitud medible.

Factores Ambientales			Construcción						Operación								Cierre y post-cierre				VALOR MEDIO			
			Excavación de módulos	Acopio de material de cobertura	Transporte de material de construcción	Construcción o mejoramiento de vías de acceso	Construcción o mejoramiento de infraestructuras	Mantenimiento de maquinaria y equipos	Circulación de camiones recolectores en VM y en el predio	Ingreso y clasificación de residuos pre-seleccionados	Descarga y compactación de	Tapada y compactación de la cobertura diaria	Tratamiento de lixiviados	Tratamiento de gases	Tratamiento de residuos orgánicos (compost)	Mantenimiento de maquinaria y equipos	Mantenimiento del predio	Instalación de estaciones de control y monitoreo	Mantenimiento del predio	Revegetación y recomposición final del sitio		Cobertura final	Monitoreo de gases y lixiviados	
Físico-Biológico	AIRE	Calidad de aire	-30	-24	-29	-31	-23	-37		-28	-40		-28						-30	-28		-30		
		Olores						-27	-31	-33	-22		-23	-32									-28	
		Ruido y vibraciones	-24		-21	-22	-22	-17	-28	-22	-25	-20	-15	-15	-16	-20	-20		-22		-21		-21	
	SUELO	Calidad del suelo	-36		-24	-32	-26		-25		-34	-26			+					+			-29	
		Susceptibilidad a la erosión	-34								-34	-26												-31
		Topografía y estabilidad del terreno	-36	-24		-31	-23				-34	-24												-29
	AGUA	Calidad del agua superficial	-17										-23											-20
		Escurrimiento superficial	-17								-18	-27	-21											-21
		Calidad del agua subterránea	-29								-20		-23											-24
	BIODIVERSIDAD	Ambiente biótico													+									+
Biodiversidad vegetal-Cobertura vegetal		-34	-28																+	+			-31	
Biodiversidad animal-Hábitat		-26																					-26	
Paisaje natural		-31	-24		-32	-22		-24		-25	-18	-18	-18	-20					+				-23	
SOCIOECONÓMICO	Empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Calidad de vida en Villa María			+	+			+	+										+				+	
	Salud y seguridad laboral	-17	-14	-16	-16	-14	-14	-16	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	
	Infraestructura de servicios	-18			+			+															-18	
VALOR MEDIO			-27	-23	-23	-27,33	-21,67	-16	-26,17	-22,3	-27	-24	-19	-20	-20,5	-17	-17	-14	-18	-22	-21	-14		

Figura 8.5: Matriz de evaluación de impacto ambiental
FUENTE: *Elaboración personal*

8.8 Plan de Gestión Ambiental (PGA)

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) se compone de programas, planes y medidas que forman parte de la estructura global del proyecto. Este plan permite una implementación ambientalmente sostenible de los recursos para lograr medidas que prevengan, eviten, minimicen o remedien la ocurrencia de potenciales impactos ambientales.

Al implementar medidas de mitigación y prevención, los impactos ambientales negativos producidos serán mitigados y reducidos de manera que resulten poco significativos.

A continuación, se detallan cada uno de los programas que forman parte del PGA (Figura 8.6).

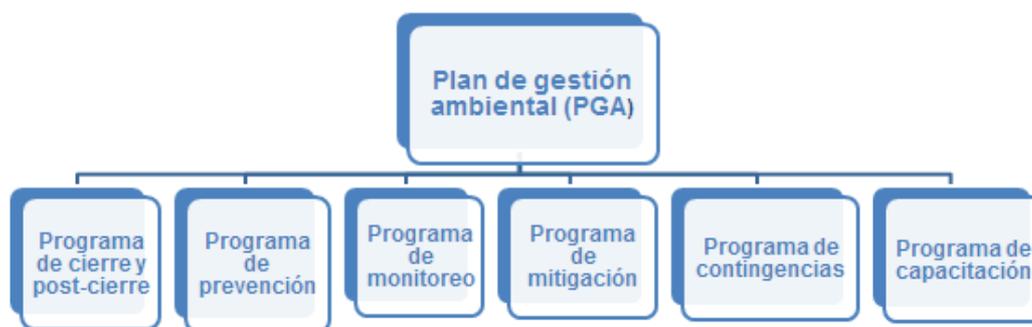


Figura 8.6: Elementos del Plan de Gestión Ambiental

FUENTE: *Elaboración personal.*

8.8.1 Programa de cierre y post-cierre

El programa de clausura se basa en medidas de recomposición, una vez que concluyen las actividades en el relleno sanitario, para evitar la presencia de pasivos ambientales que inutilicen el sitio para usos posteriores (CORMECOR, 2015).

