INFORME 2

ALTERNATIVAS DE PROYECTO
Primera Parte

PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

2017

INDICE

1. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GIRSU.....5

1.1. Identificación del Problema y Planteo de Alternativas de Solución 5
1.1.1. Definición del problema a abordar 5
1.1.2. Análisis del problema mediante Árbol de Problemas 5
1.1.2.1. Metodología de Árbol de Problemas y Árbol de Objetivos 5
1.1.2.2. Identificación del Problema 6
1.1.2.3. Análisis de los Efectos del problema 7
1.1.2.4. Análisis de las Causas del problema 7
1.1.3. Análisis de objetivos mediante el Árbol de Objetivos 10
1.1.3.1. Desarrollo del Árbol de Objetivos (Árbol Fines -Medios) 10
1.1.3.2. Fines a lograr en función de los Efectos Identificados 10
1.1.4. Identificación de Acciones de Proyecto 12
1.1.5. Evaluación de las acciones propuestas 13

2. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO 14

2.1. Introducción 14
2.2. Servicios Municipales y Estrategias de reducción de la DF 15
2.2.1. Departamento de Capital 16
2.2.2. Departamento de Guaymallén 16
2.2.3. Departamento de Godoy Cruz 16
2.2.4. Departamento de Las Heras 17
2.2.5. Departamento de Luján de Cuyo 17
2.2.6. Departamento de Maipú 17
2.2.7. Departamento de Lavalle 18

2.3. Estrategias para la Minimización de la generación de residuos 18

2.4. Propuestas para la gestión diferenciada 19
2.4.1. Residuos Orgánicos y Reciclables 19
2.4.2. Residuos Industriales Asimilables a Urbanos 19
2.4.2.1. Capital 20
2.4.2.2. Godoy Cruz 21
2.4.2.3. Guaymallén 22
2.4.2.4. Las Heras 24
2.4.2.5. Lavalle 25
2.4.2.6. Luján de Cuyo 25
2.4.2.7. Maipú 26
2.4.2.8. Cálculo de la generación 28
2.4.3. Escombros y Residuos Voluminosos 29
2.4.4. Neumáticos de Desecho 30

2.5. Propuestas de Gestión de Relleno Sanitario 30
2.5.1. Relleno Sanitario 30

2.5.1.1. Características principales del Relleno Sanitario 31
2.5.1.2. Clasificación de los Rellenos Sanitarios 32
2.5.1.3. Selección del emplazamiento del relleno sanitario 33
2.5.1.4. Impermeabilización del módulo de vertido y drenaje exterior 34
2.5.1.5. Producción y Gestión del lixiviado 37
2.5.1.6. Sistema de captación y almacenamiento de lixiviados 39
2.5.1.7. Pileta de almacenamiento de lixiviados 40
2.5.1.8. Gestión de líquidos lixiviados 40
2.5.1.9. Producción y Gestión del Biogás 45
2.5.1.10. Sistemas de captación de Biogás 48
2.5.1.11. Gestión de los gases del relleno sanitario 50
2.5.1.12. Sellado y restauración ambiental de vertederos 53
2.5.2. Alternativas de Manejo del Relleno Sanitario 56
2.5.2.1. Relleno Sanitario Tradicional 56
2.5.2.2. Relleno seco (Pretratamiento de Alta Compactación). 59
2.5.2.3. Comparación entre distintas opciones de manejo del relleno sanitario 60

2.6. Propuestas de mejoramiento de servicios de recolección y aseo urbano 63
2.6.1. Servicio de Recolección de residuos 63
2.6.1.1. Separación en origen 64
2.6.1.2. Recolección de residuos domiciliarios 65
2.6.1.3. Recolección diferenciada 70
2.6.1.4. Implementación de Puntos Verdes 72
2.6.1.5. Frecuencias y horarios de recolección actuales 73
2.6.1.6. Propuestas para frecuencias de recolección 77
2.6.1.7. Propuestas para horarios de recolección 78
2.6.2. Servicio Municipal de Limpieza Urbana 78
2.6.2.1. Gestión de residuos sólidos proveniente de la limpieza urbana 78
2.6.2.2. Recolección, Operación, Equipamiento y Especificaciones técnicas 82

2.7. Propuestas de alternativa de tratamiento y valorización de RSU 94
2.7.1. Valorización energética de RSU 94
2.7.1.1. La combustión de los RSU 95
2.7.1.2. Determinación del poder calorífico interno de los RSU 96
2.7.1.3. Refrigeración de los humos de combustión 96
2.7.1.4. Control de la contaminación atmosférica 97
2.7.1.5. Dispersión de los humos 102
2.7.1.6. Residuos producidos en las instalaciones de incineración 103
2.7.1.7. Elección del emplazamiento 104
2.7.2. Procesos térmicos 104
2.7.2.1. Incineración 105
2.7.2.2. Gasificación 105
2.7.2.3. Pirólisis /termólisis 106
2.7.2.4. Biometanización 106
2.7.2.5. Otros procesos de recuperación 107

2.7.3. Instalaciones de Incineración 108
2.7.3.1. Instalaciones de tratamiento de los productos resultantes 113
2.7.3.2. Costos 115
2.7.3.3. Técnicas de pretratamiento, almacenamiento y manejo 116

2.7.3.4. Técnicas de tratamiento, control y reciclaje de residuos de incineración 116
2.7.3.5. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) genéricas para incineraciones 117
2.7.3.6. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) específicas para incineración de RSU 118
2.7.3.7. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para incineración de RSU pret. o selec. 119
2.7.4. Análisis de ventajas y desventajas de los sistemas de valorización energética 120

2.8. Propuestas de gestión de sistemas de recuperación y reciclaje 124
2.8.1. Planta de Separación de Residuos inorgánicos 124
2.8.1.1. Parámetros básicos de diseño de una Planta 125
2.8.1.2. Sectores de la Planta de Separación 127
2.8.1.3. Análisis de Ventajas y desventajas de las instalaciones de separación 137
2.8.2. Proceso de compostaje 138
2.8.2.1. Necesidad del Compostaje 139
2.8.2.2. Sistemas de Compostaje 144
2.8.2.3. Análisis de Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de compostaje 155

2.9. Propuestas de alternativas de transferencia de residuos 156
2.9.1. Transferencia de residuos 156
2.9.2. Tipos de Estaciones de Transferencia 157
2.9.2.1. Estaciones de descarga directa 158
2.9.2.2. Estación de descarga indirecta 159
2.9.2.3. Otras opciones de Estaciones de Transferencia 160
2.9.2.4. Análisis de Ventajas y Desventajas de los distintos sistemas de transferencia 164
2.10. Propuestas para la formalización de separadores informales 166

3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO 168

3.1. Alternativa de Proyecto Nº1 168
3.1.1. Descripción 168
3.1.2. Esquema de operación Alternativa 1 169
3.1.3. Resumen de procesos involucrados – Alternativa 1 169

3.2. Alternativa de Proyecto Nº2 170
3.2.1. Descripción 170
3.2.2. Esquema de operación Alternativa 2 171
3.2.3. Resumen de procesos involucrados – Alternativa 2 171
3.3. Alternativa de Proyecto Nº3 172
3.3.1. Descripción 172
3.3.2. Esquema de operación Alternativa 3 173
3.3.3. Resumen de procesos involucrados – Alternativa 2 174

4. MARCO DEL PROYECTO 174

4.1. Análisis y Descripción de Procesos 174
4.1.1. Resumen tipo de gestión adoptada 174
4.1.1.1. Transferencia de RSU 174
4.1.1.2. Recuperación de materiales 174
4.1.1.3. Producción de energía 175
4.1.1.4. Forma de operación del relleno sanitario 175

4.1.2. Sistema propuesto para la disposición final 175
4.1.3. Sistema propuesto para la recuperación y valorización de los residuos 176
4.1.4. Sistema propuesto para la recuperación de residuos orgánicos 177
4.1.5. Sistema propuesto para la transferencia de residuos 177
4.1.6. Resumen de procesos y tecnologías por alternativa 178

4.2. Datos Básicos de Diseño 179
4.2.1. Justificación de los cálculos realizados 183
4.2.1.1. Determinación de la población flotante por Departamento 183
4.2.2. Total de residuos generados en el Municipio de Capital 183
4.2.3. Fracciones de residuos contenidos en los RSU 183
4.2.4. Porcentajes de Material orgánico e inorgánico 184
4.2.5. Cálculos de volúmenes a gestionar 185
4.3. Justificación de la selección del predio de disposición final 188
4.3.1. Preselección de sitios posibles 188
4.3.2. Localización geográfica y distancias 191
4.3.3. Caracterización física del sitio 194
4.3.3.1. Flora y Fauna 194
4.3.3.2. Hidrogeología 197
4.3.3.3. Hidrología, suelos y topografía 205
4.3.3.4. Características socioculturales de los sitios propuestos 211
4.3.3.5. Características de uso del territorio de los sitios 217
4.3.3.6. Metodología para la selección de alternativas de localización 220
4.3.3.7. Análisis de los factores territoriales 221
4.3.3.8. Sintesis la evaluación de los Factores Territoriales 227
4.3.3.9. Resumen de Factores hidrogeológicos 228
4.3.3.10. Resumen de Factores de transporte 229
4.3.4. Selección del sitio 229
4.3.5. Conclusión General 231

1. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GIRSU

1.1.Identificación del Problema y Planteo de Alternativas de Solución

1.1.1.Definición del problema a abordar

El Estudio de Diagnóstico realizado, permitió la identificación de algunos problemas en la gestión municipal actual, los que se pueden resumir en lo siguiente:

- La disposición final de los RSU se realiza en forma incontrolada (basurales a cielo abierto) y semicontrolada (vertedero controlado, sin impermeabilización de fondos ni gestión de lixiviados).

- Existe una infraestructura de separación de residuos (Planta de Maipú), que está funcionando por debajo de su capacidad, y la disposición del rechazo del proceso no se realiza en forma controlada.

- Los servicios de recolección y aseo urbano, en general tienen buena cobertura (sólo tres Municipios no alcanzan el 100% de cobertura).

- Los fondos municipales asignados a la GIRSU, resultan insuficientes, ya que deberían provenir de una tasa específica, destinada para tal fin.

- Se ha detectado una importante población de separadores de residuos, asociados a los basurales a cielo abierto municipales.

- Los residuos se recolectan mezclados, es decir, sin separación en origen, aún en los sitios donde se realiza separación en planta.

- La legislación de los municipios en materia de RSU, es insuficiente y a veces contradictoria entre Municipios vecinos.

- Existe una legislación a nivel provincial que no se aplica y nunca se reglamentó. Además por ser anterior a la norma de presupuestos mínimos nacional (Ley Nº 25916) no se adecúa a la misma.

1.1.2.Análisis del problema mediante Árbol de Problemas

1.1.2.1.Metodología de Árbol de Problemas y Árbol de Objetivos

El análisis del árbol de problemas, llamado también análisis situacional o simplemente análisis de problemas, ayuda a encontrar soluciones a través del mapeo del problema. Esta metodología, identifica en la vertiente superior, las causas o determinantes y en la vertiente inferior las consecuencias o efectos.

Este método tiene las siguientes ventajas:

- Está relacionado e identifica problemas reales y presentes más que problemas aparentes, futuros o pasados.

- El problema se puede desglosar en proposiciones más manejables y definibles. Esto permite, priorizar más claramente en relación a que problema o tema es más importante y esto a su vez, permite enfocar los objetivos haciendo más efectiva su influencia.

- Hay un mayor entendimiento del problema y por lo general, interconecta con las causas más contradictorias.

- Identifica los argumentos constitutivos y ayuda a establecer quiénes son los actores políticos y procesos en cada etapa.

- Ayuda a establecer qué información adicional, evidencia o recurso se necesita para fundamentar el caso o construir una propuesta de solución convincente.

- Los problemas de desarrollo identificados en el árbol de problemas se convierten, como soluciones, en objetivos como parte de la etapa inicial de diseñar una respuesta.

- Los objetivos identificados como componentes o productos se convierten en los medios para encarar el problema de desarrollo identificado y proporcionar un instrumento para determinar su impacto de desarrollo.

Los pasos del método a utilizar son los siguientes:

1) Identificación del Problema.
2) Examen de los Efectos que provoca el problema.
3) Identificación de las Causas del problema.
4) Establecimiento de la situación deseada (objetivos)
5) Identificación de medios para la solución del problema.
6) Definición de acciones y configuración de Alternativas de Proyecto.

1.1.2.2.Identificación del Problema

Para la identificación del problema, y en función de los aspectos evaluados en el Informe 1: Estudio de Diagnóstico, se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- El problema central se debe plantear como una situación negativa que afecta a la población del área en estudio.
- Debe ser concreto, pero a la vez amplio para que permita plantear una gama de soluciones alternativas.

- Debe ser posible de cuantificarse con indicadores y estará sustentado en el diagnóstico.
- No debe ser expresado como la negación de una solución, debe dejar abierta la posibilidad de encontrar múltiples alternativas.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se definió el Problema como: "Inadecuada Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en la Zona Metropolitana de la Provincia de Mendoza".

1.1.2.3.Análisis de los Efectos del problema

En virtud del problema planteado se identificaron los efectos o repercusiones directas e indirectas relacionadas con del problema.

- **Efectos Directos**

  - Acumulación sin control de residuos en basurales a cielo abierto municipales.
  - Proliferación de basurales clandestinos.

- **Efectos Indirectos**

  - Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
  - Contaminación del aire por quema de residuos y emisiones.
  - Deterioro del paisaje natural.
  - Interferencia con actividades turísticas y productivas.
  - Proliferación de vectores transmisores de enfermedades.
  - Crecimiento de poblaciones de separadores informales de residuos.
  - Incremento de costos de remediación de pasivos ambientales
  - Imposibilidad de desarrollo de nuevos emprendimientos y pérdida de valor inmobiliario de terrenos.
  - Incremento de población de riesgo y transmisión de enfermedades.

1.1.2.4.Análisis de las Causas del problema

En virtud del problema planteado se identificaron las causas directas e indirectas generadoras de los efectos detectados.

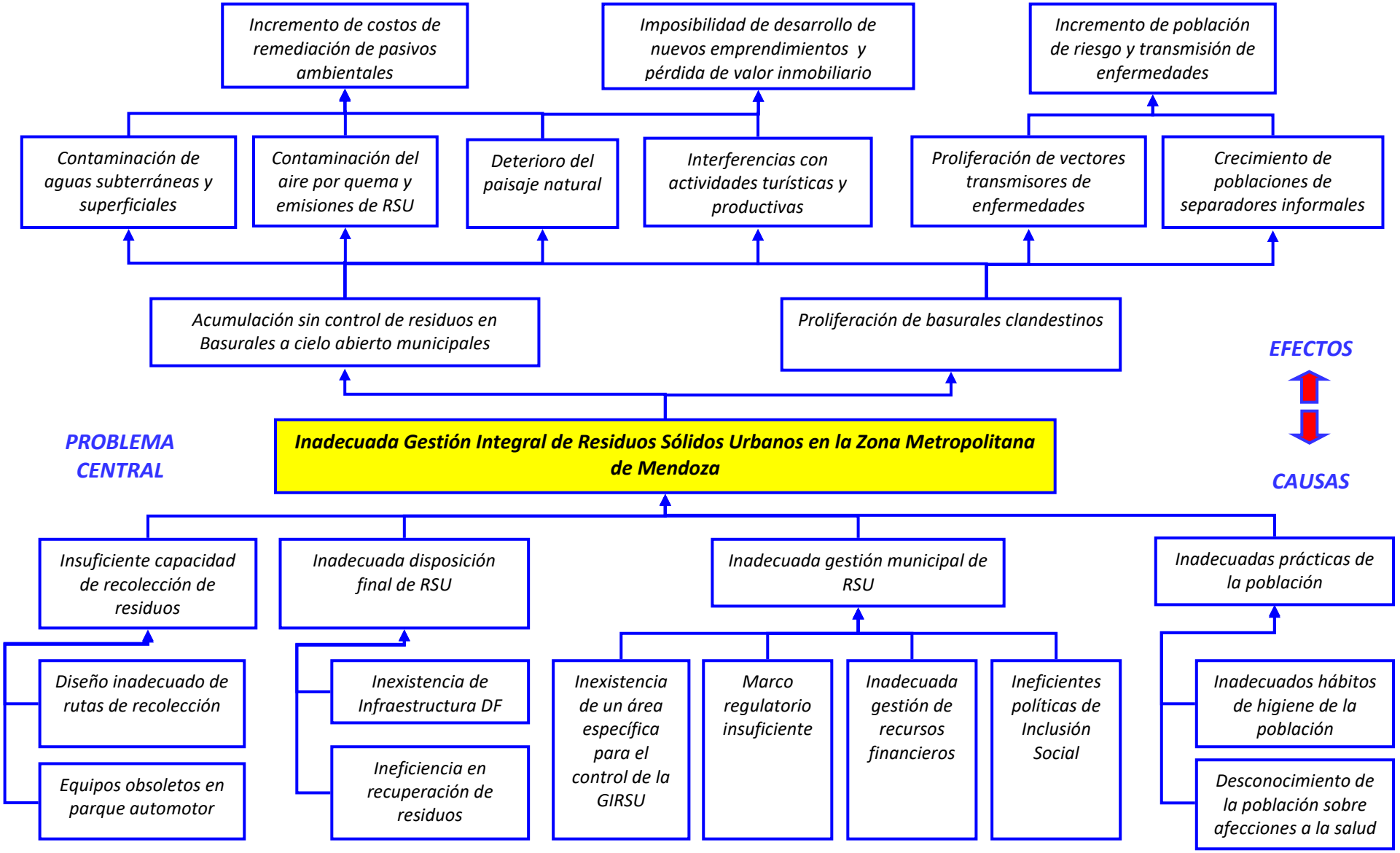
- **Causas Directas**

  - Insuficiente capacidad de recolección de residuos.
  - Inadecuada disposición final de RSU.
  - Inadecuada gestión municipal de RSU.
  - Inadecuadas prácticas de la población.

- **Causas Indirectas**

  - Diseño inadecuado de rutas de recolección.
  - Equipos obsoletos en parque automotor.
  - Inexistencia de infraestructura adecuada para la disposición final.
  - Ineficiencia en acciones de recuperación de residuos.
  - Inexistencia de un área municipal específica para el control de la GIRSU.
  - Marco regulatorio insuficiente.
  - Inadecuada gestión de recursos financieros.
  - Ineficientes políticas de Inclusión Social de los separadores informales.
  - Inadecuados hábitos de higiene de la población.
  - Desconocimiento de la población sobre afectaciones a la salud de los basurales a cielo abierto.

Desarrollo del Árbol de Problemas (Árbol Causa-Efecto)



1.1.3.Análisis de objetivos mediante el Árbol de Objetivos

1.1.3.1.Desarrollo del Árbol de Objetivos (Árbol Fines -Medios)

El Árbol de Objetivos representa la situación esperada al resolver el problema. Se construye buscando las situaciones contrarias a las indicadas en el árbol del problema. Así los efectos se transforman en fines y las causas se transforman en medios.

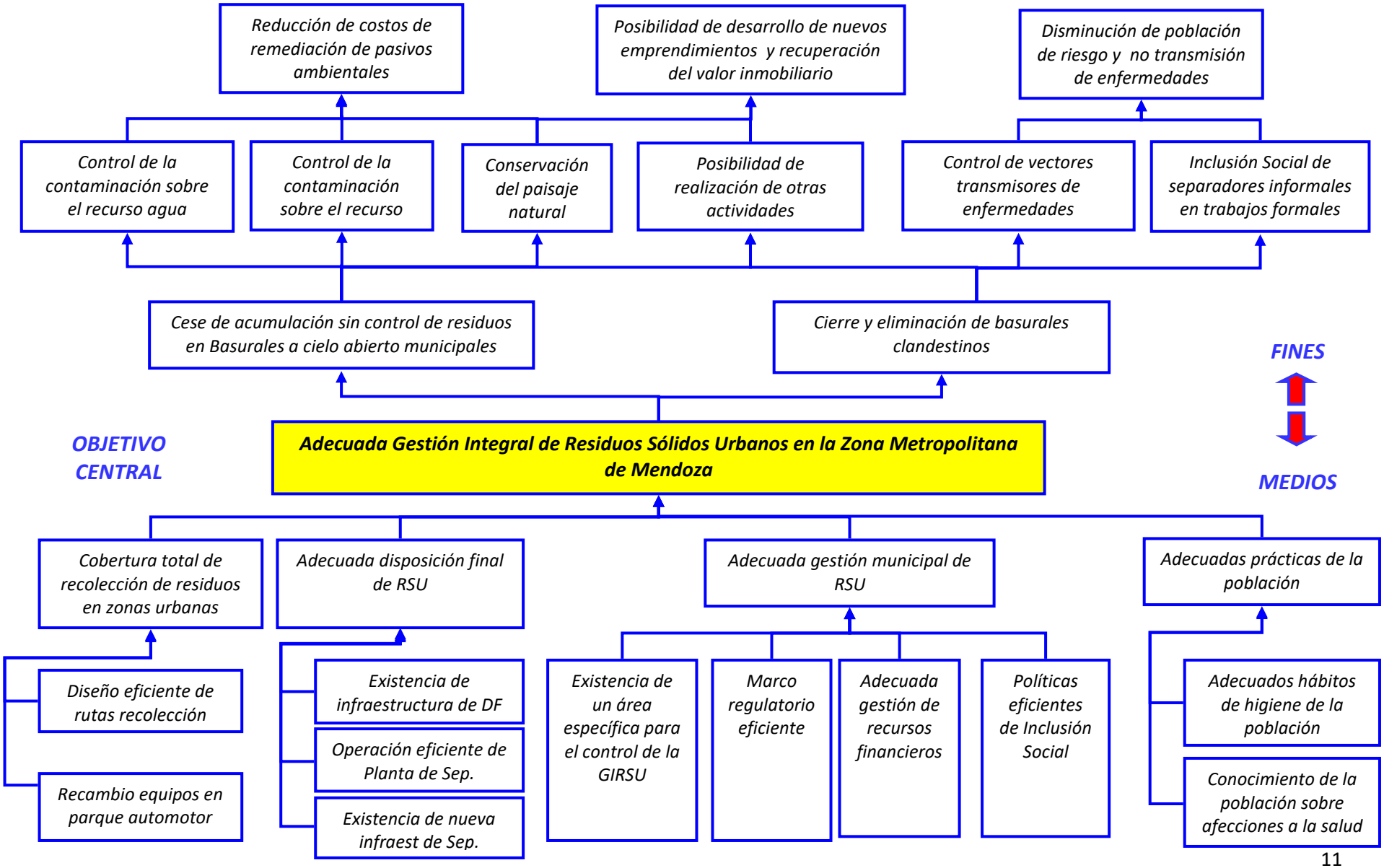
El problema identificado se transforma en el Objetivo Central: “Adecuada Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Zona Metropolitana de la Provincia de Mendoza”.