Una vez finalizada la recepción de residuos se ejecutarán todas las tareas inherentes a la clausura de la obra. Estas tareas comenzarán con la compactación y adecuada distribución de los residuos que se han dispuesto en la última celda que estuviera en operación, para posteriormente realizar la cobertura con suelo de acuerdo a la metodología establecida.

Asimismo, se realizará una minuciosa limpieza de toda la obra de forma mecánica y manual para retirar todo resto de residuo no dispuesto.

Es decir, la clausura definitiva del relleno se efectuará de forma tal, de dejar el terreno en condiciones seguras para el medio ambiente, garantizando la confinación definitiva de la masa de residuos, y dejando el terreno debidamente nivelado de modo de lograr una integración con el paisaje preexistente.

Se establece que el plazo de la etapa de mantenimiento, cuidados y responsabilidad pos clausura del operador es de treinta años, contados a partir de la fecha en la cual el relleno sanitario deja de recibir residuos.

Según el EsIA de CORMECOR se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

- **Propuesta de recuperación paisajística**

Esta propuesta tiene por objetivo contribuir a la recuperación de la calidad ambiental del predio a niveles aceptables para permitir el desarrollo de un área de recreación pasiva una vez que se clausure el mismo. Esta área permite mejorar el aspecto estético del predio, lograr una recuperación paisajística y la conservación de árboles nativos preexistentes. Es importante destacar que se descarta cualquier uso posterior del relleno que exija construcción de estructuras o viales.

- **Cobertura**

Cuando los residuos triturados y compactados alcancen las cotas finales del proyecto en cada sector, se realizará la cobertura superior inmediatamente a efectos de impedir el ingreso de agua de lluvia y la consiguiente generación de líquido lixiviado, evitar la emanación de olores, proliferación de vectores, crear un ambiente reductor que favorezca la descomposición anaeróbica de los residuos y permitir el crecimiento de vegetación en la superficie.

La cobertura final debe asegurar en todo momento el confinamiento de los residuos, evitar el ingreso de aguas pluviales y favorecer a su vez el crecimiento de la vegetación.

Esta cubierta puede erosionarse, debido al escurrimiento del agua de lluvia, agrietarse como consecuencia de las variaciones climáticas o descender en algunos sectores en forma puntual formándose asentamientos diferenciales. La solución consiste en el aporte de suelo el que se distribuirá, compactará y perfilará con el equipo adecuado.

- **Cortina forestal**

Esta cortina estará conformada por dos hileras de especies dispuestas en diagonal con una separación entre hileras de 2,5 m de ejemplares arbóreos, preferentemente autóctonos. La implantación se realizará en diversos sectores dentro del predio, y en mayor medida en todo el perímetro del mismo.

- **Propuesta de Parquización**

Esta tarea permite lograr la implantación de un manto vegetal permanente a efectos de minimizar a través del mismo los efectos de la erosión hídrica y eólica sobre la cubierta final del relleno, como así también mitigar el impacto visual en el paisaje, por lo que

resulta necesaria su ejecución, una vez concluidas las tareas de cobertura de cada módulo o sector.

8.8.2 Programa de prevención

El objetivo de este programa es evitar que ocurran los impactos ambientales. Implica medidas de protección del medio natural, la calidad de vida de los habitantes, gestión integral de residuos, entre otros. En la Tabla VIII.VII se detallan algunos de los factores ambientales a considerar, en conjunto con la medida preventiva correspondiente.