1.1.3.2.Fines a lograr en función de los Efectos Identificados

- **Fines Directos**
    - Cese de acumulación sin control de residuos en basurales a cielo abierto municipales.
    - Cierre y eliminación de basurales clandestinos.

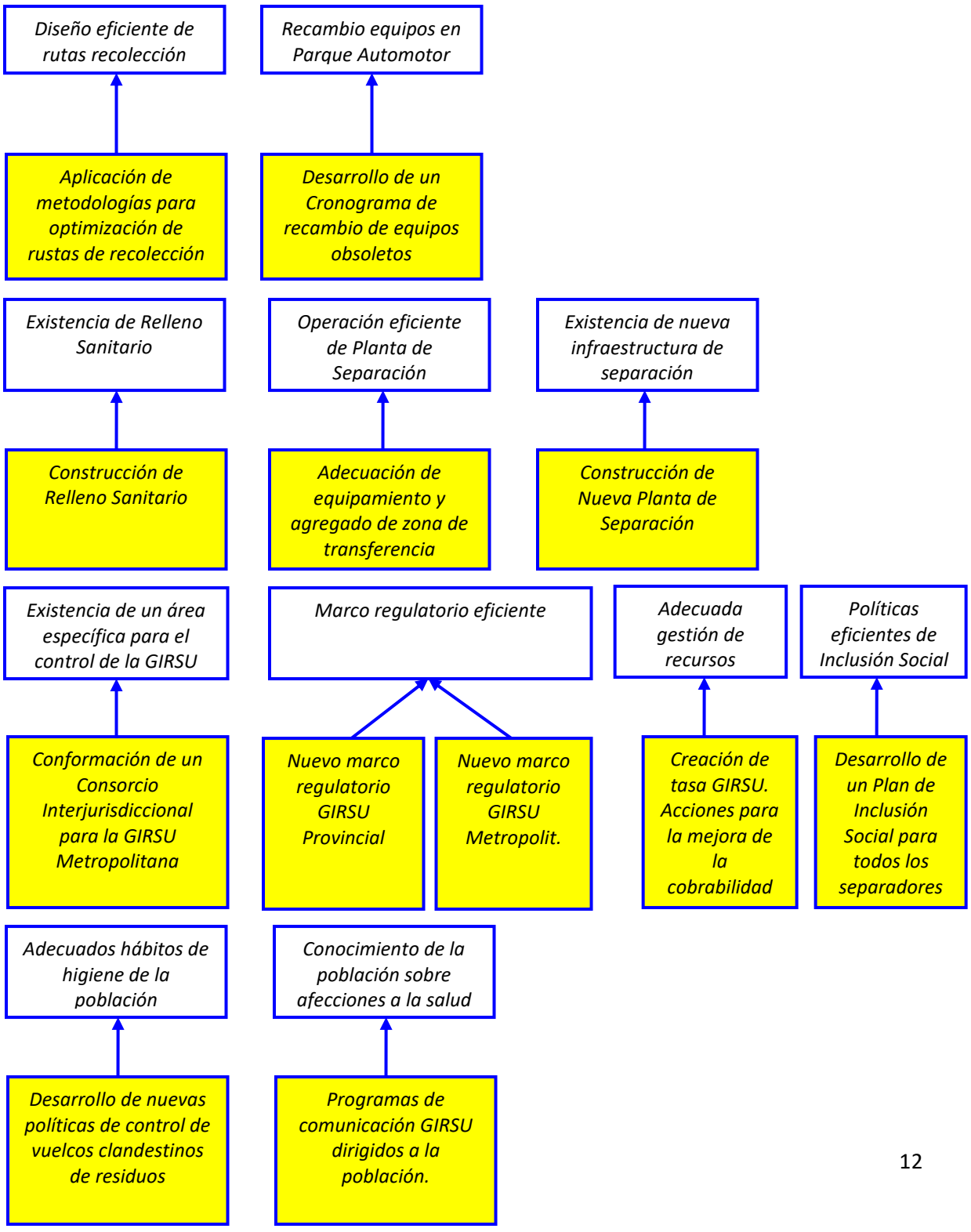
- **Fines Indirectos**
    - Control de la contaminación sobre el recurso agua.
    - Control de la contaminación sobre el recurso aire.
    - Conservación del paisaje natural.
    - Posibilidad de realización de otras actividades.
    - Control de vectores transmisores de enfermedades.
    - Inclusión Social de Trabajadores Informales de residuos
    - Reducción de costos de remediación de pasivos ambientales.
    - Posibilidad de desarrollo de nuevos emprendimientos y recuperación del valor inmobiliario de terrenos por remediación.
    - Disminución de población de riesgo y no transmisión de enfermedades.

Desarrollo del Árbol de Objetivos (Árbol Fines -Medios)



1.1.4.Identificación de Acciones de Proyecto

En función de los resultados obtenidos de la realización del Árbol de Problemas y el Árbol de Objetivos, se procede a la identificación de acciones de proyecto, partiendo de cada una de las bases del árbol de objetivos, y proponiendo acciones que permitan el logro de los medios.



1.1.5.Evaluación de las acciones propuestas

Una vez identificadas las acciones a desarrollar, para el logro de los fines propuestos se realiza una evaluación de estas acciones, a los efectos de determinar la interdependencia existente entre las mismas y la prioridad de ejecución de cada una, en función del Objetivo Central del Proyecto. En la siguiente tabla se muestran los resultados de esta evaluación.

Tabla 1: Evaluación de las acciones propuestas			
	Acción	**Interdependencia**	**Prioridad**
1	Optimización de rutas de recolección	Complementaria	Media
2	Cronograma de recambio de parque automotor	Complementaria	Media
3	Construcción de Relleno Sanitario	Complementaria	Alta
4	Adecuación de equipamiento en Planta de Separación y construcción sector transferencia	Complementaria	Alta
5	Construcción de Nueva Infraestructura de Separación	Dependiente de 3	Media
6	Conformación de Consorcio GIRSU Metropolitano	Complementaria	Alta
7	Desarrollo de nuevo marco regulatorio provincial	Complementaria	Media
8	Nuevo marco regulatorio GIRSU metropolitano	Dependiente de 7	Media
9	Tasa GIRSU y mejora de la cobrabilidad	Complementaria	Alta
10	Desarrollo Plan de Inclusión Social	Complementaria	Media
11	Políticas de control de vuelcos clandestinos	Complementaria	Media
12	Programas de comunicación GIRSU	Complementaria	Media

Tabla 1: Evaluación de las acciones propuestas

Una vez identificadas las acciones complementarias y dependientes, y su grado de prioridad, se pueden plantear las distintas Alternativas de Proyecto.

2. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO

2.1.Introducción

En función de lo surgido en el árbol de problemas y árbol de soluciones, y de las acciones necesarias a implementar para el cumplimiento del objetivo, surgen las siguientes pautas a incluir en la propuesta de Alternativas de proyecto:

- Es necesaria la construcción de una infraestructura para disposición final, que posea todas las condiciones necesarias para la protección del ambiente (relleno sanitario).

- Se debe fortalecer el funcionamiento de la Planta de Maipú, que en este momento está operando por debajo de su capacidad; agregando un sector de transferencia para solucionar la actual disposición del rechazo que no se está haciendo en forma controlada.

- Se deberán plantear distintas opciones para la recuperación de los residuos orgánicos e inorgánicos, para lo cual será necesario la construcción de una nueva infraestructura de separación.

- Desde el punto de vista institucional-administrativo, y por los antecedentes obrantes en la Provincia de Mendoza, la mejor opción a adoptar es el modelo de Consorcio Interjurisdiccional de Gestión de RSU, previsto en el Plan Provincial, ya que esto permitirá contar con personal capacitado y con financiamiento específico para la GIRSU regional.

- A los efectos de contar con los recursos económicos suficientes para la GIRSU a implementar, resulta necesario que los distintos municipios integrantes de la Región, implementen una tasa diferenciada de la tasa municipal general, como recurso afectado a la GIRSU.

- Una vez definida la localización de las infraestructuras a construir, se deberían evaluar los actuales circuitos de recolección, a los efectos de optimizar los tiempos y recursos destinados a este servicio.

- De igual modo, será necesario implementar una evaluación del estado actual de los equipos municipales destinados tanto a la recolección como al servicio de higiene urbana, planteando un cronograma de recambio de los mismos en función de la vida útil identificada en el Estudio de Diagnóstico. A su vez, se debe plantear un plan de incorporación gradual de nuevo equipamiento, tendiente a la ampliación

de la cobertura actual del servicio en forma gradual, a través de los años de vida útil de proyecto.

- Desde el punto de vista legal, es necesario realizar una adecuación del marco normativo actual, con la elaboración de una nueva ley provincial de RSU, adaptada a la Ley Nacional de Presupuestos Mínimos. En el ámbito local se plantea la necesidad de una normativa unificada a nivel metropolitano y ajustada al nuevo marco provincial.

- Se deberá desarrollar un Plan de Inclusión Social, para los actuales separadores de residuos que operan en los basurales a cielo abierto a clausurar, que incluya propuestas para la generación de puestos de trabajo formal, que se sumarán a los puestos de trabajo a generarse con las nuevas infraestructuras a construir.

- Desarrollar una normativa específica para el control de vuelcos clandestinos, común a toda la Zona Metropolitana, habilitando al Consorcio Interjurisdiccional a formarse para el ejercicio de este control.

- Diseñar un Plan de Comunicación, destinado a la concientización y formación de la población, con desarrollo de campañas tendientes a la implementación en forma gradual de la separación en origen.

2.2. Servicios Municipales y Estrategias de reducción de la DF

De toda la información desarrollada en el Estudio de Diagnóstico surge que todos los Municipios actualmente prestan el servicio de recolección de RSU. Con relación a los porcentajes de cobertura de recolección, en general son elevados. Los Municipios de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén y Las Heras, tienen coberturas del 100% sobre el área urbana. En segundo lugar se ubican Luján de Cuyo y Maipú, con 96 y 95% de cobertura respectivamente, siendo el Municipio de Lavalle, el que presenta el menor porcentaje de cobertura de recolección de zona urbana (85%).

La recolección actualmente se realiza puerta a puerta y sin segregación domiciliaria. No hay tampoco sistemas implementados de recolección diferenciada, salvo en el caso de Capital, que posee un servicio especial para la recolección del material provenientes del programa de contenerización que actualmente opera.

No existe un sitio de disposición final controlada, la disposición final de todos los Municipios se realiza en vertedero controlado (no relleno sanitario) o en basurales a cielo abierto. A continuación se agrega un detalle de la situación de cada Municipio:

2.2.1.Departamento de Capital

Actualmente y desde 2004, los residuos provenientes de la recolección de los RSU, domiciliarios y de limpieza urbana, son dispuestos en el Vertedero Controlado ubicado en el Distrito El Borbollón, Departamento de Las Heras, operado por la Empresa LIME. Existe un Convenio entre la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza y la Municipalidad de Las Heras, para la disposición de los residuos del Departamento de Capital en el sitio antes mencionado.

El municipio también cuenta con puntos verdes que se encuentran en distintos puntos desde donde se recogen fracciones diferenciadas de residuos.

2.2.2.Departamento de Guaymallén

La disposición final de todos los residuos del Departamento de Guaymallén, se realiza en un Basural a cielo abierto, ubicado en el Distrito de Puente de Hierro, cuyo terreno es de propiedad privada. En este vaciadero llegan todo tipo de residuos: domiciliarios, escombros, verdes, residuos de limpieza urbana, etc.

Existe un Contrato de Alquiler, entre los dueños del predio y las autoridades del Municipio. El sitio de disposición final está ubicado en el extremo norte del Departamento de Guaymallén, en el límite con el Departamento de Lavalle. En la calle Severo del Castillo s/n del Distrito de Puente de Hierro.

2.2.3.Departamento de Godoy Cruz

Actualmente y desde 2014, los residuos provenientes de la recolección de los RSU, domiciliarios y de limpieza urbana, son dispuestos en el Vertedero Controlado ubicado en el Distrito El Borbollón, Departamento de Las Heras, operado por la Empresa LIME.

Existe un Convenio entre la Municipalidad de Godoy Cruz y la Municipalidad de Las Heras, para la disposición de los residuos de ese departamento en el sitio antes mencionado. El municipio de Godoy Cruz cuenta con un programa de Recuperadores Urbanos, que recogen residuos clasificados como secos y que corresponden a plástico, vidrio metal, papel y cartón de algunas empresas o áreas específicas o directamente de los puntos verdes diseminados en distintos puntos del Departamento.

Paulatinamente se han implementado programas de eliminación de Tracción a Sangre y reemplazo por un motocarro, vehículo que es capaz de cargar hasta 500 kg y formarán parte de un sistema de recolección diferenciada en determinados horarios y zonas con el

control del municipio. El municipio ha firmado un acuerdo con distintas organizaciones sociales para llevar a cabo estos programas.[1]

El Municipio cuenta también con el PROGRAMA DE ALMACENAMIENTO TRANSITORIO DE PILAS Y BATERIAS EN DESUSO.SISTEMA DE TRABAJO DE RECOLECCION DE PILAS Y BATERIAS. Se trabaja en zonas diferenciadas, para ello el Departamento de Godoy Cruz se divideen 8 (ocho) áreas bien delimitadas y cada zona es visitada diariamente, es decir, cada camioneta recorre 4 zonas en los primeros cuatro días de la semana y el quintodía se realiza un recorrido especial con los reclamos telefónicos que se realizaron a laDirección de Medio Ambiente durante la semana.[2]

2.2.4.Departamento de Las Heras

El Vertedero Controlado donde la Municipalidad de Las Heras, realiza la disposición final de sus residuos sólidos urbanos, se encuentra ubicado en la localidad de “Campo Espejo”, distrito El Borbollón, Departamento de Las Heras. El sitio corresponde a un terreno de propiedad del Municipio. En este sitio se realiza la disposición final hace años, primero en forma incontrolada y a partir de 2001, de forma semi-controlada, a través de una concesión de la disposición final de los RSU.

2.2.5.Departamento de Luján de Cuyo

La disposición final se realiza en el basural a cielo abierto denominado Campo Cacheuta. Dentro de este predio, recuperadores urbanos realizan la selección de materiales reciclables, los mismos son descargados a granel y clasificados dentro del basural. Luego son vendidos a grandes acopiadores de plástico, metal, etc.

2.2.6.Departamento de Maipú

La gestión de los residuos del Municipio de Maipú se realiza en la Planta de Tratamiento de Maipú. Actualmente la planta sólo recibe residuos de origen domiciliario, y el resto se trasladan a una escombrera.

Esta planta se encuentra ubicada en el distrito de Barrancas y cuenta con cintas de separación desde donde el personal clasifica las distintas fracciones del residuo, separando el material inorgánico.

Dicha Planta posee tres corrientes de salida del proceso de tratamiento de los residuos ingresados, a saber:

[1] Publicación municipal.
[2] Datos de Diagnóstico de Situación Actual recopilados por la Dirección de Protección Ambiental.

- Material orgánico: la materia orgánica, libre de contaminante se somete, previo tratamiento de uniformidad de tamaño, a procesos de compostaje en capas delgadas en las composteras ubicadas dentro del predio principal de la Planta.

- Material inorgánico: los elementos inorgánicos recuperados (vidrio, metales, plásticos, trapos, papeles y cartones) son enviadas a un proceso de reducción de volumen, luego son empaquetados y acopiados en un sector cubierto hasta su venta para su posterior reciclado.

- Material de rechazo:todo el material no apto para su recuperación y reciclado es enviado al vertedero controlado, ubicado aproximadamente a dos kilómetros del predio principal de la Planta, en terreno también perteneciente a la comuna.

2.2.7.Departamento de Lavalle

La disposición final de RSU se realiza en el vertedero controlado de Las Heras-El Borbollón.

De toda la información de los municipios, y a moso de resumen se indican las políticas de minimización de la disposición final, se puede mencionar:

- La Planta de Maipú, donde se realiza recuperación de orgánicos e inorgánicos, provenientes de los residuos domiciliarios del Municipio de Maipú.

- Programas de Contenerización destinados a la separación de papel, cartón, vidrio y plásticos en los Departamentos de Capital y Godoy Cruz.

2.3. Estrategias para la Minimización de la generación de residuos

Esta actividad deberá ser promovida por las autoridades porque es una de las estrategias que tendrán impacto positivo en el futuro sobre la generación de residuos y por lo tanto de los costos asociados a los servicios de recolección e higiene urbana.

El cumplimiento de este objetivo es difícil de lograr, por los grandes intereses que están en juego, como los de la industria del empaque y el embalaje, y la de la fabricación de elementos de un solo uso, además de las costumbres de algunos sectores por la comodidad que brindan estos artículos.

Las actividades que hay que realizar para fomentar esta estrategia son:

- Desarrollar campañas sobre *consumo responsable* destinadas a la población, basadas en la conservación de los recursos naturales, mediante la preferencia de productos reusables o retornables.

- Promover *normativa específica* que obligue a la industria a la reducción en la generación de elementos desechables y empaques innecesarios, fomentando el desarrollo del ecodiseño de los productos.

2.4.Propuestas para la gestión diferenciada

2.4.1.Residuos Orgánicos y Reciclables

Actualmente, y en términos cuantitativos, la reducción de residuos destinados a la disposición final, es alrededor de 5% del total de la masa de residuos generada (generación total= 1400 tn/día, total recuperado: 60 tn/día).

Se propone entonces, aumentar este porcentaje mediante la optimización del funcionamiento de la Planta de Maipú, con la implementación gradual de material separado en origen y el agregado al sistema metropolitano de nuevas infraestructuras de separación, como una nueva planta de separación y aumento de las cantidades de material a compostar.

2.4.2.Residuos Industriales Asimilables a Urbanos

Los residuos industriales asimilables a urbanos, se gestionarán en las infraestructuras que integrarán el sistema (Planta de Maipú y Centro Ambiental a construirse en Las Heras), según las características de los mismos. La fracción orgánica de los mismos, según su características se incorporará a los procesos de compostaje, y la fracción inorgánica será derivada a las plantas de separación.

Para esto se requiere que los mismos cuenten con separación en origen, para lo cual los municipios deberán emitir una normativa específica, donde se indicará a los distintos sectores industriales la forma de separación de los residuos asimilables a urbanos que generen. Además se deberán establecer los mecanismos de transporte hasta los sitios de tratamiento y/o disposición final y las formas en que se realizará el control municipal sobre estas operaciones.

A los efectos del diseño de las instalaciones resulta necesario determinar las cantidades de estos residuos por cada Municipio integrante de la región.

Pero, como actualmente no existe un estudio específico de caracterización de los residuos generados en los establecimientos industriales de la región, para la estimación de la generación, se tomaron como base los porcentajes propuestos en estudios anteriores, para la Zona Metropolitana de Mendoza (IATASA 2009), fundados en datos de ciudades de similares características.

Así dentro de la masa total de RSU, se consideró una categoría denominada OTROS, conformada por: ESCOMBROS, RESIDUOS VOLUMINOSOS Y RESIDUOS INDUSTRIALES ASIMILABLES A URBANOS. A los efectos de la determinación de los porcentajes por Municipio a asignar a los residuos industriales, se consideró como base de cálculo el Producto Bruto Geográfico por Municipio, publicado por la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas del Gobierno de Mendoza (DEIE), tomando los porcentajes establecidos por cada Municipio para el rubro "industria",quedando la distribución del siguiente modo:

Municipios	Escombros	Volumin.	Industriales
Capital	46%	10%	44%
Godoy Cruz	23%	10%	67%
Guaymallén	46%	10%	44%
Las Heras	48%	10%	42%
Lavalle	8%	10%	82%
Luján	5%	10%	85%
Maipú	19%	10%	71%

A partir de las cantidades calculadas para los "residuos industriales asimilables a urbanos" en función de los valores mencionados precedentemente, se aproximaron los porcentajes de masa de residuos correspondientes a "orgánicos" e "inorgánicos". Para esto se tomaron, los porcentajes de presencia de industria por departamento y por tipo, publicados por el Instituto de Desarrollo Industrial Tecnológico y de Servicios (IDITS) de la Provincia de Mendoza.

A partir de allí, se identificaron las categorías de industria con capacidad de generar mayores cantidades de residuos orgánicos y las que generan mayor cantidad de inorgánicos, estableciéndose los porcentajes correspondientes a cada Municipio. Y en función de estos porcentajes se aproximó el cálculo por departamento.

A los efectos de clarificar los números adoptados, se incluye una descripción del desarrollo industrial de cada uno de los Municipios de la Zona Metropolitana de Mendoza ("Industria por Departamento", IDITS)

2.4.2.1.Capital

Capital es un departamento con absoluta predominancia de los sectores de Servicios y Comercio, ya que representa el centro neurálgico de una ciudad que ronda en total el millón de habitantes.

El rubro gráfico, que en realidad representa un típico servicio industrial, con aplicación de tecnología para la producción, presenta las cifras más importantes de toda la provincia.

Las impresiones van desde los editoriales (libros y revistas), hasta la cartelería industrial, pasando por las clásicas litografías e imprentas. Existe una cierta concentración de esta actividad en la zona este de la ciudad (primera, tercera y cuarta sección).

Este departamento no cuenta con áreas reservadas para la industria. Si existen depósitos de tipo industrial, para comercializar bienes producidos en establecimientos situados en otros departamentos.

En líneas generales las principales actividades industriales de Capital son:

Metalmecánica: zinguería, instalación de aire acondicionado y calefacción, matricería, proveedores y ferreterías industriales, rectificación de motores. Los establecimientos no son de gran envergadura.

Textil: principalmente de confección en telas y cueros. Blanco y telas. Uniformes. Esta industria muestra cifras que muy probablemente no representan la realidad, ya que esta actividad se desenvuelve muy informalmente. Existe una zona textil bastante definida en la Alameda.

Alimentaria: productos de panificación y confitería. Pastas frescas y secas. Golosinas a base de chocolate. Alfajores.

Papel y cartón: cartón corrugado. Litografiado de envases frutícolas. Industria gráfica que satisface necesidades de la industria y la población en toda la provincia. Periódicos locales. Editoriales. Cartelería industrial.

En este departamento predomina el fenómeno comercial, aún para las empresas industriales. La Ciudad presenta el núcleo poblacional y administrativo de la economía de toda la provincia.
Se puede concluir que Capital es un departamento con una cultura de la industrialización no tan acentuada, pero con criterios comerciales y administrativos más desarrollados que en el resto de la provincia.

2.4.2.2.Godoy Cruz

Godoy Cruz es un departamento industrial por excelencia en Mendoza. Su ubicación geográfica, formando parte integral del Gran Mendoza favorece el desarrollo de actividades industriales diversas, preferentemente destinadas a la satisfacción de las necesidades de la población urbana y la producción de bienes intermedios, utilizados por otras industrias.

El departamento fue factor fundamental en el desarrollo de la Zona Industrial Rodríguez Peña, la más importante de la provincia, en cuyas márgenes se asentaron establecimientos de los más diversos, algunos en su emplazamiento original, otros trasladados a la zona, atraídos por las ventajas de servicios comunes que dispone.

En líneas generales las principales actividades industriales de Godoy Cruz son:

Metalmecánica: Industria diversificada. Metalúrgica pesada. Maquinaria agroindustrial. Servicios metalúrgicos a la industria del Petróleo. Perforación. Bombas. Compresores. Electromecánica y mecánica de precisión. Construcciones metálicas. Insumos metálicos para el transporte. Fundiciones de metales diversos. Existen establecimientos de gran envergadura con mercados definidos y permanente innovación tecnológica. Otros subsectores se dedican a satisfacer necesidades de la población: carpinterías metálicas, rectificación de motores, etc. En Godoy Cruz residen importantes proveedores metalúrgicos y prestadores de servicios para esa actividad (arenado, pintura industrial, cromado, galvanizado, grandes ferreterías industriales).

Vitivinícola: Godoy Cruz se caracteriza por no tener gran número de establecimientos vitivinícolas. Sin embargo tienen su sede en el departamento firmas de envergadura tales como Diageo (ex Seagram Argentina) y la Bodega Escorihuela. A su vez, gran cantidad de establecimientos cerraron o se trasladaron a otros centros más especializados (casos de Bodegas Arizu, El Globo, Benegas, Filippini, etc.)

Bebidas no vínicas: este sector se ve favorecido por la presencia en el departamento de tres grandes firmas: Cervecería y Maltería Quilmes, Embotelladora Oeste (Pepsi Cola) y Diageo, que además de producir bebidas vínicas lo hace en las bebidas destiladas y locorosas. Permanente innovación y actualización tecnológica. Empresas de primer nivel. Producción y distribución de bebidas gaseosas.

En este departamento, dada la importante radicación industrial y su diversidad, se han debido desarrollar servicios en general que, en virtud de la cercanía a la Ciudad de Mendoza no tienen por destino necesariamente el mismo departamento.
Se puede concluir que Godoy Cruz es un departamento con una cultura de la industrialización muy acentuada, con empresas que marcan punta en materia de innovación de productos y procesos. Esto permite disponer de especialidades industriales que otorgan a la provincia ingresos en divisas originadas en procesos con aporte importante de mano de obra y un valor agregado adicional.

2.4.2.3.Guaymallén

Guaymallén es un departamento que conjuga los fenómenos urbanos y rurales con todas las connotaciones que ambos aparejan. Su situación, como parte integrante inseparable

de la planta urbana del Gran Mendoza, ha dado lugar al establecimiento de industrias de las más diversas especialidades.

Agroindustria: en las áreas suburbanas comienza el predominio de las agroindustrias, donde la vitivinicultura ocupa un espacio importante, además de plantas de industrialización dedicadas al deshidratado de hortalizas, conservas, encurtidos, olivícolas integrales, etc. Incorporación de capitales. Preponderancia de firmas de envergadura. En Guaymallén se concentran importantes frigoríficos, tanto cárneos como frutícolas.

Además es de importancia la presencia del Mercado Cooperativo de Guaymallén, el mayor del interior del país, que favorece entre otros rubros la producción de bolsas, carpas y coberturas para el transporte.

Papel y Gráfica: Cartón corrugado. Litografiado de envases frutícolas. Industria gráfica PYME por excelencia, que satisface necesidades de la industria y la población, principalmente del departamento. Edición de periódicos locales. Cartelería industrial. Envases especiales de papel y cartón.

Base minera: Industria del vidrio muy relevante. Aserraderos de mármoles. Tabiques de yeso.

Metalmecánica: caracterizada por presencia de PYMES. Zinguería. Instalación de aire acondicionado y calefacción. Proveedores y ferreterías industriales. Rectificación de motores. Maquinaria para bodegas y agroindustria.

Plásticos: Productos de Inyección y Moldeo. Soplado de botellas. Envases flexibles. Productos especiales.

Alimentaria: productos de panificación y confitería. Pastas frescas y secas. Galletas. Alfajores. Productos de copetín.

En este departamento se combinan fenómenos comerciales con industriales y de servicios. Existe una cultura de la industrialización bastante acentuada, lo que se marca en la gran cantidad de locales industriales y su diversidad.
Se puede concluir que Guaymallén es un departamento con una cultura de la industrialización acentuada, con criterios comerciales y administrativos más desarrollados que en el resto de la provincia; pero carece de infraestructura y áreas perfectamente delimitadas a tales efectos.

2.4.2.4.Las Heras

Las Heras es un departamento que conjuga los fenómenos urbanos y rurales con todas las connotaciones que ambos aparejan. Su ubicación, como parte integrante e inseparable de la planta urbana del Gran Mendoza ha dado lugar al establecimiento de industrias de las más diversas especialidades.

Agroindustria: poco desarrollo en términos comparativos con el resto de la provincia. Bodegas pequeñas y medianas. No hay predominancia de vinos finos. En Las Heras se concentran importantes frigoríficos cárneos y fábricas de embutidos y chacinados.

Papel y Gráfica: Industria gráfica y PyME por excelencia, que satisface necesidades de la industria y la población principalmente del departamento. Cartelería Industrial.

Base Minera: Materiales para construcción. Ladrillos comunes y cerámicos. Aserraderos de mármoles. Adhesivos cerámicos. Establecimiento cementero.

Metalmecánico: caracterizada por presencia de PyMES. Zinguería. Instalación de aire acondicionado y calefacción. Rectificación de motores. Estructuras metálicas. Maquinaria para bodega y agroindustria. Tanques.

Plásticos: Productos de Inyección y Moldeo. Soplado de botellas. Envases flexibles. Productos Especiales.

Alimentario: Helados industriales. Productos de panificación y confitería. Pastas frescas y secas.

Maderas y Muebles: importante establecimiento de tableros de madera aglomerada. Centro de la industria del mueble en Mendoza. Aberturas. Aserraderos de maderas. Madera para construcción.

En este departamento se combinan fenómenos comerciales con industriales y de servicios. Existe una cultura de la industrialización bastante acentuada, lo que se marca en la gran cantidad de locales y su diversidad. Se puede afirmar que Las Heras presenta perspectivas muy favorables a futuro, por su cercanía a la Capital de Mendoza y la infraestructura específica con la que actualmente cuenta.

2.4.2.5.Lavalle

Lavalle es un departamento donde la cultura industrial está prácticamente ausente. La orientación agrícola es sumamente acentuada, solamente matizada por la creación de empresas avícolas y de cría de animales en los últimos tiempos.

Sin embargo se advierte un gran potencial para la producción del departamento, con posibilidades concretas de aplicar tecnología y generar valor agregado a esa producción.

Las condiciones geográficas y climáticas de Lavalle son favorables para el desarrollo industrial. Inclusive, la cercanía de la Villa Cabecera debería actuar como polo de atracción de servicios para el transporte y la población en general. La Villa Tulumaya se encuentra a la misma distancia de la Ciudad de Mendoza que el Parque Industrial Provincial.

No obstante, culturalmente, la población lavallina actúa como formando parte de un "barrio sin retorno". Muchos lavallinos trabajan en Mendoza, a la vez que las centrales de las principales empresas del departamento tampoco se encuentran dentro de su territorio.

Lavalle debe valorar más su propia producción y fomentar la creación de empresas para lograr una explotación óptima de sus recursos. Se trata de un departamento caracterizado por la aparición de numerosos micro emprendimientos, muchos de ellos destinados a la apicultura o a la cría de conejos u otras especies; pero además se requiere de la aparición de empresas de mayor envergadura y con criterios concretos de innovación tecnológica, y consecuentemente, cultural.

Se cuenta con áreas definidas para la actividad industrial, aunque prácticamente no hay establecimientos. A su vez, existe disponibilidad de servicios industriales, tanto en Tulumaya como en Costa de Araujo, los dos centros poblacionales más importantes.

2.4.2.6.Luján de Cuyo

Luján de Cuyo es un departamento que conjuga los fenómenos urbanos y rurales con todas las connotaciones que ambos aparejan.

Geográficamente e industrialmente se caracteriza por los siguientes aspectos:

Cercanía de la Ciudad de Mendoza: implica el desarrollo de industrias relacionadas con la producción de bienes finales para consumo de la población.

***Zona de producción petrolera*:** implica el asentamiento de empresas de servicios petroleros y metalmecánicas asociadas a esa actividad.

***Primera zona vitivinícola*:** implica el asentamiento desde vieja data de bodegas que, particularmente en los últimos años han accedido a mercados selectivos.

***Emplazamiento de parques y zonas industriales*:** en Luján de Cuyo nació el primer Parque Industrial de Mendoza. Si bien su desarrollo no ha sido sostenido a lo largo del tiempo, representa una zona de gran actividad, con probabilidad de incrementarla en el futuro próximo.

***Corredor Bioceánico*:** Luján es área de paso obligado en el Corredor Bioceánico, por lo que se han emplazado importantes empresas de transporte de cargas y de servicios para el transporte, especialmente en el área del Acceso Sur (Ruta 40 Sur y Ruta 7 Panamericana).

En este departamento se combinan fenómenos tanto comerciales como industriales y se servicios. Existe una cultura de la industrialización muy acentuada, lo que se marca en la gran cantidad de locales industriales y su diversidad, y además, la magnitud de las empresas localizadas.
Es puede concluir que Luján de Cuyo es uno de los departamentos con mayores perspectivas favorables para el desarrollo industrial futuro, con una cultura de la industrialización con fuerte influencia de los criterios de innovación e incorporación de tecnologías.

2.4.2.7.Maipú

Maipú posee una industria que en sus inicios giró alrededor de la importantísima producción vitivinícola, pero que paulatinamente se ha ido diversificando en grado sumo. Así, a las tradicionales agroindustrias del departamento, se sumó una metalmecánica diversificada, con productos destinados a satisfacer necesidades de la industria alimentaria, hasta la provisión de bienes de consumo final para la población tanto del departamento como de toda la provincia. En las zonas industriales de Maipú se asentaron empresas de servicios petroleros y comerciales de gran envergadura.

En líneas generales las principales actividades industriales de Maipú son:

Vitivinícola: en Maipú incursionan bodegas destinadas a elaborar grandes volúmenes en convivencia con establecimientos elaboradores de vinos finos de calidad superior. Tienen su sede en Maipú tres de los más importantes grupos vitivinícolas del país: RPB, Fecovita y Peñaflor. El departamento pertenece a la denominada Primera Zona Vitivinícola de Argentina, con especialización en la variedad Malbec. Proceso de reapertura de bodegas, transferencia de capitales, incorporación tecnológica, apertura de nuevos mercados. En general se puede hablar de solidez en este rubro industrial.

Conservero: importantes establecimientos de elaboración de hortalizas y dulces tradicionales. Encurtidos. Frigoríficos frutícolas y cárneos. Producción de mosto concentrado. Importante industria de base olivícola. Incorporación de inversiones. Actualización tecnológica. Predominio de PYMES.

Alimentario: industria de cárneos, productos de panificación y confitería. Pastas frescas y secas.

Metalmecánico: industria diversificada. Maquinaria agroindustrial. Servicios metalúrgicos a la industria del petróleo. Perforación. Bombas. Válvulas. Maquinaria vial. Construcciones metálicas. Existen establecimientos de envergadura con mercados definidos y permanente innovación tecnológica. Otros subsectores se dedican a satisfacer necesidades de la población: carpinterías metálicas, rectificación de motores, etc. Sustitución de importación de partes de maquinaria vitivinícola y agrícola.

Plásticos: industria que provee de productos plásticos tanto para consumo final como en materias primas para la industria en general.

Químico: en Maipú funcionan plantas de producción de sales tartáricas, aceite de uva y alcohol vínico que procesa barras vínicas y orujo, originados como desecho de bodegas. Producción de agroquímicos. Zona alcoholera.

Papel y Gráfica: importante establecimiento papelero. Cartón corrugado. Litografiado de envases frutícolas. Industria gráfica que satisface necesidades de la industria y la población preferentemente local.

En este departamento, si bien predomina el fenómeno agrícola y agroindustrial, dada la importante radicación y la diversidad que existe, se han debido desarrollar otras actividades, tales como la metalmecánica, maderera, química, plásticos, y servicios cuyos destinos no son estrictamente del departamento.
Maipú es un departamento con una cultura de la industrialización muy acentuada. De todas maneras, como ocurre en todo el ámbito provincial, los productos industrializados tienen la tendencia a la "comoditización", sin acceder a innovación de procesos y productos tales que permitan especialidades, con mercados selectivos no sólo a nivel internacional sino también dentro del país. No obstante, la producción muestra características diferenciales respecto del común de los departamentos urbano-rurales de la provincia.

2.4.2.8. Cálculo de la generación

En función de todo lo indicado precedentemente, se realizó el cálculo porcentual de las fracciones de residuos orgánicos e inorgánicos por Municipio. En la tabla que sigue se observan los cálculos realizados

Tabla 2: Sectores Industriales por Departamento Zona Metropolitana – Área de Mendoza							
Sectores industriales	**Porcentajes por Categoría (%)**						
	Capital	**Godoy Cruz**	**Guaymallén**	**Las Heras**	**Lavalle**	**Luján**	**Maipú**
Vitivinícola	0.00	2.00	11.20	4.50	61.50	47.70	20.10
Alimentos conservados	1.90	3.20	10.80	5.70	27.90	4.70	14.60
Alimentos no Conservados	11.20	9.60	14.10	17.80	3.80	5.20	10.40
Bebidas no vínicas	0.50	2.60	3.60	6.40	0.00	2.90	2.60
Papel y Gráfica	35.70	7.90	9.70	7.60	0.00	2.30	4.20
Metalmecánica	22.80	50.90	32.70	24.80	0.00	22.70	23.00
Madera y Muebles	6.00	9.10	7.60	11.50	3.00	2.30	12.30
Industrias de Base Minera	2.30	3.20	1.30	10.20	3.80	5.80	3.40
Textil y Cueros	13.50	3.00	4.20	4.50	0.00	0.60	1.60
Química y Petroquímica	3.30	3.50	2.70	3.80	0.00	4.10	6.00
Plásticos	2.80	5.00	2.10	3.20	0.00	1.70	1.80
Generadores de orgánicos	**13.60**	**17.40**	**39.70**	**34.40**	**93.20**	**60.50**	**47.70**
Generadores de inorgánicos	**86.40**	**82.60**	**60.30**	**65.60**	**6.80**	**39.50**	**52.30**

predominancia de orgánicos

Tabla 2: Sectores Industriales por Departamento

Con estos porcentajes y las cantidades de residuos industriales asimilables a urbanos para cada Municipio, se determinaron las cantidades de orgánicos e inorgánicos de esta fracción, que se utilizó para las propuestas de las alternativas de proyecto.

Con relación a la propuesta de gestión de los residuos industriales asimilables a urbanos, se plantea lo siguiente:

- Estos residuos serán recibidos en la Planta de Maipú y en las nuevas infraestructuras a construir, para su tratamiento, de acuerdo a su composición.

- Tendrán que ingresar separados en sus fracciones orgánica e inorgánica para su derivación al tratamiento que corresponda, es decir sector de compostaje y sector de separación en planta, siempre que cumplan con los estándares que se

establezcan para el ingreso a estos sitios y el remanente será dispuesto en relleno sanitario.

- A los efectos de una operación más eficiente, se deberá armar un registro de las industrias que operen en la región, que formará parte del manual de operación de los establecimientos, donde se especificará de acuerdo a su categorización, el destino que deberá darse a cada carga, como así también los días y horarios de ingreso de los mismos.

- Cada municipio tendrá a su cargo el armado de los registros correspondientes y la forma de transporte de los mismos, es decir, si se realizará recolección municipal especial de estos residuos, o si a través de un registro específico de transportistas de RSU, se podrá autorizar un servicio privado de traslado, el cual para ser recibido en los centros de tratamiento y disposición final deberá contar con la correspondiente autorización municipal.

2.4.3.Escombros y Residuos Voluminosos

Los residuos inertes provenientes de la construcción (escombros) y los residuos voluminosos domiciliarios se gestionarán en distintos sitios, según el Municipio que los genere:

- *Municipalidad de Maipú*: Se dispondrán, como se hace actualmente, en la escombrera municipal ubicada en el Distrito de General Ortega.

- *Municipalidad de Luján de Cuyo*: se habilitará una escombrera municipal en el sitio del actual basural a cielo abierto (Campo Cacheuta), en forma posterior a la remediación del mismo, y su adecuación para tal uso.

- *Municipalidad de Lavalle*: se habilitará una escombrera municipal en el sector de la zona industrial de ese Municipio, a los efectos de evitar su traslado hasta el Centro Ambiental a localizarse en Las Heras.

- *Municipalidad de Godoy Cruz*: se habilitará una escombrera municipal en el sitio del ex - basural a cielo abierto (Campo Papa), en forma posterior a la remediación del mismo, y su adecuación para tal uso.

- *Municipalidad de Capital, Guaymallén y Las Heras*: estos residuos serán trasladados al Centro Ambiental a construirse. Los escombros ingresados no se dispondrán en el relleno sanitario, sino que se derivarán a sectores dentro del predio que requieran relleno. Se plantea a futuro la construcción de una planta para la trituración y posterior comercialización y/o utilización de este material en obras municipales.

Con relación a los residuos voluminosos, se plantea que los sitios mencionados anteriormente funcionen como sitios de acopio transitorio, para luego ser entregados a chacharitas o recicladores que se inscriban en un registro que organizará a tal fin.

2.4.4.Neumáticos de Desecho

Para los Neumáticos de Desecho y en virtud de su característica de residuos especiales, se gestionarán en forma independiente al resto de la masa de RSU, en instalaciones destinadas a tal fin, las cuales se deberán plantear por cada Municipio (de ser posible) a los efectos de cumplir con lo indicado en la Resolución Nº 523/2013 sobre Manejo Sustentable de Neumáticos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Nación, que en su artículo 3º, inciso c) establece: *"Proximidad: el tratamiento de los neumáticos de desecho deberá realizarse en los sitios adecuados más cercanos posibles al lugar de su generación"*.

Desde la Dirección de Protección Ambiental, están en evaluación algunos proyectos presentados por particulares para la gestión de estos residuos, en forma conjunta con el tratamiento legislativo de una norma provincial, que regule la gestión de los mismos.