Tabla VIII.VII: Programa de prevención

FUENTE: *Elaboración personal.*

Plan de Gestión Ambiental (PGA)	
Impacto Negativo	Medida de prevención
Calidad de aire y aumento de MP y polvos	Mantenimiento periódico de maquinaria y equipos para disminuir la generación de emisiones gaseosas
	Establecer pantallas forestales en el perímetro del relleno, desde el inicio de su construcción
	Mantener regados los caminos, frente de descarga y zonas de acopio
	Cobertura diaria y final de los residuos al finalizar las tareas de disposición final para minimizar olores y vectores
	Provisión de lugares adecuados para la manipulación de carga y descarga de los RSU
Generación de ruido	Minimizar y/o evitar acciones que generen ruidos y vibraciones
	Minimizar los niveles de ruido superiores a los 75 db. Brindar elementos de protección auditiva para aquellos trabajadores expuestos a niveles superiores al máximo permisible
Seguridad y salud ocupacional	Cumplir con las reglamentaciones y exigencias indicadas en la Ley de Seguridad e Higiene en el trabajo (N° 19587) y la Ley de Riesgos del Trabajo (N° 24557)
	Identificar y evaluar los posibles riesgos para prevenir accidentes laborales
	Capacitar a los trabajadores en el uso de elementos de protección personal (EPP) obligatorios según la actividad a realizar
	Colocar señales y cartelería de advertencia que indiquen los posibles riesgos y los EPP necesarios según la actividad a desarrollarse en el sitio y su peligrosidad
	Mantener el orden y la limpieza de las áreas de trabajo y de paso
	Capacitar a los trabajadores en el uso de equipos de lucha contra incendios y primeros auxilios
Mantenimiento	Realizar mantenimiento preventivo, correctivo y periódico de vehículos y maquinarias para garantizar condiciones óptimas de trabajo
Infraestructura	Realizar mantenimiento de los módulos de disposición final y de la planta de tratamiento de lixiviados

Calidad de vida de la población vecina	Respetar horarios, duración e intensidad de ruidos molestos y vibraciones.
	Respetar las delimitaciones del área de obra y operación por seguridad.
	Instalar elementos de protección y señalización perimetrales para evitar riesgos de daño a personas
Erosión del terreno natural, modificación en la estructura y composición del suelo	Este aspecto será recompuesto mediante revegetación en la etapa de clausura y post-clausura
Modificación de escurrimientos superficiales debido a movimientos de suelo	Acopiar los materiales (suelo de cobertura y vegetal) -en forma <i>temporaria</i> - sin que éstos interfieran sobre los sistemas de drenajes pluviales o el normal escurrimiento de las aguas superficiales
	Prever la existencia de sistema de drenajes o escurrimientos alternativos para evitar inundaciones en áreas no deseadas donde se estará realizando la construcción de las instalaciones
Cambios en el paisaje natural	La infraestructura poseerá un diseño que minimice los impactos visuales
	Mantenimiento de las áreas forestadas
	Conservación de sectores de vegetación existentes, capaz de actuar como controladores biológicos de vectores
	Mantenimiento del orden y limpieza
Riesgo de eventuales escapes de lixiviados	Implementación de un sistema de gestión y tratamiento de líquidos lixiviados
	Impermeabilización de las celdas
	Trabajar con frentes de descarga acotados mediante bermas para minimizar el escape de lixiviados
	Contar con un sistema de emergencia para la contención de derrames de lixiviado de modo tal de minimizar los impactos sobre los cuerpos de agua superficial y suelos
	Prever la reparación en forma inmediata de cualquier rotura de la cobertura final para evitar la entrada de agua de lluvia a los sectores del módulo cerrado
	Desarrollar y mantener un Programa de Monitoreo Ambiental de agua superficial y subterránea
	Realizar controles de calidad de vertido en forma continua
Modificación en la estructura del suelo	Cobertura adecuada con pendientes tales que permitan el adecuado drenaje y mínimo factor erosivo de las lluvias
	Apertura de celdas de superficie limitada, ajustada a la cantidad de RSU a ser dispuestos
	Cobertura periódica
	Mantenimiento del estado de limpieza de caminos de acceso y zonas aledañas al terreno

Riesgo de eventuales escapes de gases de vertedero	Implementación de un sistema de gestión y tratamiento de gases de vertedero
	Contar con un sistema de emergencia para la contención de fugas de metano u otros gases a la atmósfera
	Desarrollar y mantener un Programa de Monitoreo Ambiental de calidad de aire

8.8.3 Programa de monitoreo

El programa de monitoreo tiene por objetivo general el seguimiento y control de los impactos ambientales generados por el proyecto y del comportamiento y eficacia de las acciones propuestas (CORMECOR, 2015).

En otras palabras, las actividades de monitoreo apuntan a entender, determinar y predecir las tendencias ambientales, permitiendo acciones correctivas o mitigantes.

Para asegurar el correcto funcionamiento del relleno sanitario es necesario realizar algunos procedimientos rutinarios de monitoreo. En la Tabla VIII.VIII y VIII.IX se resumen algunas de estas actividades a realizar para cada indicador ambiental y la frecuencia de monitoreo que se recomienda para el mismo.

En el caso de calidad de aire, los procedimientos de muestreo y análisis del gas de relleno son los procedimientos estandarizados por la EPA.

Tabla VIII.VIII: Programa de monitoreo
FUENTE: CORMECOR, 2015; Tchobanoglous, 2002.

Actividad de monitoreo		Frecuencia
Calidad de aire ¹	Emisiones gaseosas de: Metano Dióxido de carbono Monóxido de carbono Monóxido de nitrógeno Dióxido de nitrógeno Óxido de azufre Sulfuro de hidrógeno	Mensual
	Mercaptanos	Anual
	Compuestos orgánicos no metagénicos (NMOC's): Tricloroeteno Benceno Tolueno Xileno Etilbenceno	Anual
	Cinética de emisiones - Velocidad - Temperatura - Humedad - Caudal Volumétrico del gas	

	Medición y control de emisiones de ruido	Mensual
	Detectar y corregir la presencia de malos olores	Diario
Calidad de aire (emisión y dispersión de MP y material liviano)	Medición y control de calidad de aire	Mensual
	Control de cobertura diaria	Diaria
	Control de cobertura final	Mensual
	Mantenimiento de caminos y playas de descarga	Semestral
	Reparaciones de caminos internos de circulación permanente	Anual
Equipos y maquinaria	Identificar y corregir sobrecalentamientos, vibraciones o ruidos anormales	Mensual
	Control de mantenimiento de maquinaria	Semanal
Suelo superficial	Determinación de calidad de suelo superficial (compuestos orgánicos e inorgánicos)	Mensual
Agua subterránea	Mediciones del nivel freático	Mensual
	Composición ²	
Lixiviados	Volumen de lixiviados	Mensual
	Composición ² de lixiviados	Cuatrimstral
Agua superficial	Volumen y composición	Cuatrimstral
	Mantenimiento de la red de drenaje	Mensual y/o en grandes precipitaciones
Paisaje	Control de cortinas forestales	Semestral
Infraestructura	Control y limpieza de los caminos de circulación	Diaria
Olores y ruidos	Estricto control del nivel de olores y ruidos que puedan producirse por el relleno para evitar molestias a los vecinos y afecciones a los operarios	Mensual

¹ El monitoreo de calidad de aire será realizado de forma mensual según metodología EPA. Asimismo, se realizarán mediciones con el modelo ISCST3 de la USEPA, tanto en la etapa de operación como de cierre y post-cierre, para determinar potenciales puntos alcanzados por la pluma de contaminación. En la etapa post-cierre el monitoreo debe continuar hasta que los niveles de emisión de CH₄ y CO₂ se encuentren por debajo del 1,0% en volumen y del 1.5% en volumen, respectivamente.

² Para la composición del agua subterránea y lixiviados se medirán los siguientes parámetros: conductividad, pH, alcalinidad total, dureza total, DBO₅, DQO, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, fosfatos, hierro total, cobre total, cadmio, zinc, cromo total, cromo hexavalente, manganeso, níquel total, mercurio total, arsénico total, cianuro, mercurio total, hidrocarburos totales, benceno, etil-benceno, tolueno, xileno.

Generalmente, si durante un periodo mayor a los 2 años algún parámetro incluido presenta valores inferiores a los límites de detección establecidos, se podría disminuir la frecuencia de toma de muestra de este parámetro específico.

La red de monitoreo de aguas subterráneas estará compuesta por una serie de pozos de monitoreo (freático), situados cercanos a los límites del predio (dentro del área perimetral de amortiguación), aguas arriba y aguas abajo del módulo de disposición final.

En cuanto a las aguas superficiales, se instalarán estaciones de monitoreo en los cursos superficiales cercanos al predio del relleno sanitario, con el objeto de detectar posibles descargas y/o derrames accidentales de líquido lixiviado.