2.5.Propuestas de Gestión de Relleno Sanitario

2.5.1. Relleno Sanitario

La disposición final constituye la última etapa operacional del manejo de los residuos sólidos que debe ser realizada bajo condiciones seguras, confiables y de largo plazo. El método ambientalmente más seguro es el relleno sanitario.

El relleno sanitario es una obra de ingeniería, destinada a la disposición final de los residuos sólidos en el terreno, confinándolos en la menor superficie posible, sin causar perjuicio para el ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud, bienestar y seguridad pública. Todas las fases de implementación de la técnica de Relleno Sanitario, desde la selección del emplazamiento, la ejecución propiamente dicha, el control ambiental, el uso posterior previsto para las áreas rellenadas y su integración al paisaje circundante, deben ser estudiadas y planificadas adecuadamente.

Los rellenos sanitarios tienen como finalidad darle un destino cierto y seguro a los residuos sólidos que se generan en los núcleos urbanos.

2.5.1.1.Características principales del Relleno Sanitario

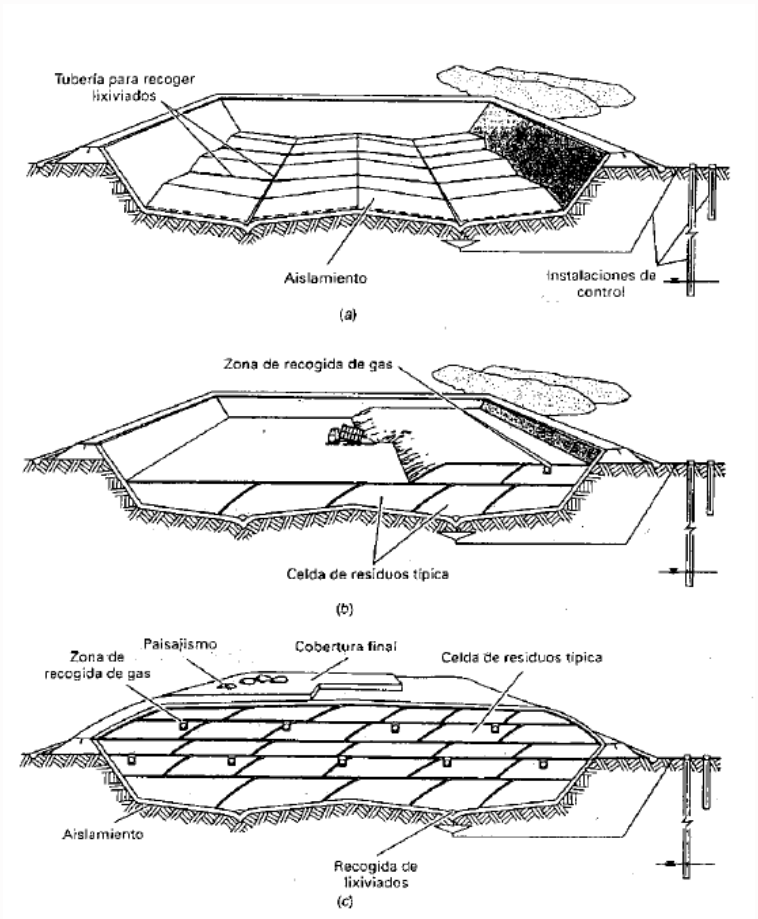
- Construcción de Módulos para la disposición de residuos con impermeabilización en el fondo, realizada con membrana de polietileno de alta densidad que evita la filtración de líquidos que pueden contaminar aguas subterráneas.

- Cerramiento perimetral del predio, control de acceso y barrera verde.

- Mecanismos de control y monitoreo de gases del relleno.

- Mecanismos destinados al control de los líquidos generados por la descomposición de los residuos, para evitar la contaminación del suelo y agua.

- Recuperación y uso posterior del predio con destino a espacios verdes y de recreación.



a) excavación y recubrimiento del vaso, b) llenado mediante la formación de celdas y c) sellado

Figura 1: Fases de la operación de un vertedero.
Fuente: Tchobanoglous, 1996

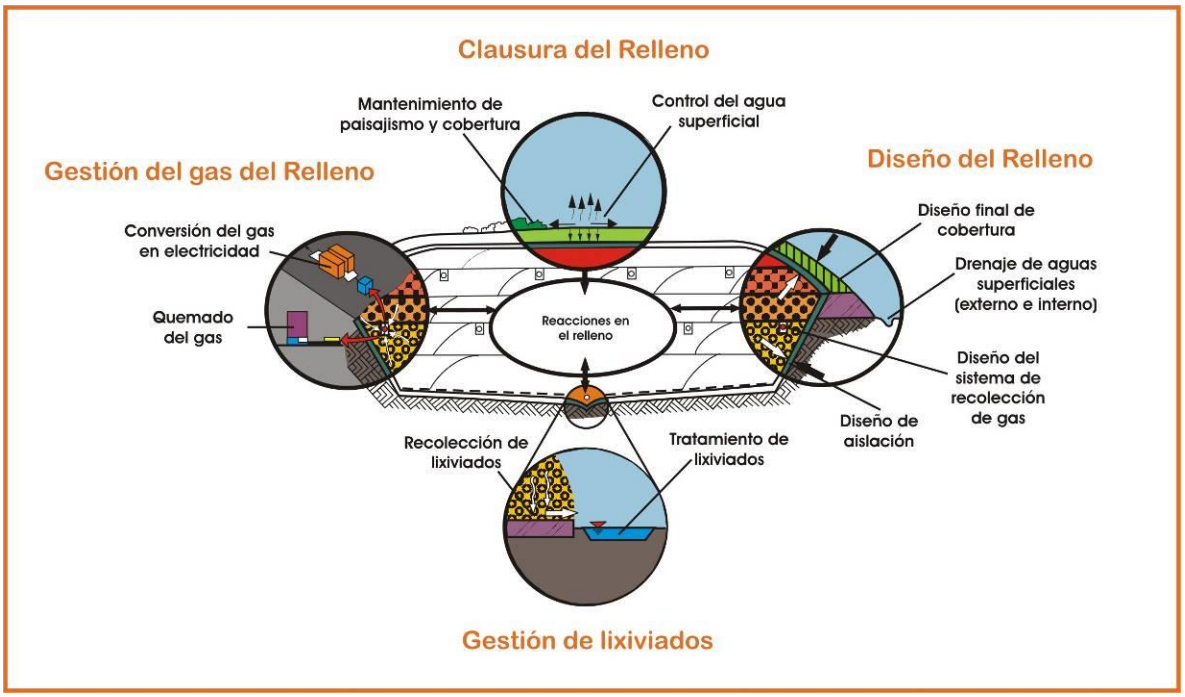


Figura 2: Corte esquemático relleno sanitario

2.5.1.2.Clasificación de los Rellenos Sanitarios

Los rellenos se pueden clasificar en tres categorías: de residuos peligrosos, de residuos no peligrosos y de residuos inertes.

- **Vertederos de residuos peligrosos:** se depositan residuos que presentan un riesgo potencial para el medio ambiente y la salud, así como los recipientes y envases que los han contenido. En función de la composición de estos residuos o de los lixiviados que pueden generar, en algunos casos será necesario realizar un tratamiento de estabilización o inertización previo a su vertido.

- **Vertederos de residuos no peligrosos:** Almacenan residuos urbanos además de otros de cualquier origen con la condición de ser “no peligrosos”, según lo establecido en la Ley Nº 5917 de adhesión a la Ley Nº24.051.

- **Vertederos de residuos inertes:** considerando “residuos inertes” aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. La cantidad y carga contaminante de los lixiviados producidos por estos residuos deberán

ser insignificantes y no suponer riesgo para la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

2.5.1.3.Selección del emplazamiento del relleno sanitario

La ubicación de un relleno sanitario es un complicado proceso en el cual su éxito depende de factores de diseño, impactos y valores comunitarios que deben considerar la combinación de parámetros sociales, medioambientales y técnicos, que a su vez supongan la minimización de costos, desde el punto de vista de su construcción y operación.

- *Geología y geomorfología:* Es quizás el condicionante más importante a los efectos de no dañar, a causa de los lixiviados, la calidad de las aguas subterráneas, acuíferos subsuperficiales o lechos de roca, además de reservas naturales de la zona.

- *Ambientales:* Los rellenos sanitarios se deben instalar en áreas con nulo o escaso interés ambiental, con escasa o nula vegetación y sin ningún tipo de protección de fauna y flora, arqueológica, geológica, paisajística, etc., estando especialmente prohibida su ubicación en espacios protegidos.

- *Distancias a viviendas:* Es absolutamente necesario cumplir y mantener, dentro de límites tolerables, las condiciones relativas a la seguridad e higiene públicas.

- *Topografía:* Se debe tener en cuenta la topografía local porque afectará el tipo de operación de vertido utilizada, las necesidades de equipamiento y el trabajo necesario para hacer que el lugar sea utilizable.

- *Disponibilidad de material de cobertura:* Es importante desde el punto de vista de la planificación de la explotación, especialmente por su importante peso en los costes asociados a ella.

- *Accesibilidad:* Este punto es evidentemente necesario desde el punto de vista funcional, tiene además su dimensión económica puesto que siempre es posible realizar los accesos asociados a la infraestructura.

- *Distancia de transporte:* Puede afectar significativamente el diseño y la operación global de un sistema de gestión de residuos. Aunque siempre son deseables distancias mínimas, como la localización del vertedero normalmente se determina por necesidades ambientales y políticas, el transporte a larga distancia actualmente es muy común.

- *Climatología:* La influencia de este factor se produce sobre la planificación de la operación, llegando a impedir en algunos casos esta operación. En general convienen zonas con una pluviometría baja y con temperaturas máximas no muy altas ni mínimas muy bajas. Respecto al viento convienen zonas resguardadas y con vientos dominantes que no se dirijan a las zonas pobladas.

- *Usos futuros del terreno:* Una de las ventajas de un relleno clausurado es que se dispone de una superficie grande de terreno para otros usos. Si la decisión sobre el uso futuro del vertedero se toma antes de iniciar la explotación, es posible planificar ésta para obtener una topografía final prefijada.

- *Sociales:* La presión social puede decidir la implantación o no de un relleno. Por tanto, el punto de vista ciudadano ha de ser incorporado en la toma de decisiones, mediante un amplio proceso de información pública.

- *Riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimientos de tierra o aludes en el emplazamiento del vertedero:* además de la protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

2.5.1.4.Impermeabilización del módulo de vertido y drenaje exterior

Todo relleno sanitario deberá estar situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados.

Se debe controlar el agua de las precipitaciones para que no penetre en el módulo del vertedero, impedir que las aguas superficiales y subterráneas penetren en los residuos dispuestos; recoger y controlar las aguas contaminantes y los lixiviados del vertedero.

La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase activa o de operación del relleno se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos y un sistema de recogida de lixiviados.

Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un relleno tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas. Esto se consigue cuando la base y los lados del vertedero disponen de una capa mineral con unas condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado deseable se acerque a los siguientes valores:

- *Vertedero para residuos peligrosos: k ≤ 1,0 x 10^{-9} m/s; espesor ≥ 5 m.*
- *Vertedero para residuos no peligrosos: k ≤ 1,0 x 10^{-7} m/s; espesor ≥ 1 m.*
- *Vertedero para residuos no peligrosos: k ≤ 1,0 x 10^{-4} m/s; espesor ≥ 1 m.*

Si la barrera geológica natural no cumple estas condiciones deberá complementarse con una barrera artificial.

Las barreras de protección mínimas que se dispondrán en los vertederos bajo la masa de residuos y las condiciones mínimas a exigir a dichas barreras se muestran en las siguientes figuras:

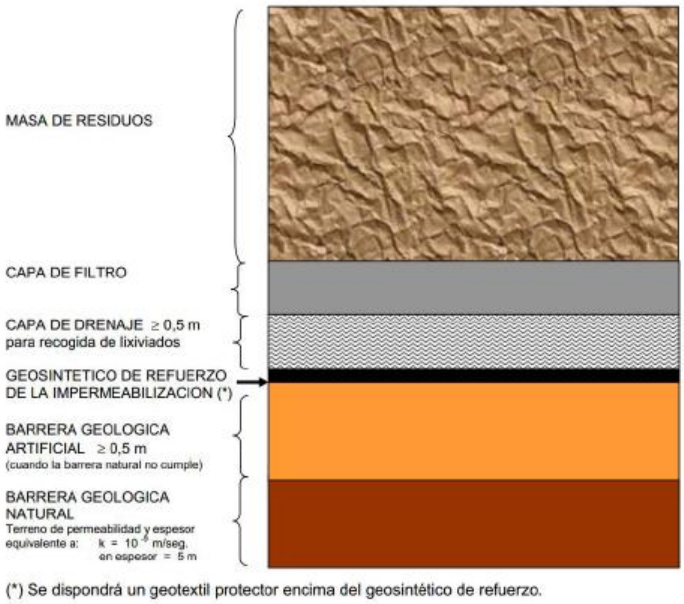


Figura 3: Impermeabilización de rellenos de residuos peligrosos

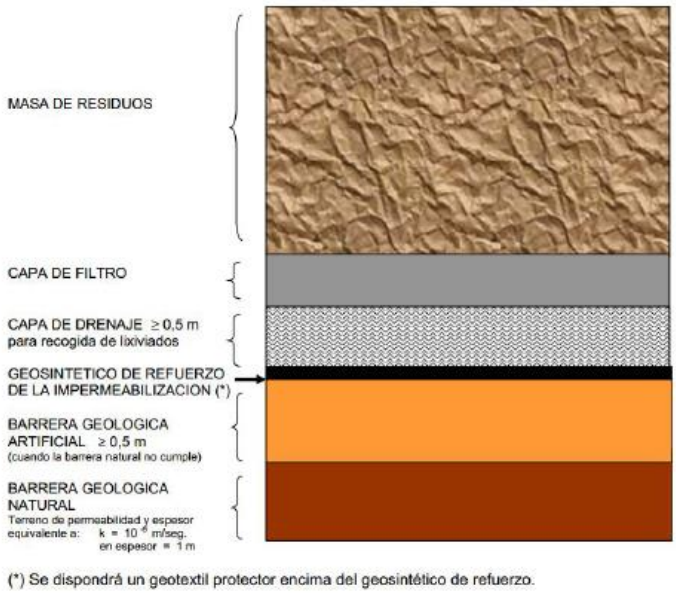


Figura 4: Impermeabilización en rellenos de residuos no peligrosos

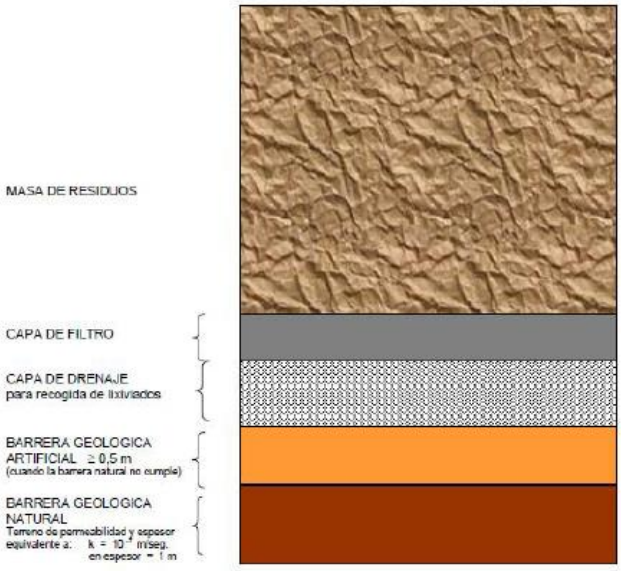


Figura 5: Impermeabilización en rellenos de residuos inertes

La finalidad del sistema de drenaje exterior es evitar que las aguas superficiales debidas a la escorrentía de lluvias entren en el módulo y, por lo tanto, en contacto con los residuos dispuestos. Para conseguir este objetivo pueden utilizarse, conjunta o separadamente, dos sistemas:

1) Canalización de las aguas provenientes de vertiente arriba del relleno. Este caso es muy usual cuando se utiliza un barranco como sitio de localización del RS. La infraestructura utilizada suele conocerse como entubado. Consiste en la colocación de un tubo siguiendo el fondo del barranco. El diámetro del tubo se calcula

teniendo en cuenta el caudal a evacuar. El espesor del tubo se calcula teniendo en cuenta el espesor de los residuos a soportar y las características y peso de los vehículos que vayan a circular sobre el tubo.

2) Recolección de las aguas de escorrentías procedentes de las laderas que rodeen al relleno y que puedan entrar en contacto con los residuos, a través de canales de guardia que impiden la penetración en los módulos de disposición de las aguas de escorrentía y las conducen en una dirección de desagüe adecuada.

2.5.1.5.Producción y Gestión del lixiviado

El lixiviado se genera como resultado de degradaciones microbianas, procesos de solución/precipitación de constituyentes y reacciones de absorción/deserción producidos en la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos y acentuados por la percolación del agua debido a las precipitaciones, la escorrentía y la infiltración o entrada de aguas subterráneas. Una de las características de los lixiviados es su fluctuación, tanto en cantidad producida, como en la composición de los mismos, algo que dificulta su tratamiento.

- **Características y composición del lixiviado**

La cantidad y composición del lixiviado depende, de la composición y densidad de los residuos, la edad el vertedero, hidrología del lugar y tipo de operación.

Tabla 3: Datos típicos sobre la composición de lixiviados

Constituyente	Valor (mg/l)		
	Vertedero nuevo (menos de 2 años)		Vertedero madura (más de 10 años)
	Rango	Típico	Rango
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
Nitrógeno orgánico	10-800	200	90-120
Nitrógeno 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 $CaCO_3$	300-1000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-150	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400

Tabla 3: Datos típicos sobre la composición de lixiviados			
Constituyente	**Valor (mg/l)**		
	Vertedero nuevo (menos de 2 años)		**Vertedero madura (más de 10 años)**
	Rango	**Típico**	**Rango**
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloro	300-3000	500	100-400
Sulfatos	50-1000	300	20-50
Total Hierro	50-1200	60	20-200
Fuente: Tchobanoglous, 1993			

Tabla 3: Datos típicos –composición de lixiviados

El potencial de formación del lixiviado puede valorarse mediante la preparación de un balance hidrológico del relleno sanitario, que implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el relleno y la sustracción de las cantidades consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua. La cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención del material del relleno.

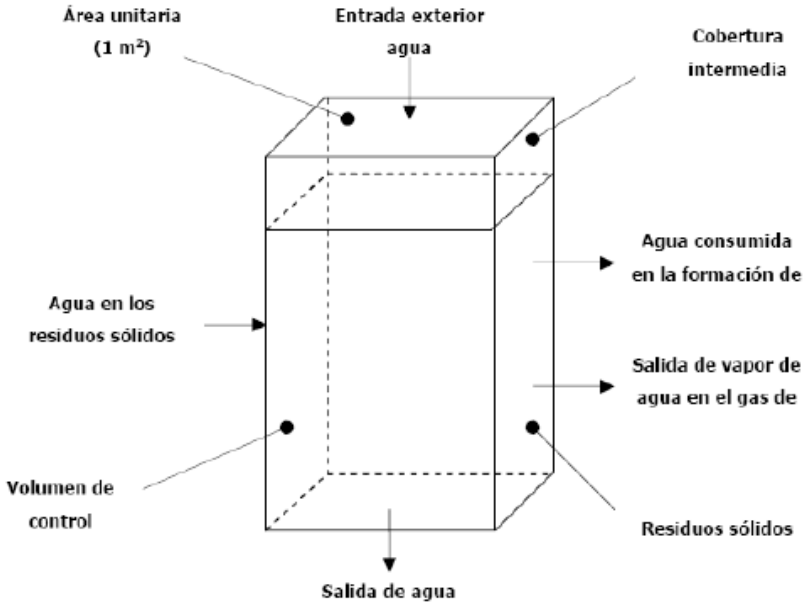


Figura 6: Volumen de control.
Fuente: Tchobanoglous, 1996

2.5.1.6.Sistema de captación y almacenamiento de lixiviados

En un relleno sanitario resulta necesario recoger las aguas contaminadas y los lixiviados, teniendo en cuenta las características del relleno y las condiciones meteorológicas. Para ello se diseñará un sistema de drenaje y evacuación de los lixiviados, así como un sistema de almacenamiento previo a su tratamiento.

- **Capa drenante**

Una vez colocado el revestimiento artificial, se dispondrá una capa drenante como protección del paquete de impermeabilización. Los materiales de este nivel drenante pueden variar según su disponibilidad y costo, pudiendo utilizarse gravas, material geosintético, e incluso de tierra con bajo contenido de nutrientes.

- **Tuberías de drenaje**

En el seno del nivel drenante, y sobre el fondo del módulo, se instalará una red de tubos de drenaje que faciliten la evacuación de los lixiviados hacia un colector principal. Los tubos se colocarán en forma de espina de pez, de forma que sean capaces de recoger la mayor parte de los lixiviados generados en el módulo. El material con que esté fabricado el tubo garantizará que el sistema de drenaje no perderá su funcionalidad durante la vida útil del vertedero, debido a las acciones físicas, químicas o biológicas.

Serán lisos con un diámetro mínimo de 20 cm según la NRA (Nacional Rivers Authority) (1995), y de 10 cm según Tchobanoglous (1996).