Tabla VIII.IX: Programa de monitoreo (continuación)

FUENTE: CORMECOR, 2015;

	Objetivo de monitoreo	Requerimientos técnicos	Frecuencia
Geomorfología	Para evitar procesos erosivos		
	Drenajes Pluviales	Control	Diario
		Limpieza	Diario
		Reparaciones	Ante detección
		Desmalazamiento	Periódico
	Control de cobertura diaria	Control	Diario
	Control de cobertura final	Control	Mensual
		Mantenimiento	Semestral
		Siembra	Anual
	Parquizado de cobertura final	Corte y mantenimiento	Semanal o mensual
		Resiembra	Según estación del año
	Para lograr la estabilidad del relleno		
Relevamiento topográfico en áreas operativas y áreas finalizadas	Planos altimétricos	Mensual	
Control de estabilidad del terreno, taludes	Planos altimétricos	Semestral	
	Registro fotográfico		
Salud	Control de vectores sanitarios mediante desinfección, desinsectación y desratización, acompañadas de un Plan de control de los mismos		Trimestral
	Vigilancia del estado de salud	Relevam en centros de la salud de las enfermedades detectadas	Semestral
	Evaluación de riesgos de salud	Caracterizar cualitativamente los riesgos	Semestral
Caracterizar cuantitativamente los riesgos			

8.8.4 Programa de mitigación

Las medidas de mitigación suelen dividirse en dos grandes grupos: las preventivas y las correctivas, sumando a estas últimas la recuperación, minimización o compensación de los impactos residuales.

Entre las medidas de mitigación se considera en orden de jerarquía las siguientes estrategias: evitar, reducir y remediar. La eficiencia de cada una es directamente dependiente de la etapa de diseño del proceso en la cual se aplicarán las consideraciones ambientales, es decir, la evitación del impacto sólo se puede considerar en la etapa más temprana, mientras que las remediaciones serán la única opción disponible ante la ocurrencia del impacto en el proyecto finalizado (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2014).

Cada una de las estrategias expuestas será detallada a continuación:

Reducción de efectos: busca interceptar y tratar las emisiones, los efectos y corrientes residuales antes de que ingrese en el ambiente. Realiza los controles y monitoreos para que los efectos y emisiones cumplan con niveles aceptables.

Reducción de la exposición al impacto: se utiliza para impactos que abarcan un área extensa o indefinida. Estos impactos pueden incluir ruido, impactos visuales o exposición a peligro. La mitigación se realiza interponiendo barreras entre la ubicación del receptor y la fuente del impacto (ej. barreras de sonido o cortinas forestales).

Remediación: incluye todos los impactos residuales que a pesar de implementar medidas para evitar o reducir los mismos, éstos ingresan al ambiente y pueden causar efectos adversos. La remediación permite corregir condiciones del medio llevando a cabo tareas que buscan recomponer o restaurar el ambiente a su condición previa, o a un nuevo equilibrio de riesgo similar al de la situación previa. Por ejemplo: reubicación de instalaciones o estructuras, restauración de paisaje, reforestación, reubicación de receptores de interés, entre otros.

Dentro del relleno sanitario, dos de los problemas más fáciles de mitigar son el ruido y vibraciones, por lo que se recomienda realizar las actividades de movimiento de camiones recolectores o uso de maquinaria y equipos en horarios menos sensibles de forma que no afecten la calidad de vida de la población vecina. Otra medida sería minimizar la duración y frecuencia de estas actividades mediante un cronograma estricto, donde se comunique de manera anticipada las tareas a llevarse a cabo.

8.8.5 Programa de contingencias

Se deberá realizar un análisis de riesgos que permita caracterizar sucesos rutinarios y no rutinarios que permitan advertir situaciones de emergencia. Cada uno de estos sucesos deberá evaluarse de acuerdo al grado de probabilidad de ocurrencia y gravedad de sus impactos potenciales sobre el medio antrópico y natural. Las acciones que resulten significativas de dicho análisis deberán integrar el Programa de

contingencias, detallando para cada una procedimiento, plazos y responsables (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013).

Cada uno de los procedimientos deben estar debidamente estructurados, de tal manera que se garantice la viabilidad de aplicación en el terreno.

Este programa tiene como objetivo generar respuestas específicas, planificadas y ordenadas ante imprevistos y siniestros producidos por factores naturales, incendios, explosiones derrames, accidentes laborales y/o pérdidas accidentales.