Los tubos poseerán unas perforaciones contadas cortadas con láser sobre la mitad de la circunferencia, espaciados en 0,6 cm con tamaño de corte de 0,00025 cm, que es el tamaño más pequeño de la arena. Los tubos de recogida se cubrirán con una capa de arena de 60 cm antes de comenzar el vertido, donde la primera capa de residuos no se compactará.

El diseño de los tubos contemplará la implantación de sistemas para inspección y mantenimiento, por ejemplo: pueden colocarse circuitos cerrados de televisión y control hidrométrico remoto para la inspección y limpieza en los trabajos de los tubos.

La pendiente mínima de los sistemas de drenaje hacia el punto de evacuación de los lixiviados será del 2% (Glysson, 2003; NRA, 1995) o entre 1,2-1,8% (Tchobanoglous, 1996) para que el desagüe por gravedad sea eficaz durante el período de operación y después del mismo. Este podría ser superior según las necesidades del lugar.

- **Protección del drenaje**

Si fuese necesario se colocará una capa filtrante protectora, constituida por geotextil filtrante o por una capa de material granular fino. Se colocará sobre el sumidero de material de alta permeabilidad para prevenir la posible obstrucción física de materiales de grano fino. Las características principales de estos materiales serán las siguientes:

- Deberán ser químicamente resistentes al lixiviado.
- Los geotextiles deberán ser suficientemente resistentes para reforzar las aperturas de los materiales de drenaje a los que protegen.

- La resistencia al desgarramiento y a la perforación serán, al menos, el doble que las de las membranas a las que protegen.

2.5.1.7.Pileta de almacenamiento de lixiviados

Los lixiviados y todas las aguas que entren en contacto con los residuos se tratarán antes de su vertido de modo que cumplan los límites de vuelco al cauce fijados en la autorización.

La red de captación de lixiviados conducirá éstos hasta una pileta de almacenamiento impermeabilizada de forma similar al módulo de vertido, de forma que garantice la protección del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas.

2.5.1.8.Gestión de líquidos lixiviados

Existen diferentes formas de gestionar los líquidos lixiviados que se generen por la operación del relleno sanitario. La selección del sistema de gestión de LL, se fundará en las características específicas del sitio que se esté operando, los puntos a considerar serán: cantidad de lixiviados calculados, clima del lugar, costos de inversión, condiciones de seguridad en la operación, entre otros. Entre las distintas posibilidades de gestión de estos líquidos se mencionan cuatro opciones:

- **Reincorporación a la masa de residuos**

Este sistema consiste en la reinyección de los líquidos en la masa de residuos, mediante regado superficial o conductos específicos de reinyección. El objetivo principal de la adopción de este sistema es acelerar el proceso de fermentación de la materia orgánica. Este sistema es recomendable, cuando las condiciones climáticas del sitio de localización, impliquen falta de humedad en los residuos de las capas inferiores, antes de haber logrado su completa degradación. También para el caso que se cuente con una superficie

general reducida que no permita la construcción de instalaciones específicas de tratamiento o grandes lagunas de almacenamiento para su evaporación.

Ventajas

- Aumento de la vida útil de los módulos de disposición final, al acelerarse los procesos de descomposición de materia orgánica.

- No es necesario contar con instalación de grandes dimensiones para su almacenamiento, lo que permite reducir costos de inversión.

- Se minimizan los riesgos operativos relativos al almacenamiento de líquidos peligrosos.

Desventajas

- Dificulta técnicamente la operación de avance de los módulos, debido a que además de irse colocando los conductos para venteo de gases y extracción de lixiviados, se deben incorporar nuevos conductos para la su reinyección (en caso de utilizarse este modo de reincorporar líquidos).

- Si se utiliza el regado superficial, aumentan los riesgos operativos relativos a la pulverización con un efluente peligroso.

- Se debe contar con una planificación ajustada en la etapa de operación, para la determinación de fechas de extracción, tiempos mínimos de almacenamiento y fechas de reinyección especificadas.

- **Tratamiento in situ – Planta de Tratatamiento de LL**

Para realizar el tratamiento “in situ” es necesario la construcción de la correspondiente planta de tratamiento. Esto produce un incremento tanto en el costo de la inversión inicial como en la operación, debiéndose eliminar posteriormente los fangos resultantes del proceso. Este sistema es recomendable cuando se calcule que se van a generar mucha cantidad de líquidos lixiviados.

Ventajas

- Reducción de riesgos de operación, por manipulación de efluentes peligrosos, en operación de regado o reinyección.

- Reducción de riesgos de almacenamiento de líquidos peligrosos en una pileta que se puede desbordar, puede infiltrar y además del riesgo de accidentes de trabajo.

- Se puede obtener un líquido tratado que podrá ser reutilizado, por ejemplo para riego, cuando sus parámetros de salida así lo permitan.

Desventajas

- Eleva sustancialmente los costos de inversión en la etapa inicial, y posteriores de la vida útil del relleno, donde será necesario resolver el traslado de los líquidos desde los módulos más alejados hasta la planta de tratamiento.

- No permite colaborar con aporte de humedad para la aceleración de los procesos de degradación de la masa de residuos, y favorecer de este modo la vida útil del relleno.

- **Almacenamiento de lagunas de evaporación**

Este sistema implica la construcción de piletas de poco fondo (lagunas) para favorecer la evaporación natural. Es necesario eliminar posteriormente los fangos obtenidos. Este sistema es recomendable cuando se cuenta con dimensiones del terreno que permitan la construcción de estas lagunas y con un clima apropiado que favorezca los procesos de evaporación del líquido almacenado.

Ventajas

- Reducción de costos de inversión inicial, con relación a una planta de tratamiento.
- No requiere manipulación de los líquidos, una vez que fueron volcados a la laguna.

Desventajas

- Mayores costos de inversión inicial, con relación al sistema de reinyección, debidos a la construcción de una laguna impermeabilizada de grandes dimensiones.

- Riesgos de operación por la existencia de una laguna de grandes dimensiones con almacenamiento de líquidos peligrosos.

- Grandes cantidades de lodos a tratar, que pueden implicar la necesidad de su retiro para tratamiento “ex situ” de los fangos.

- No permite colaborar con aporte de humedad para la aceleración de los procesos de degradación de la masa de residuos, y favorecer de este modo la vida útil del relleno.

- **Solidificación por adsorción química**

Este sistema permite obtener una materia inerte, similar a la tierra, que puede utilizarse como material de recubrimiento en el propio vertedero. Se recomienda en los casos en que prevea la generación de grandes cantidades de líquidos lixiviados, y cuando no se cuente en el sitio con material apropiado para la cobertura diaria de residuos.

Ventajas

- Permite obtener un material inerte, que puede ser utilizado para la cobertura diaria de las celdas en operación.

- Reducción de costos de inversión inicial con relación a la construcción de una planta de tratamiento del efluente.

- Reduce los riesgos de operación por la manipulación del efluente con relación al método de reinyección y al método de almacenamiento en laguna de evaporación.

Desventajas

- Mayores costos de inversión inicial por la construcción de instalaciones para la aplicación del método de adsorción química para el tratamiento de los LL.

- No permite colaborar con aporte de humedad para la aceleración de los procesos de degradación de la masa de residuos, y favorecer de este modo la vida útil del relleno.

Los criterios de selección de alguna de las alternativas se basan en los factores que serán expuestos a continuación donde además se comparan distintas formas de tratamiento para los mismos.[3]

[3] José Manga Certain.

Item	Problemas con	TECNOLOGIA						
		Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sist. Naturales	Tto. En PTAR
1	Formación de Precipitados	++	+++	+	++	+++	+	No
2	Toxicidad a los microorganismos	++	++	No	No	No (1)	+	Potencial
3	Formación de Espumas	+++	+	++	+ (1)	Variable (2)	No	Baja
4	Emisión de COV	+++	+	++	+	Variable (2)	+	Baja
5	Sensibilidad a Variaciones de caudal	++	++	+	+	+	No	No
6	Producción y Manejo de Lodos	+++	+	+	No	+		No
7	Requerimientos de Área	Baja	Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Alta	No

1). Pueden formarse en los tanques de Almacenamiento
2). Si los sistemas son Aerobios, la problemática puede ser alta
+). Un cruz significa como afecta negativamente la característica al proceso en cuestión. Entre más cruces más negativamente lo afecta.

Figura 7: Problemas asociados a la utilización de distintas tecnologías para tratamiento de lixiviados

Item	Problemas con	COMPLEJIDAD TECNOLOGICA						
		Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sist. Naturales	Tto. En PTAR
1	Necesidad de Insumos Químicos	+++ (1)	+++ (1)	++(2)	-	+++ (1)	-	-
2	Necesidad de Insumos Operacionales (v.gr. Membranas)	++	+	+	+	+++	-	-
3	Necesidad de suministro de partes	++	-	+	+	+++	-	+
4	Suministro de Energía Eléctrica	+++	+ (4)	- (5)	+	+++	+(3)	+
5	Complejidad Operacional	+++	+	++	+	+++	-	-

(1). Requiere un extenso pretratamiento
(2). Puede requerir pretratamiento, algunos sistemas usan sustancias para control de pH, espumas.
(3). Puede requerir si hay necesidad de bombear el lixiviado. Usulamente no requiere
(4). Puede requerir en el sistema de pretratamiento
(5). Puede llegar a ser autosuficiente. Algunas tecnologías así están diseñadas.

Figura 8: Complejidad tecnológica de las distintas alternativas para tratamiento de lixiviados

Item	Problemas con	RENDIMIENTOS						
		Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sist. Naturales	Tto. En PTAR
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Muy Altos	Altos	Muy Altos	Intermedios	Muy Altos	Muy Altos	Muy Altos
2	Nutrientes	Altos (1)	Muy Bajos	Muy Altos	Bajos	No (1)	No (1)	Variables (4)
3	Metales	Intermedios (2)	Altos	Muy Altos	Intermedios	Altos	Altos	Altos
4	Compuestos Orgánicos Volátiles	Altos (3)	+	Muy Altos	+	No (1)	No (1)	Variables (5)
5	Patógenos	Bajos	Bajos	Muy Altos	Bajos	Muy Altos	Muy Altos	Variables (4)

(1). Pueden ser altos o bajos dependiendo del diseño
(2). Cuando hay pretratamiento pueden tener remociones muy altas
(3). La remoción se hace por arrastre en el tanque de aireación. Este genera problemas de Impacto Ambiental
(4). Puede ser muy alto si se requiere
(5). Puede generar problemas en las conducciones

Figura 9: Influencia de factores externos en el rendimiento de las distintas alternativas para el tratamiento de lixiviados

Un punto muy importante en los rellenos sanitarios lo constituye la degradabilidad de los residuos presentes en el vertedero.Este parámetro se rige principalmente por la relación DQO/DBO5, cuando esta relación es muy grande, cerca de 4, el residuo es no biodegradable. También influye la presencia de sustancias inhibidoras o de condiciones desfavorables. Por ejemplo, en regiones semidesérticas o donde se presenta elevada evaporación, como se da en la provincia de Mendoza, especialmente en verano, puede producirse la “momificación” de los residuos y la degradabilidad disminuye. En este caso

se utilizan sustancias para la activación del relleno como los propios lixiviados y en muchos casos lodos de plantas cloacales o efluentes tratados.[4]

De todos los sistemas propuestos, se considera que el método de reinyección de lixiviados es el más apropiado para ser utilizado en el siguiente proyecto, por los siguientes motivos:

- *Las precipitaciones son escasas (alrededor de 200 mm anuales), con lo cual no se generará gran cantidad de lixiviados, entonces se plantea como posibilidad del ingreso de humedad en la masa de residuos a los efectos de estimular los procesos de degradación biológica, contribuyendo al aumento de la vida útil de los módulos.*

- *La humidificación de los residuos en la celda, favorecerán la formación de biogás, lo cual también platea una buena posibilidad para la captación y reaprovechamiento del mismo.*

- *La radiación solar también es alta y la humedad ambiente baja, sobre todo en los meses estivales, lo que favorecerá la rápida evaporación de los líquidos almacenados en forma transitoria hasta su reinyección, lo cual favorece la inversión inicial, ya que la pileta de almacenamiento no necesita grandes dimensiones.*

- *Al poca la cantidad de lixiviados a generarse no tiene sentido hacer una mayor inversión en su tratamiento.*

2.5.1.9.Producción y Gestión del Biogás

El término biogás incluye una mezcla de gases producidos a lo largo de las múltiples etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica y en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos.

Los porcentajes reflejados en la Tabla que se agrega, varían en función de los siguientes factores:

- Composición del residuo vertido.
- Sistema de gestión del vertido de residuos.

[4] Nota Mendoza Gobierno. Prensa. 22/04/15. Mendoza avanza en energías alternativas con la producción de Biogás

- La geometría del módulo.
- Edad del vertido y condiciones climatológicas de la zona.

Tabla 4: Componentes principales del Biogás	
Componente	**Porcentaje (%)**
Metano (CH_4)	45-60
Dióxido de Carbono (CO_2)	40-60
Nitrógeno (N_2)	2-5
Oxígeno (O_2)	0,1-1,0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos	0-1,0
Amoníaco (NH_3)	0,1-1,0
Hidrógeno (H2)	0-0,2
Monóxido de carbono (CO)	0-0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01-0,6
Fuente: Tchobanoglous, 1996	

Tabla 4: principales componentes del BIOGAS

- **Problemas derivados de la generación de biogás en vertederos**

  - Afecta a la seguridad e higiene de trabajadores y población aledaña al vertedero. Esta afección puede ser únicamente una molestia, como los olores, o un riesgo serio para la salud, debido principalmente al riesgo de incendio y explosión, y a los efectos tóxicos de algunos de sus componentes, y también al riesgo de asfixia.

  - Influye en el desarrollo de la vegetación, tanto en el vertedero como en terrenos colindantes. Los daños en la vegetación pueden ser en forma de clorosis, defoliación y pérdida de ramaje, o en crecimiento enano de la vegetación, desarrollo superficial de las raíces y hasta la muerte de la vegetación en casos severos.

  - Efecto sobre el medio ambiente global: se calcula que entre un 6 y un 13% del metano emitido a la atmósfera tiene su origen en los vertederos.

- **Formación de biogás: etapas de la degradación anaerobia**

  - **Fase I:** *de ajuste inicial*, en la que los componentes orgánicos biodegradables sufren descomposición microbiana. Se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del relleno.

- **Fase II:** *de transición*, donde desciende el oxígeno y comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias. El pH comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO_2 dentro del relleno.

- **Fase III:** *ácida*, se acelera la actividad microbiana con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda de oxígeno (DQO) y la conductividad del lixiviado se incrementará debido a la disolución de ácidos orgánicos en el lixiviado.

- **Fase IV:** *de fermentación del metano*, donde los microorganismos convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno producidos por los formatos de ácidos en la fase ácida en CH_4 y CO_2. El pH del vertedero subirá a valores más neutros (6,8 a 8) y se reducirán las concentraciones de DBO_5 y DQO y el valor de conductividad del lixiviado.

- **Fase V:** *de maduración*, en la cual la velocidad de generación del gas de vertedero disminuye, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores.

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la forma siguiente:

$$Materia\,orgánica + H_2O \rightarrow Materia\,orgánica + CH_4 + CO_2 + Otros$$

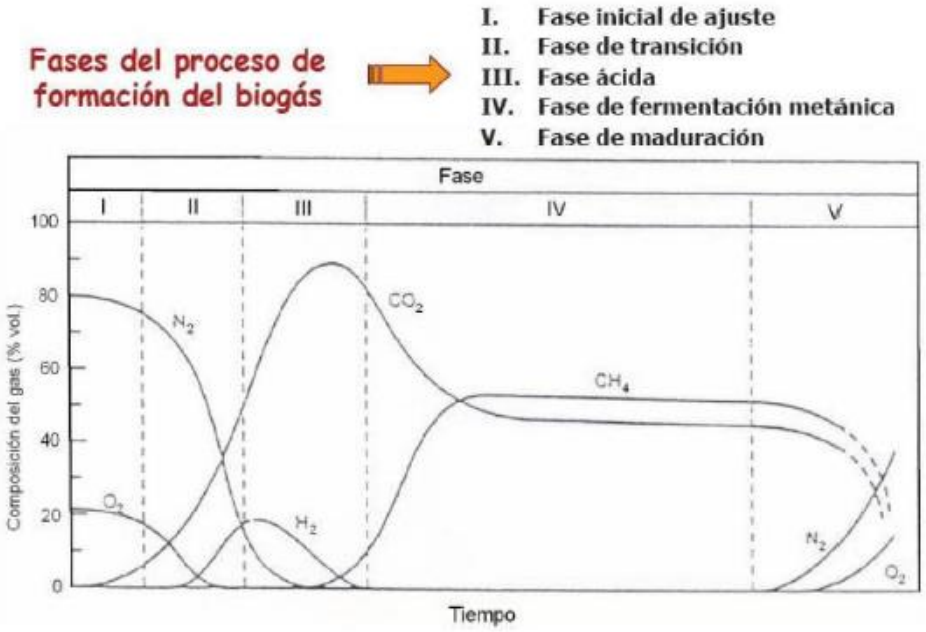


Figura 10: Fases del proceso de formación de biogás en un relleno sanitario.
Fuente: Tchobanoglous, 1996

2.5.1.10.Sistemas de captación de Biogás

Los compuestos gaseosos mayoritarios producidos en un vertedero son: anhídrico carbónico (CO_2), metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y sulfuro de hidrógeno (SH_2).

Dependiendo de la cantidad de residuos orgánicos biodegradables depositados en el vertedero la producción de gases puede ser importante y también larga. Este biogás puede emerger por fisuras del terreno por lo que es imprescindible la salida controlada y la recolección del mismo. De esta manera se evita su acumulación en espacios cerrados, con el consiguiente peligro de explosión y de incendio y se evita, por otra parte su salida a la atmósfera, dado que el metano es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero.

La particular composición del biogás hace que su aprovechamiento como tal presente muchas dificultadas, por lo que se suele utilizar como combustible en turbinas de gas para generar energía eléctrica o como combustible para las propias instalaciones del vertedero o industrias cercanas.

La protección frente a las emanaciones de metano se obtiene forzando su salida para ser recogido y conducido hasta una antorcha para ser quemado o para su posterior reutilización.

Las infraestructuras básicas para la recolección de gases producidos son:

- Impermeabilización total de las paredes del módulo con lo que los gases se ven obligados a pasar a los pozos de extracción. La impermeabilización es previa al comienzo de la operación, pudiendo utilizarse alguno de los sistemas anteriormente indicados.

- Construcción de los pozos de extracción de gases conocidos como chimeneas de desgasificación, que atraviesen la masa de residuos. Estas chimeneas pueden ser desde simples huecos rellenos de grava, hasta tuberías ranuradas rellenas de material poroso con bombas de extracción forzada.

En los esquemas que se acompañan se puede observar un detalle del modelo del cálculo de distribución de chimeneas y un detalle de las mismas.

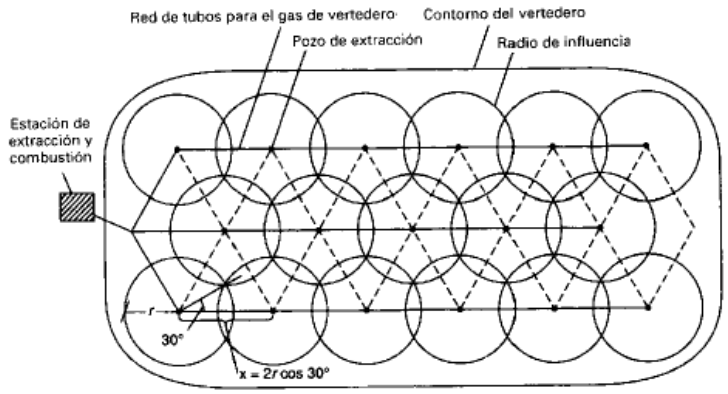


Figura 11: Esquema de distribución de chimenea de desgasificación.
Fuente: Tchobanoglous, 1996

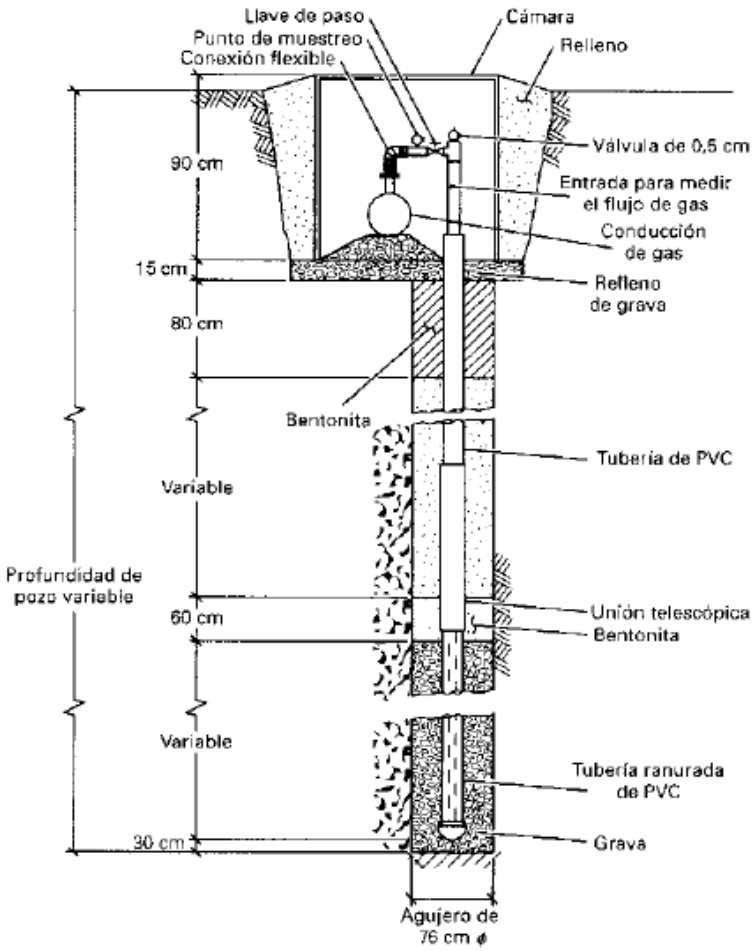


Figura 12: Esquema de chimenea de desgasificación.
Fuente: Tchobanoglous, 1996

2.5.1.11.Gestión de los gases del relleno sanitario

El gas extraído por las chimeneas construidas en los módulos del relleno sanitario tiene distintas opciones para su gestión. La selección de la opción a adoptar, como el caso de la gestión de los líquidos lixiviados, dependerá de distintos factores como, velocidad de generación de gases, cantidades esperadas y presupuesto disponible.