A continuación, se presenta un listado no exhaustivo de potenciales situaciones de emergencia en un relleno sanitario:

- Deslizamiento de la masa de residuos
- Falla del sistema de drenaje de lixiviados
- Falla en la impermeabilización de la base
- Erosión de la cobertura
- Migración de gases y lixiviados
- Explosiones e incendios debido a la falla en los sistemas de gestión de gases
- Ocurrencia de hundimientos en las zonas con cobertura definitiva

Para que el programa funcione correctamente se debe establecer un protocolo de trabajo para prevenir las contingencias, a saber:

- Detección: Se deberá mantener bajo constante vigilancia las actividades que se lleven a cabo.
- Iniciación de acción de respuesta: El trabajador que detecte el incidente deberá dar aviso inmediatamente al responsable del área a cargo, quién iniciará las acciones de respuesta.
- Equipo de contingencia: Se deberá contar con diferentes equipos, elementos de protección personal y botiquín de primeros auxilios según el tipo de contingencia.
- Respuesta operacional: Detener o reducir la contingencia, evitar la expansión de la misma e intentar aislar el área, procediendo conforme a lo establecido en los planes de emergencia.
- Realizar capacitaciones y simulacros periódicos.

8.8.6 Programa de capacitación

La formación y capacitación técnica de los trabajadores del relleno sanitario es fundamental para lograr un manejo ambientalmente sustentable del mismo. Este programa incluye a los cuatro anteriores (prevención, monitoreo, mitigación y contingencia).

8.9 Conclusiones EsIA

Como conclusión del EsIA se puede resumir que el relleno sanitario ubicado sobre la RP N°2, produce un impacto ambiental que se puede definir como compatible con el medio y cuya implementación se encuentra condicionada a la realización de las medidas de prevención, mitigación y recomposición del medio. Esta evaluación surge de la sumatoria de impactos negativos y positivos de importancia moderada.

Si bien el proyecto provocará efectos negativos sobre el medio durante la etapa constructiva y de operación en el área de influencia directa, el funcionamiento del proyecto generará impactos positivos que aminoran el balance final de la evaluación. Esto se debe a que el relleno resolverá, en gran medida, el problema de la gestión de los RSU en toda la región.

Con la implementación de las diferentes medidas de mitigación y prevención diseñadas, los impactos ambientales negativos producidos serán mitigados o reducidos de manera que resulten poco significativos y sean compatibles con la capacidad de asimilación de los factores ambientales involucrados.

La RP N° 2 en este tramo, se verá afectada tanto en el período de construcción como también a partir del funcionamiento por el incremento del tránsito; durante esta última etapa se prevé el incremento del flujo vehicular para el traslado de RSU hacia el relleno. Teniendo en cuenta el crecimiento de la población y la vida útil del proyecto, podría ser necesario una modificación de los accesos al predio.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES

9.1 Conclusiones del proyecto

El diseño expuesto en este proyecto es viable técnicamente, permitiendo alcanzar el objetivo de tratamiento y disposición ambientalmente controlada de los residuos de la Ciudad de Villa María.

La alternativa de tratamiento biológico escogida permite una recuperación de los restos verdes y de poda, pudiendo, además, generar ingresos al Complejo.

De igual forma, la Planta de Separación y Clasificación semi-mecanizada permite una mejor optimización de los procesos que se llevan a cabo, reduciendo los tiempos de trabajo y aumentando la cantidad de residuos a separar y, posteriormente, comercializar.

Por último, el estudio de impacto ambiental permitió reconocer posibles impactos para luego, realizar un plan de gestión adecuado a las características del proyecto. Por tal motivo, el proyecto es viable también desde el punto de vista socioambiental y económico ya que resuelve, en gran medida, el problema de la gestión de los RSU en la región.

9.2 Conclusiones personales

La realización del Proyecto Final Integrador fue un gran desafío personal y profesional ya que implicó muchos meses de estudio y dedicación. Fue una buena instancia de aprendizaje, autoexigencia y autoconocimiento.

Me enfrenté a diversos desafíos en este proyecto. Particularmente, en la carrera tuve solo una materia de Residuos Sólidos la cual no fue muy exhaustiva en su contenido. Por tal motivo, tuve que aprender nuevas herramientas y habilidades en el transcurso de estos ocho meses de trabajo, período en el cual mi dedicación fue casi exclusiva a este proyecto.

La elaboración de este proyecto es una instancia de gran importancia para el desarrollo profesional como nuevos Ingenieros Ambientales. Sin embargo, considero que sería realmente positivo un proyecto final que involucre el trabajo de dos compañeros para una mayor integración de los contenidos.