En lo que se refiere a la recuperación de Biogás, se deben evaluar si las condiciones de generación y características del mismo hacen rentable la recuperación del mismo[5].

Condiciones necesarias para la captura económica del gas de vertedero

- **Se genera suficiente metano:** dentro de este punto se considera: la composición de los RSU, dentro de ellos principalmente la fracción orgánica, nutrientes, bacterias, pH y alto contenido de humedad.

- Otro punto importante es el **tamaño del vertedero**, se necesita por lo general que el vertedero tenga una capacidad de al menos 1 millón de toneladas para que produzca suficiente metano.

- El siguiente punto a considerar es la **edad del vertedero**. Esto cobra importancia ya que la generación de metano no es instantánea y de acuerdo a las condiciones ambientales del vertedero y la composición de los residuos, puede tomar varios meses o incluso años después de la disposición de los RSU, antes de que se produzcan cantidades significativas de metano.

A continuación se agregan algunas posibilidades de gestión de biogás, en el relleno sanitario a construir:

- **Desgasificación por venteo**

Este sistema pasivo, consiste simplemente en la colocación del sistema de chimenea que impulsará la desgasificación y liberación a la atmósfera de los gases contenidos en el relleno.

Ventajas

- Esta es una estrategia de bajo costo (sólo la instalación de conductos de venteo), que permite la liberación del biogás, reduciendo los riesgos de explosiones.

- No requiere operaciones especiales durante la etapa de operación.

[5] UNEP. Municipal Solid Waste Management.

Desventajas

- Liberación de gases efecto invernadero, como dióxido de carbono y metano (este último en mayores cantidades).

- Los gases liberados pueden acumularse, según los movimientos de la atmósfera en sitios donde se concentren, generando riesgo de explosiones.

- **Quemado de biogás**

Consiste en la colocación de una antorcha en el extremo de los conductos de salida de los gases, que quema, evitando de este modo la liberación de GEI's.

Ventajas

- Es un sistema de menor costo que uno que implique la recuperación de gases.

- Por su operación de quemada en la boca de la chimenea, evita la emisión y dispersión de gases nocivos.

Desventajas

- No se realiza la recuperación de un importante recurso energético.

- Implica un mayor costo que el venteo, sin que este mayor costo se refleje en una recuperación de recursos.

- **Recuperación de biogás para reutilización**

Consiste en el diseño de un sistema de conducción del biogás extraído a través del sistema de chimeneas de captación que permitirá su utilización como combustible en turbinas de gas para generar energía eléctrica o combustible para las propias instalaciones del vertedero. Este sistema es recomendable para instalaciones grandes, ya que el aprovechamiento del biogás resulta rentable.

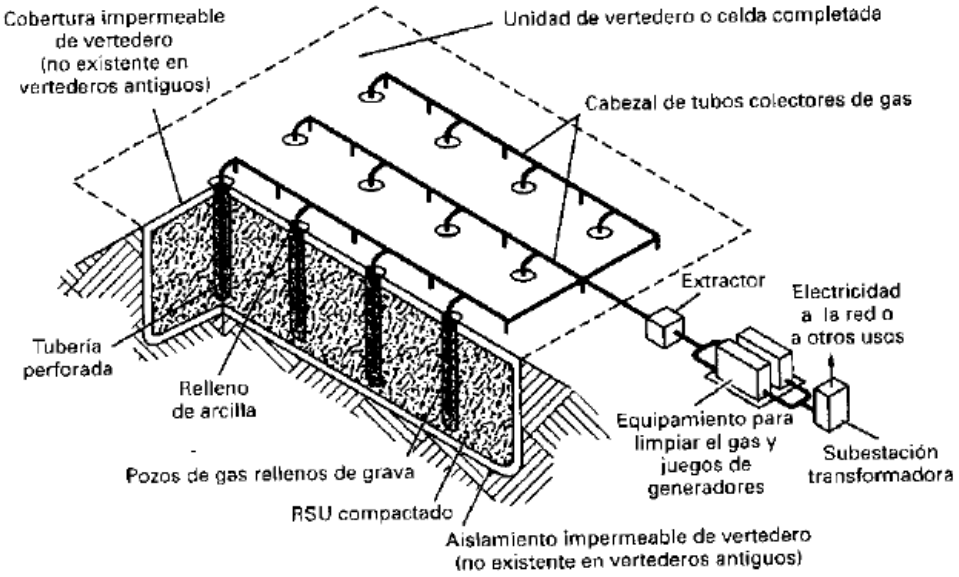


Figura 13: Sistema de recuperación de gas mediante chimeneas verticales
Fuente: Tchobanoglous, 1996

Ventajas

- Permite la recuperación del biogás para su transformación en energía, que podrá utilizarse como mínimo para el autoabastecimiento de las instalaciones del relleno.
- Evita riesgo de explosiones y emisiones de gases efecto invernadero.
- Permite reducir costos en consumo de energía eléctrica.

<u>Desventajas</u>

- Importante inversión inicial, que deberá continuarse durante la operación para la captación de gas de los distintos módulos del relleno.
- La particular composición del biogás hace que su aprovechamiento presente dificultades técnicas.

De las opciones planteadas se considera que la recuperación del biogás para generación de energía eléctrica es la más apropiada para el proyecto, debido a los siguientes motivos:

- *Si bien el clima (árido seco) no favorece la generación de biogás, el sistema seleccionado para la gestión de LL de reinyección, favorecerá su formación.*
- *Existe en el sitio preseleccionado una experiencia piloto de generación de biogás, a la que se le debería dar continuidad con el nuevo proyecto.*
- *Permite dar mayor sustentabilidad al proyecto, por la generación de energía eléctrica que permitirá el autoabastecimiento y comercialización del exceso.*

2.5.1.12.Sellado y restauración ambiental de vertederos

El destino final y la forma de recuperación se deben planificar en la etapa de proyecto de vertedero, adecuando la explotación al plan de sellado y uso posterior del mismo.

Se denomina sellado al conjunto de operaciones necesarias para adecuar un relleno sanitario a su uso definitivo. Generalmente el sellado comporta las siguientes operaciones:

- Compactación y cobertura de la capa final de residuos.
- Colocación de los sistemas de extracción de gases y chimeneas de desgasificación.
- Colocación de la capa final de cobertura con un mínimo de 60 cm de grosor.
- Colocación de una barrera impermeable de arcilla compactada o bien artificial con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD), y por encima de ésta un sistema drenante, utilizando tubos dren situados sobre un lecho de arena o grava de 15 a 20 cm de espesor. La finalidad de este sistema es evitar que el agua infiltrada alcance la masa residual vertida y efectúe su lavado y evitar que por capilaridad, los contaminantes presentes en los residuos pueden ascender hasta alcanzar la capa vegetal, afectando tanto a la vegetación implantada como a las aguas superficiales, contaminándolas.
- Aporte de la tierra vegetal necesaria para la cobertura final que permita el desarrollo de las plantaciones deseadas.

- Implantación definitiva de la vegetación deseada o realización de las obras de infraestructura necesarias en los casos en que el final no conlleve la implantación de una cubierta vegetal.

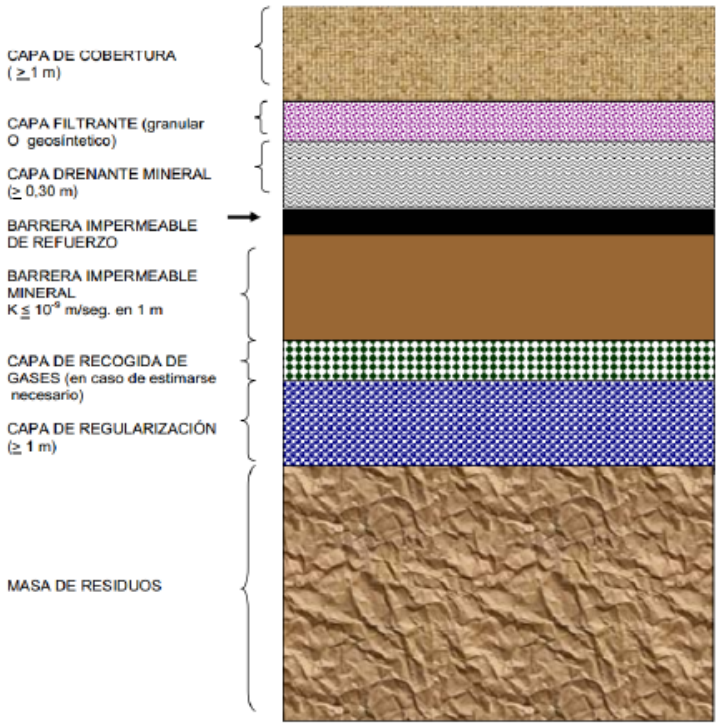


Figura 14: Esquema en corte de capas de sellado de celda en un relleno de residuos peligrosos

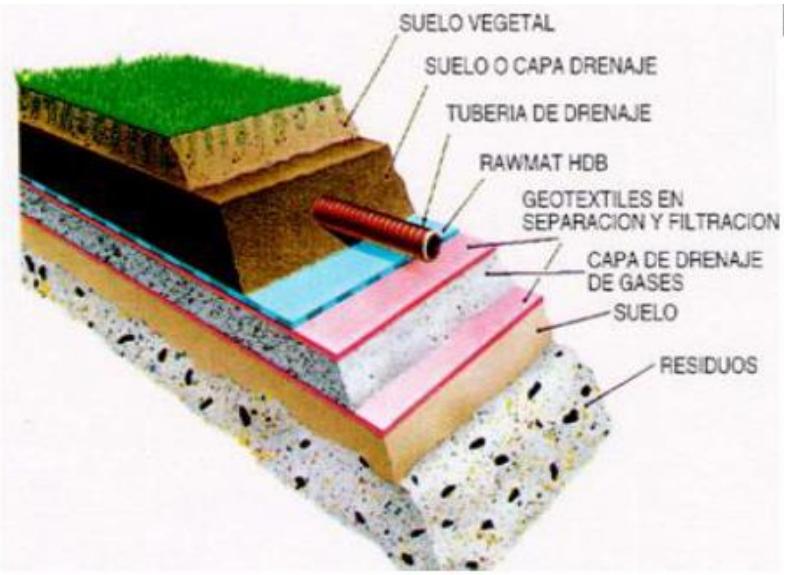


Figura 15: Capas de sellado de un relleno de residuos peligrosos

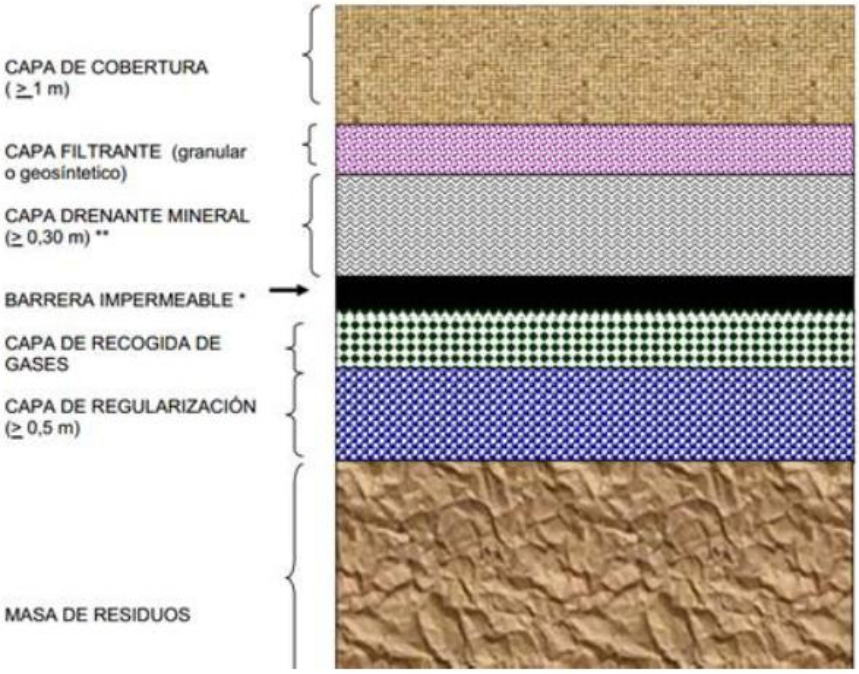


Figura 16: Capas de sellado de un relleno de residuos no peligrosos

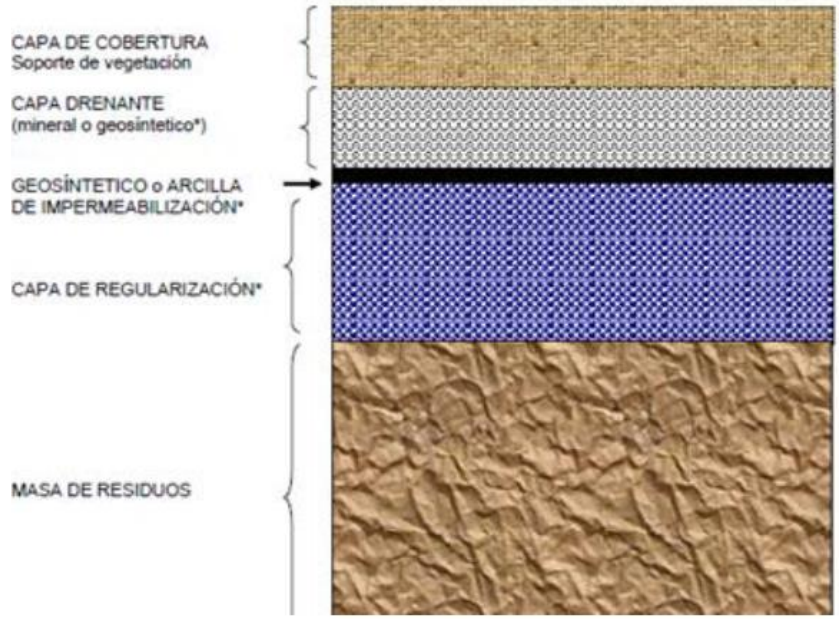


Figura 17: Capas de sellado de un relleno de residuos inertes

- **Control Ambiental durante las Fases de Operación y Post-clausura**

Control de datos meteorológicos, bien en estación propia o la más cercana.

Elemento	Etapa de Operación	Etapa de Mantenimiento posterior
Volumen de precipitación	Diario	Diario, más valores mensuales
Temperaturas mínimas y máximas	Diario	Media mensual
Dirección y fuerza del viento dominantes	Diario	
Evaporación con lisímetro	Diario	Diario, más valores mensuales
Humedad	Diario	Diario, más valores mensuales

Control de aguas superficiales, si las hay, lixiviados, gases (como mínimo CH_4, CO_2, O_2 y si procede H_2S, H_2, etc.) y aguas subterráneas (pH, COT, fenoles, metales pesados, fluoruro, arsénico e hidrocarburo).

Elemento	Etapa de Operación	Etapa de Mantenimiento posterior
Volumen lixiviado	Mensual	Semestral
Composición lixiviados	Trimestral	Semestral
Volumen y composición de aguas superficiales	Trimestral	Semestral
Emisiones de gas y presión atmosférico	Mensual	Semestral
Nivel de aguas subterráneas	Semestral	Semestral
Composición aguas subterráneas	Frecuencia específica del lugar	Frecuencia específica del lugar

Estructura del Módulo: superficie ocupada, volumen y composición de los residuos, métodos de compactación, tiempo y duración de las operaciones diarias y cálculo de la capacidad restante disponible.

Elemento	Etapa de Operación	Etapa de Mantenimiento posterior
Estructura del Módulo	Anual	
Comportamiento del asentamiento	Anual	Anual

2.5.2.Alternativas de Manejo del Relleno Sanitario

2.5.2.1.Relleno Sanitario Tradicional

Esta tecnología consiste en el depósito de los residuos sólidos municipales, en el menos espacio práctico posible, utilizando para ello maquinaria pesada para la distribución,

esparcimiento y compactación de los residuos y también para su cobertura con tierra al final del día. Esta infraestructura debe contar con algunas instalaciones básicas para su correcta operación y para el control de impactantes ambientales (biogás, lixiviados, partículas, etc.); además del equipo necesario para la realización de sus actividades diarias. No debe confundirse este término con el de "Vertedero Controlado"

Una opción más simple derivada del relleno sanitario tradicional, es el relleno sanitario manual, la cual resulta ideal para el manejo de los residuos sólidos urbanos en áreas marginadas con densidades de población bajas (zonas rurales), no es aplicable al caso de la Zona Metropolitana de Mendoza.

Tabla 5: Ventajas y desventajas del relleno sanitario tradicional

Tabla 5: Ventajas y desventajas del relleno sanitario tradicional		
	Ventajas	**Limitaciones**
1	La inversión inicial de capital es inferiora la que se necesita para instaurar, el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o compostaje.	La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, fenómeno conocido como NIMBY (not in my back yard), por diversas razones: • Falta de conocimiento sobre la técnica de relleno sanitario. • Se asocia el término "relleno sanitario" al de basural a cielo abierto. • La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni la sostenibilidad de la obra. • La falta de saneamiento legal del lugar.
2	Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los distintos métodos de tratamiento.	El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.
3	Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de RSM.	La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno y el alto riesgo de transformarlo en un basural a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.
4	Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en vías de desarrollo.	No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etc.

5	Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 tn/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.	La limitación para construir infraestructura pesada por los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno.
6	Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad.	Se requiere un monitore luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para evitar que la población use el sitio indebidamente.
7	Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales, tornándoloes útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.	Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. En rellenos sanitarios de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que confluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno.
8	Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.	Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.
9	Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.	En general, no puede recibir residuos peligrosos.

La implantación de rellenos sanitarios trae aparejados impactos que deben ser mitigados durante las etapas de operación y cierre de un relleno sanitario.[6]

6 Métodos de valorización y tratamiento de residuos municipales. Xavier Castells

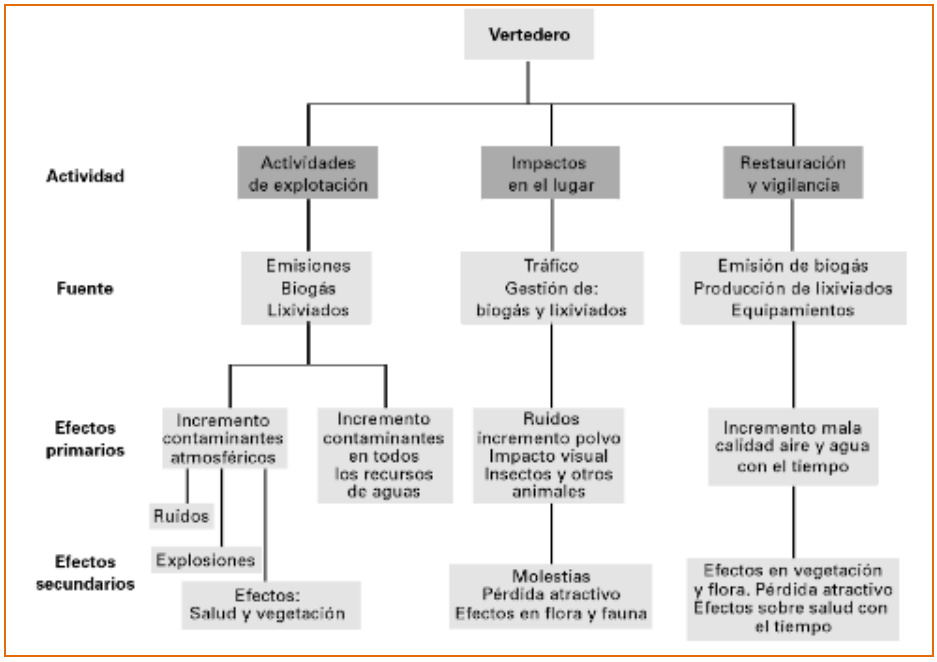


Figura 18: Fuentes de impacto ambiental en un relleno sanitario

2.5.2.2.Relleno seco (Pretratamiento de Alta Compactación). [7]

Esta tecnología, incluye la instalación de una planta para la separación semi-mecanizada de los subproductos reciclables. Posteriormente, los residuos sólidos que no son reciclables son compactados con una prensa, formando pacas que son transportadas al sitio de disposición final, donde son colocadas en pilas sobre el terreno, para después cubrirlas con material térreo. Los residuos sólidos al ser compactados, liberan según bibliografía, entre el 85 y el 90 % de su fase líquida, lo cual también según bibliografía, sugiere que pueden ser tratados como aguas residuales. Esta tecnología al parecer permite incrementar el espacio para la vida útil de un sitio determinado (aunque no hay evidencias de ello), con el inconveniente de prolongar el tiempo de descomposición de material orgánico, ya que su degradación se vuelve mucho más lenta.

El relleno sanitario seco constituye una alternativa ecológica a los sistemas tradicionales de sitios de disposición final. Consiste en el tratamiento de residuos sólidos municipales y, se basa en la compactación a alta densidad (1,100-1,200 Kgm3) y enfardado automático de los mismos en forma de pacas de hasta 2.5 m3, llegando a reducir hasta 5 veces su volumen inicial.

[7] http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Perez_Salinas_Ivan_Antonio_45282.pdf

- **Ventajas del Sistema**[8]

  - Este sistema previene la contaminación por lixiviados; el proceso reduce en un alto porcentaje los líquidos de la materia orgánica, posibilitando su depuración y evita en gran medida la filtración de lixiviados al suelo.

  - Por otra parte, la compactación y embalado de los residuos sólidos municipales, impide la dispersión por efectos del viento de residuos ligeros, proporcionando una apariencia limpia y ordenada, además de permitir la recuperación del terreno.

  - Reduce la generación de olores debido extracción de líquidos y oxígeno del interior de las pacas por la reducción de la fermentación anaeróbica de éstas, minimizando a su vez la generación de biogás.

  - Aumenta la vida útil del relleno, debido a la elevada densidad de compactación que permite optimizar el aprovechamiento, duplicando como mínimo la vida útil de cualquier sitio de disposición final.

  - Son más económicos, debido al aumento de la eficiencia de transporte de 5 a uno, frente a sistemas tradicionales, reduciendo a su vez las necesidades de material de cobertura, y los requerimientos de maquinaria pesada. Además, abarata y simplifica la operación de los rellenos.

- **Desventajas del Sistema**[9]

  - Cualquier falla en la maquinaria entorpecería todo el proceso sanitario.
  - Un proyecto de tal naturaleza sólo admite personal especializado.
  - La inversión inicial en maquinaria es muy alta.
  - Requiere mayor mantenimiento.
  - La recuperación de biogás es baja.

2.5.2.3.Comparación entre distintas opciones de manejo del relleno sanitario[10]

En función de las opciones de manejos expuestas precedentemente, se agregan distintas posibilidades de manejo de un relleno sanitario.

[8] Ing. Ivan Antonio Perez Salinas"Elaboración de Proyecto de Inversión para la Construcción de un Relleno Sanitario Seco en el H. Ayuntamiento de Toluca de Lerdo Estado de México."

[9]

[10] Ing. Ivan Antonio Perez Salinas"Elaboración de proyecto de inversión para la construcción de un relleno sanitario seco en el H. Ayuntamiento de Toluca de Lerdo Estado de México."

- **Relleno tradicional sin planta de separación vs Relleno tradicional con planta de separación**

Tabla 6: Relleno sin planta vs relleno con planta

Tabla 6: Relleno tradicional sin planta de separación vs. relleno tradicional con planta de separación		
Aspecto	**Relleno sin planta**	**Relleno con planta**
Vida útil por hectárea	0,46 años aproximadamente	Aumento de la vida útil
Empleos en el sitio de disposición final	Recuperadores urbanos dispersos por el relleno	Recuperadores urbanos en mejores condiciones laborales
Viajes al sitio de disposición final	Sin variación	Se reducen por reducción de la cantidad de residuos a disponer
Recuperación de materiales	En el Sitio de Disposición Final.	Factible sólo en el Centro de Transferencia.
Recomendación sanitaria	Riesgo Sanitario. Los recuperadores se convierten en vectores de enfermedades desde el relleno.	Bajo normas internacionales
Comportamiento de Fauna nociva	Prolífera si no se controla. La gente	Limitada pero, requiere control.
Maquinaria	Sólo en el Sitio de Disposición Final.	Se requiere en el Sitio de Disposición Final y en Planta
Mantenimiento	No se requiere	A maquinaria, equipo y servicios.
Inversión Global	Menor al Relleno Seco	Alta
Venta del material reciclable	Sólo lo que pueden recuperar	Todo lo que es factible de separación, se acuerdo a la capacidad de la planta.

- **Relleno tradicional con planta de separación, sin aprovechamiento energético de Biogás vs Relleno tradicional con planta de separación, aprovechamiento energético de Biogás**

Tabla 7: Relleno sanitario y planta de separación con y sin aprovechamiento de biogás

Tabla 7: Relleno y planta sin aprovechamiento de biogás vs relleno y planta con aprovechamiento de biogás		
Aspecto	**Relleno Sanitario sin aprovechamiento de biogás**	**Relleno Sanitario con aprovechamiento de biogás**
Maquinaria	Sistema básico de captación, antorcha para quemar.	Sistema de captación, sopladores, equipamiento para generación de energía.
Mantenimiento	Menor requerimiento	A maquinaria, equipo y servicios.
Crecimiento del Vertedero	Crecimiento lateral, por área, no por altura	Se propicia el crecimiento en altura

Manejo de Lixiviados	No necesariamente se propicia la activación del vertedero o reinyección de lixiviados.	Se propicia la activación del vertedero y actividad anaeróbica para lo cual deben mantenerse condiciones de humedad, la reinyección de lixiviados es una práctica extendida en este tipo de rellenos
Generación de Biogás	Generación natural	Se estimula
Empleos en el sitio de disposición final	Similares cantidades en ambas opciones	Similares cantidades en ambas opciones pero aumenta sobre todo cuando posee además planta de enriquecimiento de biogás.
Mantenimiento	Se requiere	A maquinaria, equipo y servicios, aumenta el requerimiento.
Cobertura	Deben controlarse emisiones difusas.	Control permanente de emisiones y materiales de cobertura para evitar escapas de biogás.
Inversión en maquinarias	Se requiere	Aumenta el requerimiento
Inversión Global	Menor al Relleno con aprovechamiento	Alta
Recuperación energética	No se realiza	Alta, de acuerdo a las características del vertedero.

- **Relleno Sanitario Tradicional vs Relleno Sanitario Seco**

Tabla 8: Relleno Sanitario Tradicional vs Relleno Sanitario Seco

Tabla 8: Relleno Sanitario Tradicional vs Relleno Sanitario Seco		
Aspecto	**Relleno Sanitario Tradicional**	**Relleno Sanitario Seco**
Vida útil por hectárea	0,46 años aproximadamente	0,6 años aproximadamente
Densidad de Compactación	600 – 800 kg/m3	1000 – 1200 kg/m3
Generación de Lixiviados	Grandes cantidades	Se reduce, pero sí se genera
Tratamiento de Lixiviados	Se requiere	Se requiere
Generación de Biogás	Grandes Cantidades (en zonas áridas requiere activación)	Se reduce, pero sí se genera
Cercanía de la zona urbana	1500 m mínimo	1500 m mínimo
Comportamiento de Fauna nociva	Prolífera si no se controla.	Limitada pero, requiere control.
Espesor del material de cubierta	20 cm Cada 2.40 mts.	20 cm Cada 4.00 mts
Viajes al sitio de disposición final	Sin variación	Se reducen por compactación de residuos
Situación del sitio de disposición final al término de su vida útil	Se incorpora a la reserva territorial con uso limitado.	Se puede incorporar como reserva territorial
Recuperación de materiales	En el centro de transferencia y / o en el Sitio de Disposición Final.	Factible sólo en el Centro de Transferencia.

Tabla 8: Relleno Sanitario Tradicional vs Relleno Sanitario Seco		
Aspecto	**Relleno Sanitario Tradicional**	**Relleno Sanitario Seco**
Empleos en el sitio de disposición final	Similares cantidades en ambas opciones	Similares cantidades en ambas opciones
Asentamientos diferenciales	Inestable	Estable con limitaciones.
Mantenimiento posterior al cierre de acuerdo a la normativa y tendencias internacionales	10 – 30 años mínimo	10 – 30 años mínimo
Maquinaria	Sólo en el Sitio de Disposición Final.	Se requiere en el Sitio de Disposición Final y Centro de Transferencia.
Mantenimiento	No se requiere	A maquinaria, equipo y servicios.
Centros de transferencia	Indispensable para abatir costos de transporte.	Indispensable para que el proyecto se amortice en corto tiempo
Vehículos de transferencia	Se requiere	Se requiere
Inversión Global	Menor al Relleno Seco	Alta
Recolección	No se requiere diferir horarios (si no hay estación de transferencia)	En algunos casos, se requiere diferir horarios para evitar acumulación en transferencia
Inversión en maquinarias	No se amortiza	Para 1000 tn se amortiza dentro de los 10 años
Recomendación sanitaria	Bajo normas internacionales	Bajo normas internacionales
venta del material reciclable	Similar en ambas opciones	Similar en ambas opciones
Ventaja Financiera	Baja inversión inicial	Genera menores costos una vez amortizada la inversión del equipo.

2.6.Propuestas de mejoramiento de servicios de recolección y aseo urbano

2.6.1.Servicio de Recolección de residuos

El sistema de recolección de RSU actual se realiza puerta a puerta, y con material sin separar en origen, salvo programas especiales implementados por los Municipios de Capital y Godoy Cruz. Estos programas, tanto para Capital como para Godoy Cruz, se basan en un sistema de contenerización en espacios públicos para la disposición de material separado en tres fracciones: papel/cartón, plásticos y vidrio.

En el programa de Capital, la recolección del material de los contenedores lo realiza el Municipio a través de un servicio especial. El material recolectado es cuantificado y posteriormente entregado a una Cooperativa de Separadores de Residuos.

En Godoy Cruz, la logística del programa es diferente, ya que la recolección del material acopiado en los contenedores no la realiza el Municipio, sino los recolectores urbanos, a

los cuales se les han entregado motocarros para el desarrollo de esta tarea y habiéndosele asignado a cada uno el circuito correspondiente.

2.6.1.1.Separación en origen

La optimización de la gestión de los residuos y sus costos asociados dependerá entre otros factores de la implementación de un sistema de separación en origen que sea simple y que pueda ser incorporado rápidamente a los usos y costumbres de la población. Esto requiere del concurso de acciones educativas de tipo formal e informal (campañas de información, concientización y educación) que requiere un tiempo y una gradualidad para el logro de resultados. Esta concientización deberá mantenerse a lo largo del tiempo y ser permanente, por lo tanto deberá formar parte de un Plan de Comunicación, que será parte integrante del presente proyecto.

La regionalización o gestión integrada de varios municipios, como en este caso, ofrece una oportunidad para mantener la difusión de la concientización en costos razonables, que serán solventados ya no por un municipio individual, sino en forma conjunta, lo que redundará en un menor costo de mantenimiento.

Entendiendo que la gradualidad y la mejora continua son necesarias y prudentes, para la implementación de cualquier plan de gestión de residuos y sobre todo cuando se va a producir un cambio radical respecto a la situación actual, será necesario introducir la separación en origen gradualmente y por sectores sociales, comenzando por las zonas residenciales de mejor nivel de ingreso.

Se plantea comenzar identificando zonas o barrios de alto nivel de ingreso, lo que supone una mejor calidad de los residuos en cuanto a su composición de materiales reciclables, y por lo tanto una mejor recuperación de costos, y se realizarán pruebas piloto, de las cuales se obtendrán las experiencias necesarias para hacerlo extensivo al resto de la población. Estos grupos deben ser motivados por las campañas de concientización.

La separación en origen debe acompañar el proceso de gradualidad en su aplicación, no se pretende pasar de la situación actual a otra, en donde se separen los residuos orgánicos y los reciclables en varias fracciones, como en algunos países desarrollados, por lo tanto, se propone comenzar separando los residuos domiciliarios en dos fracciones bien definidas: los residuos putrescibles (húmedos) y los residuos reciclables (secos):

- ***Residuos putrescibles***: residuos de comida, pañales y apósitos, residuos de mantenimiento de espacios verdes, otros orgánicos.

- ***Residuos reciclables***: papel, cartón, envases de vidrio, envases plásticos, envases de hojalata y aluminio, otros envases y embalajes, materiales textiles.

A su vez los grandes generadores, como supermercados, hipermercados, minoristas y sectores industriales deberán participar del sistema de gestión, separando los residuos que generen, como mínimo en las dos fracciones mencionadas.

2.6.1.2.Recolección de residuos domiciliarios

La optimización de la recolección debe entenderse como una medida importante en la mejora del Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de la Zona Metropolitana.

Mientras las generación de residuos se vuelve más difusa y la cantidad total de residuos se incrementa, la logística de recolección se vuelve cada vez más compleja. Si bien estos problemas siempre han existido, en la actualidad estos valores son críticos debido a los elevados costos del combustible y la mano de obra. Según estudios y estadísticas de otras partes del mundo, de la cantidad total del dinero gastado en la recolección, transporte y disposición final de los residuos, el costo de recolección varía entre el 50 al 70% de estos gastos.

Como se puede observar, la Optimización del Servicio de Recolección de RSU no es una acción excluyente, muy por el contrario, ella tiene una gran sensibilidad en los costos totales de la GIRSU.

Por lo tanto, se plantea en el presente proyecto, la optimización de los actuales sistemas de recolección, aún cuando la situación actual del sistema indica, en general, que este no es uno de los aspectos más negativos. A los efectos del logro de este objetivo se proponen las siguientes acciones a seguir:

- *Aumento de cobertura de recolección para aquellos Municipios que no alcancen el 100% de cobertura:*

Dentro de la Zona Metropolitana hay tres municipios que actualmente no poseen el 100% de cobertura del servicio de recolección de RSU. Estos son: Lavalle (85%), Luján de Cuyo (96%) y Maipú (95%). En la tabla que se agrega se pueden observar estos valores.

Tabla 9: Porcentajes de cobertura del servicio de recolección de RSU

Año	Departamento	% de Cobertura	Población Total	Población Servida	Generación de RSU (tn/día)
2017	Capital	100%	136.723	136.569	219
	Godoy Cruz	100%	200.193	199.577	247

Tabla 9: Porcentajes de cobertura del servicio de recolección de RSU					
Año	**Departamento**	**% de Cobertura**	**Población Total**	**Población Servida**	**Generación de RSU (tn/día)**
	Guaymallén	100%	311.138	290.004	341
	Las Heras	100%	221.484	209.835	250
	Lavalle	85%	42.123	11.701	13
	Luján de Cuyo	96%	139.138	111.771	127
	Maipú	95%	188.757	134.536	165
	Metropolitana	**97%**	**1.239.555**	**1.093.994**	**1.362**

Tabla 9: Cobertura de recolección

Para el aumento de estos porcentajes se propone un incremento gradual por cada Municipio: Lavalle (1,5% anual) y Luján de Cuyo y Maipú (0,5% anual), lo cual permitiría a estos tres municipios alcanzar al 100% de cobertura a los 8 años de la vida útil del proyecto.

En términos cuantitativos esto implicaría un incremento en cantidad a recolectar de aproximadamente 200 kg/día para Lavalle (alrededor de 55 viviendas); 700 kg/día para Luján de Cuyo (aprox. 180 viviendas) y 800 kg/día en Maipú (200 viviendas).

La estrategia para esto, será ir optimizando las rutas de recolección, en función de los recursos disponibles, no superando en ningún caso el 80% de la capacidad de carga del camión, ni las 6 horas de recolección por circuito. Una vez alcanzados estos límites, se deberá adquirir un nuevo equipo de recolección para completar los recorridos faltantes hasta alcanzar el 100% de cobertura del servicio.

- *Revisión y optimización de los recorridos de recolección:*

Se plantea la necesidad evaluar los recorridos de recolección de todos los Municipios que integran la Zona Metropolitana, donde el objetivo es llegar a que cada recorrido se logre con el mínimo costo, dependiendo de los requerimientos de la sociedad de cada una de las zonas que componen los departamentos. Se comenzará evaluando los recorridos de aquellos municipios que en la evaluación de la gestión actual presentan poca capacidad de carga por viaje al sitio de disposición final. Los datos correspondientes se agregan en la siguiente tabla.

Tabla 10: Características sistema de recolección actual								
Municipio	**Promedio diario**	**Cant. de circuitos**	**Cant. de viajes**	**Nº de camiones**	**Cant. de hab/eq.**	**Carga diaria/ equipo**	**Carga diaria/viaje**	**Viajes/día**
	(tn/día)	**(Nº)**	**(Nº)**	**(Nº)**	**(hab/eq.)**	**(tn/ eq.día)**	**(tn/viaje)**	**viajes/dia**
Capital	120	24	24	24	5.690	5,0	5,0	24
Guaymallén	193	43	43	23	26.364	8,4	4,5	43
Godoy Cruz	135	37	37	15	13.305	9,0	3,7	37
Las Heras	138	13	13	10	20.984	13,8	10,6	13
Luján	73	17	17	18	6.209	4,1	4,3	17
Maipú	99	13	13	20	6.727	5,0	7,6	13
Lavalle	7	4	1	3	3.900	2,3	7,0	1
Total	**765**	**151**	**148**	**102**	**11.883**	**6,8**	**6,1**	**21,1**

Tabla 10: Características Sistema de Recolección

De la tabla anterior surge que los Municipos de Guaymallén, Luján de Cuyo y Godoy Cruz, presentan una carga de camión alrededor del 50% de su capacidad, por lo cual se deberá evaluar la causa de esta situación, en cada caso en particular, a los efectos de la optimización de los recursos y consiguiente reducción de costos.

A continuación se presentan algunos parámetros a tener en cuenta al momento de la evaluación de los recorridos de recolección:

- Diseñar los recorridos tratando de que empiecen y terminen cerca de calles principales, utilizando las barreras físicas y topográficas como borde de recorrido.

- Es recomendable que los recorridos comiencen en el extremo más alejado diagonalmente opuesto y finalicen con su carga completa lo más cerca posible del lugar de salida al recorrido a disposición final.

- Para la determinación de los horarios de recolección, se deberán tener en cuenta los horarios de operación de las infraestructuras de tratamiento y disposición final. Estas instalaciones operarán desde las primeras horas de la mañana, hasta las primeras horas de la tarde. En función de esto, lo recomendable es plantear horarios de mañana y nocturnos.

- Para el rediseño de los circuitos, se deberá considerar a los camiones recolectores con una capacidad de carga hasta el 80%, así de este modo se considera el factor

de estacionalidad y la variación de recolección que se genera el día lunes, con el acumulado del día domingo.

En el año 2004, la UTN-FRM, realizó una propuesta de mejora de los circuitos de recolección existentes en ese momento en los Municipios de la Zona Metropolitana, a través de un software desarrollado en lenguaje FORTRAN que procesaba datos cargados previamente en un SIG, para recalcular los recorridos de cada circuito de recolección y optimizarlo (teniendo en cuenta sentido de calles y barreras físicas), devolviendo los resultados del cálculo, también en representación espacial (formato SIG).

Actualmente, ha habido algunas modificaciones de recorridos en los circuitos de recolección municipal, por lo cual se debería gestionar con esta Universidad, la realización de una nueva simulación por cada Municipio involucrado, a los efectos de obtener e implementar los circuitos de recolección optimizados.

- *Evaluación del equipamiento de recolección disponible:*

En este punto se plantea la necesidad de identificar el equipamiento que actualmente esté obsoleto (por cada Municipio), en función de la vida útil del mismo. Y en virtud de los datos que surjan del relevamiento, plantear un cronograma de reemplazo de unidades por Municipio, durante la vida del proyecto. En la tabla siguiente se presenta un resumen del equipamiento de recolección municipal.

Tabla 11:Evaluación del equipamiento actual de Recolección de RSU

Departamento	Camión Compactador		
	Cantidad	Vida útil (años)	Total Actual
Capital	1	5	**11**
	10	10	
Godoy Cruz	2	7	**15**
	3	8	
	3	11	
	1	12	
	6	13	
Guaymallén	3	3	**23**
	10	9	
	10	12	
Las Heras	10	10	**10**
Luján	1	0	**3**
	2	14	

Tabla 11:Evaluación del equipamiento actual de Recolección de RSU			
Departamento	Camión Compactador		
	Cantidad	Vida útil (años)	Total Actual
Maipú	4	0	20
	5	2	
	5	7	
	6	11	
Lavalle	1	0	3
	1	7	
	1	10	

Tabla 11: Evaluación equipamiento de recolección

De los datos anteriores surge que existen *6 camiones compactadores* que finalizaron su vida útil y deben ser recambiados en forma prioritaria, pertenecientes a los Municipios de Luján, Maipú y Lavalle. El resto del equipamiento se deberá ir recambiando a los largo de la vida del proyecto. En el siguiente gráfico se observa la secuencia de recambio por Municipio.