Referencias bibliográficas

- ACUMAR (2009). *Los Residuos Sólidos Urbanos en la Cuenca Matanza Riachuelo: Cuadernillo para docentes.*
- Agencia de Residuos de Cataluña, 2016. *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje.* Barcelona, España.
- Aguas de Villa María-Cooperativa 15 de Mayo (2018). *Agua en la provincia*
- Aguas de Villa María-Cooperativa 15 de Mayo (2018). *Agua en la ciudad.*
- Álvarez de la Puente, J. 2007. *Manual de compostaje para agricultura ecológica.* Consejería de agricultura y pesca. Junta de Andalucía. España.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *“Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos Prestamo 3249/OC-AR”.*
- Cabrera, A.L. (1971). *Fitogeografía de la República Argentina.* Boletín de la Soc. Arg. de Botánica 14 (1-2).
- Cátedra Proyecto Final Integrador, 2015. *Evaluaciones de impacto ambiental como herramientas de gestión.*
- CEAMSE (2018). *Guía para educadores: Gestión de los Residuos en Buenos Aires.* Gerencia de relaciones institucionales del CEAMSE.
- CEAMSE (2012). *Diseño de un Relleno Sanitario.*
- Conesa Fernández-Vitora, (1995). *“Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental”.* México.
- CORMECOR (2014). *“Memoria descriptiva- Proyecto de tratamiento y valorización de los RSU”,* INTI, Córdoba
- CORMECOR (2015). *Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Complejo Ambiental de Tratamiento, Valoración y Disposición de los Residuos Sólidos Urbanos del Área Metropolitana de Córdoba”.* Geoambiental Geólogos Consultores.
- CORMECOR (2015). *“Proyecto de disposición final de los RSU: Memorias descriptivas y de cálculo”.* ARS, Córdoba.
- Cornell University (1996). *Calculate C/N Ratio for three materials.* Estados Unidos. Recuperado de: <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>
- Decreto Reglamentario N° 2131- del Impacto Ambiental. Provincia de Córdoba. *Anexo II: Proyectos obligatoriamente sujetos a presentación de Aviso de Proyecto y condicionalmente sujetos a presentación de Estudio de Impacto Ambiental*
- Diario La Voz (2017). *Los basurales no paran de quemarse y de contaminar.* Recuperado de: <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/los-basurales-no-paran-de-quemarse-y-de-contaminar>
- EN-AR-SA, *Evaluación de Impacto Ambiental C.T General Sarmiento, 2010.*
- ENOHSa. (s. f.). *Fundamentación de normas.*
- Environmental protection agency (EPA), 1994. *Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste.*

- Environmental protection agency (EPA), 2008. AP-42, *Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills*. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/draft/db02s04.pdf>
- Fontán, C. (2017) *Curso: Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos: Recolección de Residuos Sólidos Urbanos. Barrido y Limpieza de Calles*. Universidad ISALUD.
- García de Diego, M. (2007). *Plantas o Estaciones de transferencia*. LIPASAM: Empresa de Limpieza Pública del Ayuntamiento de Sevilla. Sevilla, España.
- Giordana, M.B (2012). *Gestión de residuos sólidos y estudio de impacto ambiental de un relleno sanitario en Adela María*. Universidad Tecnológica Nacional: Facultad Regional San Francisco.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1960.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1970.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1980.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1991.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
- Instituto Nacional del Agua (2014). *Estudio sobre tormentas de diseño para la estación Córdoba observatorio*.
- Instituto Nacional de prevención sísmica (2018). *Regiones con riesgo sísmico en la República Argentina*.
- INTEC, (1999). *Manual de compostaje*. Corporación de investigación tecnológica de Chile.
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Editorial McGraw Hill.
- LANDGEM, *Landfill gas emission model*, 2005, United States Environmental Protection Agency.
- Ley Nacional N° 25675. *“Ley General del Ambiente”*
- Ley Nacional N° 25.916 *de Residuos Sólidos Domiciliarios*
- Ley Provincial N° 7343 *“Principios Rectores para la Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente”*
- Ley Provincial N° 9088 *de Residuos Sólidos urbanos y asimilables*
- Ley Provincial N° 10208 *de “Política Ambiental Provincial”*
- McDougall F.R., White P.R., Franke M. and Hindle P. (2001). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Blackwell Science, London.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). *Observatorio nacional para la gestión de residuos sólidos urbanos*.
- Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. *Descripción de Cuencas Hídricas Superficiales- Cuenca del río Carcarañá*

- Ministerio de Salud y Ambiente (2005). *Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU)*.
- Municipalidad de Villa María (2018), *Centro Estadístico de la Municipalidad de Villa María*. Recuperado de:
<https://villamaria.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=1a398c8171d54c78b4a88e40fbdf0785>
- Municipalidad de Villa María (2018). *Movilidad en Villa María*. Recuperado de:
<https://www.villamaria.gob.ar/movilidad-villa-maria>
- Ntziachristos L., Samaras Z., 2012. COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1). European Environmental Agency ETC/AEM Technical report 49, Dinamarca.
- Observatorio Nacional para la Gestión de RSU. (2010). *Manual para el cálculo del costo de la gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos y para el uso de la matriz de costos GIRSU*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (2018). *“Campaña de educación ambiental”*. Buenos Aires Provincia.
- Organización Mundial de la Salud (2016). *Las dioxinas y su impacto en la salud humana*. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>
- O’Ryan, J & Riffo, M. Olivia (2007). *Compostaje y su utilización en la agricultura*. Fundación para la innovación agraria. Universidad de las Américas. Santiago, Chile.
- Perry (1996), *“Manual del Ingeniero Químico”*, McGraw-Hill.
- Plataforma Recicladores (*Plataforma de construcción de capacidades técnicas para la implementación territorial de sistemas inclusivos de GIRSU a nivel municipal*)
- Programa Córdoba Limpia (2003). Gobierno de la Provincia de Córdoba.
- Resolución N° 372/01 *“Términos de referencia para instalaciones para destino final de residuos domiciliarios o asimilables”* de Agencia Córdoba Ambiente, actual Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba.
- Resolución N° 1143/02 *“Construcción y operación de Rellenos Sanitarios”* de la Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires.
- Richard, T.1992. *Municipal solid waste Composting: Physical and Biological processing* Biomasa and Bionergy Rev. 3(3-4): 163-180p.
- Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios*. Municipio de Loja, Ecuador.
- Román, P. & Martínez, M. & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile
- Sakurai, K. (1980). *Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Sáez, L. Y., & Galbán, M. P. (2007). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas.
- Scorza (2015). *Ficha técnica CS8: Recolector compactador de residuos de caja trasera*.

- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2014). *“Criterios para la evaluación de impacto Ambiental”*
- Servicio meteorológico nacional. *Caracterización: Estadísticas de largo plazo. Guía climática por localidades: Marcos Juárez.*
- Tchobanoglous G; Kreith F (2002). *Handbook of Solid Waste Management*, Second Edition. McGraw-Hill. New York.
- Tchobanoglous, G, H.Theisen y S. Vigil. (1993). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. A. (1994) *“Gestión Integral de Residuos Sólidos”*, McGraw-Hill.
- Universidad Nacional de Córdoba (2012), *“Informe técnico para la selección de predio/s para el tratamiento de RSU del área metropolitana de Córdoba”*.
- Universidad Nacional de San Martín (2018). *“Caracterización y clasificación de los Residuos Sólidos”*. Cátedra de Residuos Sólidos, Ingeniería Ambiental.
- Universidad Nacional de San Martín (2017). *“Introducción a los RSU”*. Cátedra de Residuos Sólidos, Ingeniería Ambiental.
- Universidad Tecnológica Nacional: Facultad Regional Córdoba, *Diagnóstico ambiental de la Provincia de Córdoba (2016)*. Centro de Investigación y Transferencia en Tecnologías y Estrategias para el Desarrollo (CITED).
- Universidad Tecnológica Nacional: Facultad Regional Córdoba, *Diagnóstico ambiental de la Provincia de Córdoba (2017)*. Centro de Investigación y Transferencia en Tecnologías y Estrategias para el Desarrollo (CITED).
- Vaquero Diaz, I. (2004). *Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos*. Universidad Politécnica de Madrid
- Vaillancourt, K., & Waaub, J. (2002). *Environmental site evaluation of waste management facilities embedded into EUG_EENE model: A multicriteria approach*. European Journal of Operational Research 139.
- V.T. Chow (1958). *Hidráulica en Canales Abiertos*
- Williams, P (2005). *Waste treatment and disposal*. Second Edition Wiley, UK
- YPF (2019). *Precio por litro de diesel*.