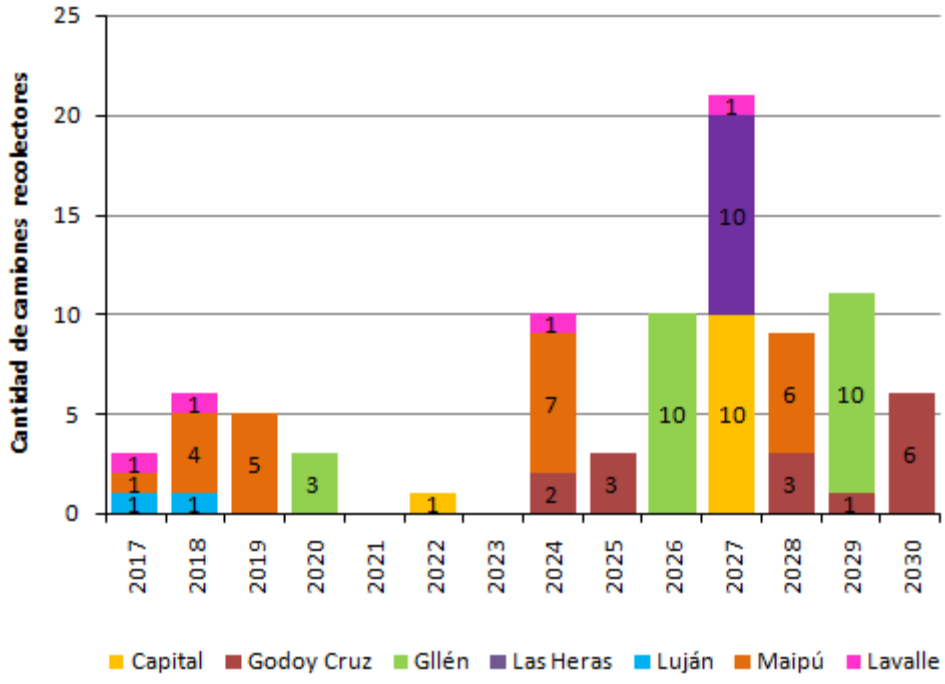


Figura 19: Propuesta de recambio de equipamiento de recolección

2.6.1.3.Recolección diferenciada

La recolección de residuos comenzará por el sistema de recolección única, ya que la separación en origen se introducirá gradualmente y después de haberse implementado el correspondiente Plan de Comunicación Social del proyecto.

En las zonas donde se comience con la separación en origen, la recolección diferenciada se realizará distribuyendo los días de recolección de uno y otro material en función de la propuesta de la fracción a recolectar.

La fracción reciclable de poco peso y gran volumen, por las características de sus componentes principales, se estima que podrá alcanzar dentro del camión compactador una densidad aproximada de 280 kg/m3 y para la fracción putrescible una densidad del orden de 700 kg/m3.

A continuación se agrega una tabla resumen con los datos de la caracterización de los residuos, clasificados en las dos fracciones propuestas para la recolección diferenciada:

Tabla 12: Resumen Datos de caracterización de RSU			
Componente	**% en peso**		
	Total	**Fracción inorgánicos**	**Fracción orgánicos**
Papel y Cartón	9.06	9.06	
Plásticos	10.32	10.32	
Metales Ferrosos	0.89	0.89	
Metales No Ferrosos	0.20	0.20	
Vidrio	2.59	2.59	
Materiales Textiles	1.69	1.69	
Madera	0.20	0.20	
Goma, Cuero y Corcho	0.53		0.53
Pañales Descartables y apósitos	6.88		6.88
Residuos de poda y jardinería	11.89		11.89
Residuos Peligrosos	0.85		0.85
Residuos Patogénicos	0.80		0.80
Residuos de comida	50.19		50.19
Residuos Misceláneos	3.89		3.89
Total	**100.00**	**24.96**	**75.04**
Densidad del camión compactador	0.50	0.28	0.70
Volúmenes	196 m3	89 m3	107 m3
Relación de Volúmenes		0.45	0.55

Tabla 12: Resumen datos de caracterización de RSU

La relación de peso entre ambas fracciones es de 1:3 pero debido a la gran diferencia de densidades, la relación en volumen prácticamente da un valor 1:1, es decir que en volumen ambas fracciones tienen valores semejantes, lo que indicará que la recolección deberá suponer una distribución en la frecuencia semanal de la mitad de los días para cada fracción, es decir una frecuencia 6/7 (seis días por semana de recolección), 3 días a la semana se recolectará una fracción y los otros 3 días la fracción restante.

El ajuste final en la distribución de los días de recolección para cada fracción requerirá una evaluación durante la implementación del sistema, cuando se conozcan con mejor aproximación las densidades y las características socioeconómicas de la zona elegida para su implantación, y su relación con la cantidad de materiales reciclables.

En el siguiente diagrama se observa una parte del sistema y más específicamente los tipos de recolección y el tipo de gestión asociado a cada alternativa. Se observa que los residuos provenientes de la recolección diferenciada (zonas con separación en origen), irán directamente a la Planta de Separación. En cambio los residuos provenientes de la recolección no diferenciada serán transportados a la planta de separación en una proporción igual a la capacidad máxima de procesamiento y el resto al relleno sanitario.

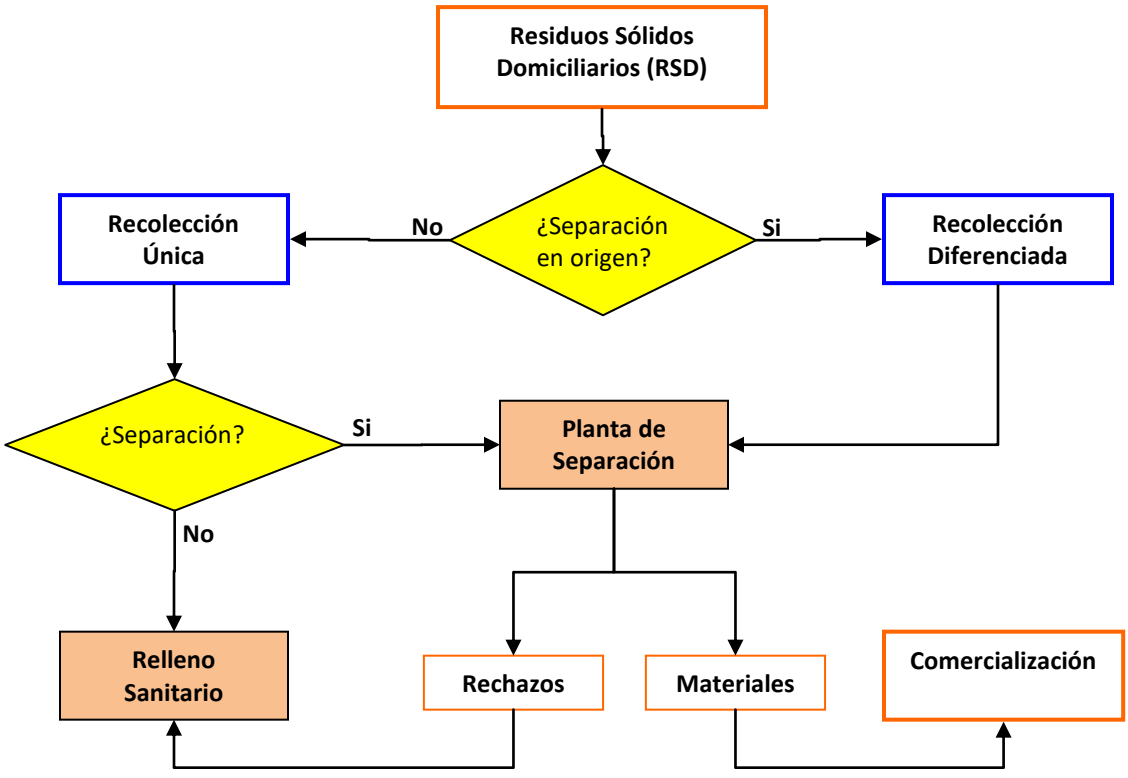


Figura 20: Esquema de gestión por tipo de recolección

2.6.1.4.Implementación de Puntos Verdes

Uno de los aspectos negativos de la gestión actual es la dispersión espacial de microbasurales que se originan por la acción de los carreteleros o por los propios vecinos, que arrojan residuos sobre la vía pública, al no disponer de lugares predeterminados para su disposición.

Para esto es necesario la existencia de lugares estratégicamente localizados y acondicionados a los efectos de la disposición de residuos voluminosos, de mantenimiento de jardines, electrodomésticos, muebles y pequeñas cantidades de escombros, para que los vecinos dispongan de lugares preestablecidos para esta modalidad de gestión propia de residuos eventuales.

La ausencia de estos sitios de disposición genera en la población un cierto desconcierto al momento de decidir qué hacer con estos residuos que terminan siendo arrojados a la vía pública.

La existencia de estos lugares de disposición transitoria permitirá elaborar una normativa idéntica para todos los municipios involucrados que penalice la acción de arrojar estos residuos fuera de estos sitios.

Estos sitios deben estar distribuidos estratégicamente dentro del área del proyecto y su localización debe ser ampliamente difundida, de modo que los vecinos conozcan su ubicación. Los predios destinados a este fin deberán disponer de las siguientes instalaciones:

- Cierre perimetral.
- Iluminación.
- Cartelería informativa.
- Contenedores para los siguientes residuos: residuos de jardín, escombros, residuos voluminosos (muebles, electodomésticos), residuos domiciliarios reciclables.

Estos sitios se deberán considerar en las propuestas para la inclusión social de los separadores de residuos, con lo cual también deberán contar con sitios para el acondicionamiento de los distintos materiales factibles de ser comercializados. También se deberán hacer acuerdos con los grandes generadores de residuos, para que trasladen hasta estos sitios los materiales reciclables.

La recolección de cada una de las fracciones se hará periódicamente conforme se haga necesario el vaciado de los contenedores, a través de los servicios municipales de higiene urbana.

2.6.1.5.Frecuencias y horarios de recolección actuales

Las frecuencias y horarios de recolección de los distintos Municipios integrantes del sistema, se deben coordinar en forma integral, en función de los horarios de operación de los sitios de tratamiento y disposición final.

A los efectos de determinar la necesidad de modificaciones o ajustes se graficaron en forma resumida estos datos, por cada día de la semana, consignando el movimiento total de camiones (sumados los de todos los municipios) según los distintos horarios de recolección de cada uno.

Tabla 13: Tabla de Resumen Servicio de Recolección Municipios Zona Metropolitana (2017)

Municipio	Cant. Circ.	Horarios	Días de Recolección	Equipos	Tiempo de traslado total
Capital	24	Mañana (6:00) Noche (21:00)	Lunes/Sábados Lunes/Domingos (3 circuitos)	22 camiones compactadores (16 m3)	4,7 hs
Godoy Cruz	37	Mañana (6:00) Tarde (19:00) Noche (21:00)	Domingo/Viernes Lunes: Recolec. Especial (7 circ.)	15 camiones compactadores (16 m3)	3,20 hs
Guaymallén	43	Mañana (7:00) Tarde (14:00) Noche (20:00)	Lunes/Sábados Lunes/Domingos (2 circuitos)	22 camiones compactadores (16 m3)	4,9 hs
Las Heras	13	Mañana (6:00) Noche (20:00)	Domingo/Viernes	10 camiones compactadores (21 m3)	6,7 hs
Luján de Cuyo	17	Mañana (7:00) Tarde (14:00) Noche (21:00) Madrugada (3:00)	Lunes/Sábados	18 camiones compactadores (16 m3)	4,6 hs
Maipú	13	Tarde (19:00) Noche (20:00) Noche 1 (21:00) Madrugada (3:00) y (4:00)	Lunes/Viernes (mañana y noche1) Lunes, Martes, Jueves, Viernes y Domingo (para el resto de los circ.)	18 camiones compactadores (16 m3)	4,6 hs
Lavalle	4	Mañana (7:00) Tarde (13:00)	Circ 1: Lunes, Martes y Viernes. Circ 2: Lunes y Jueves. Circ 3: Miércoles y Viernes. Circ. 4: Lunes	3 camiones compactadores (16 m3)	5,5 hs

Tabla 13: Resumen horarios y días de recolección

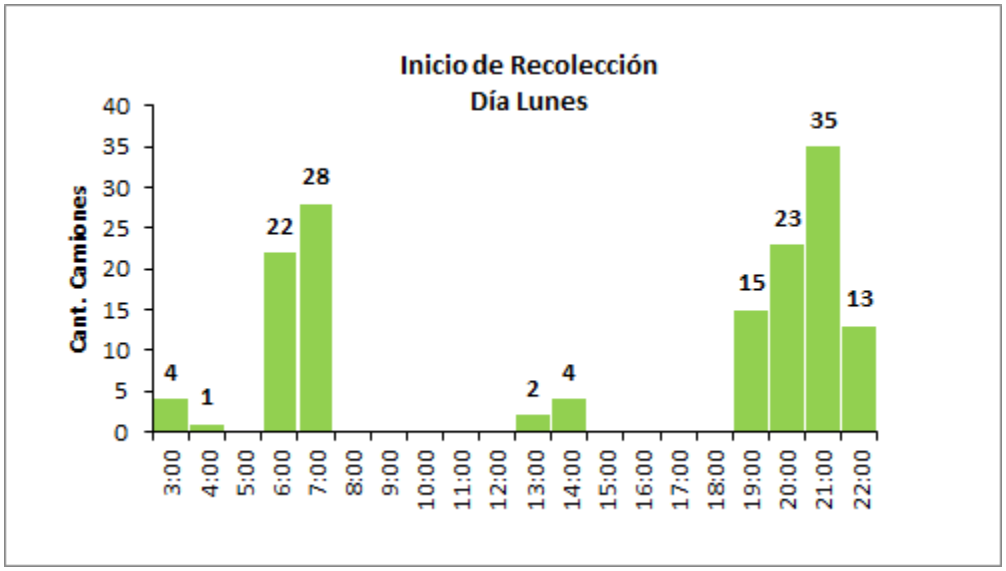


Figura 21: Esquema inicio de recolección día Lunes

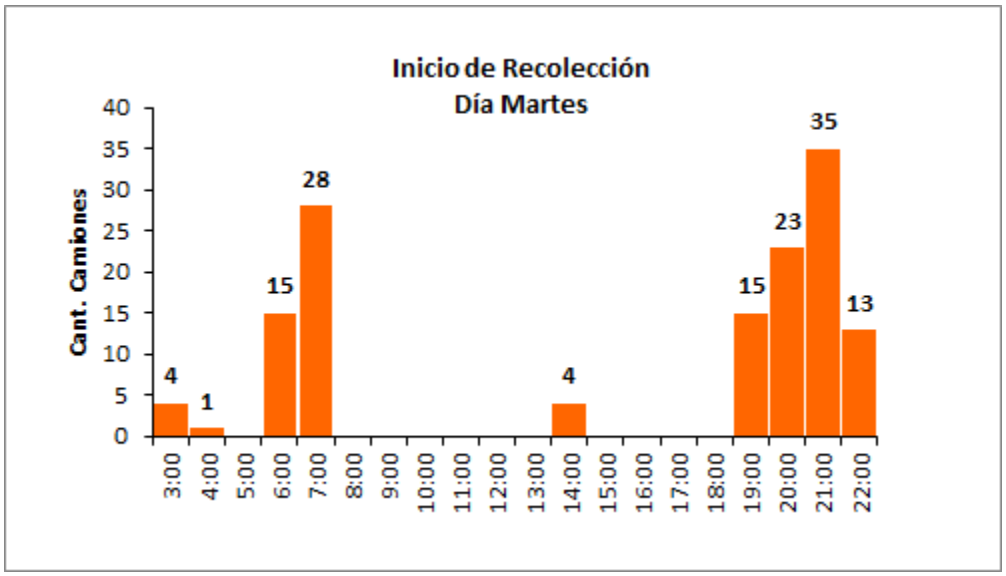


Figura 22: Esquema inicio de recolección día Martes

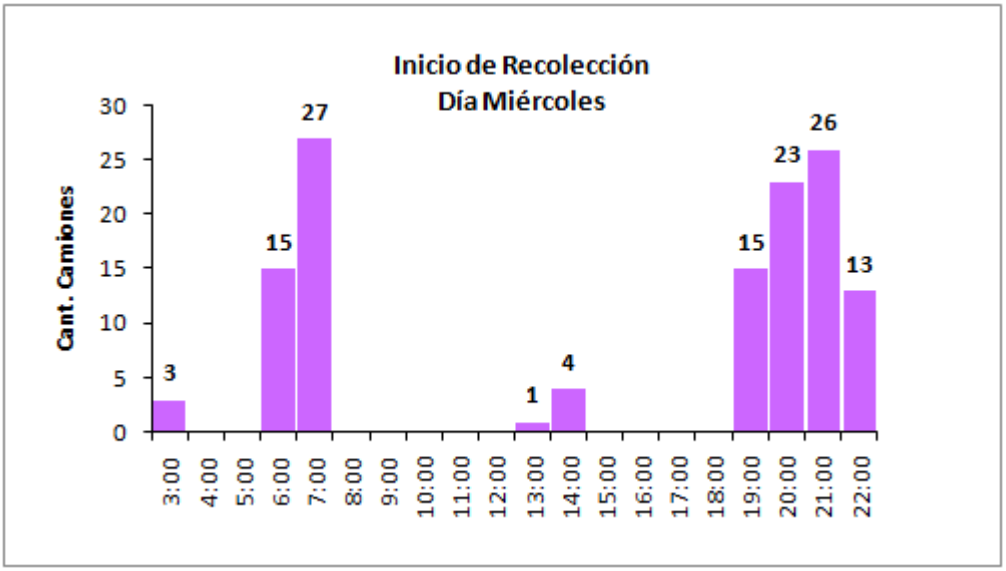


Figura 23: Esquema inicio de recolección día Miércoles

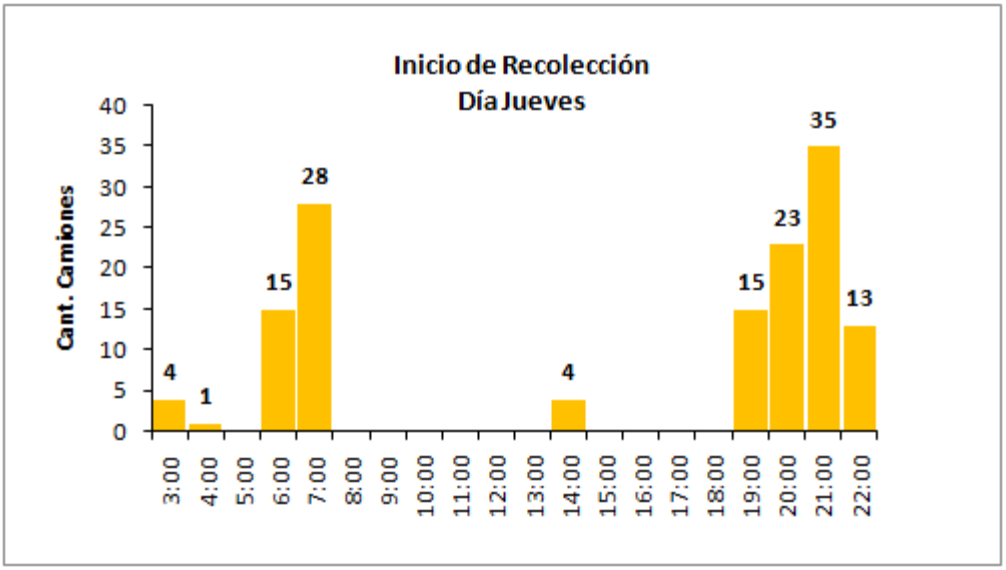


Figura 24: Esquema inicio de recolección día Jueves

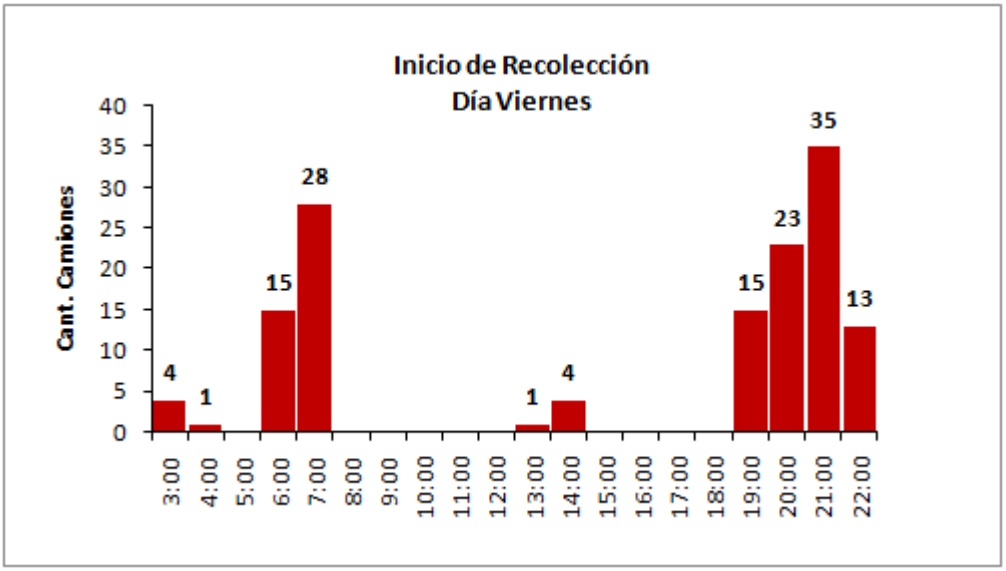


Figura 25: Esquema inicio de recolección día Viernes

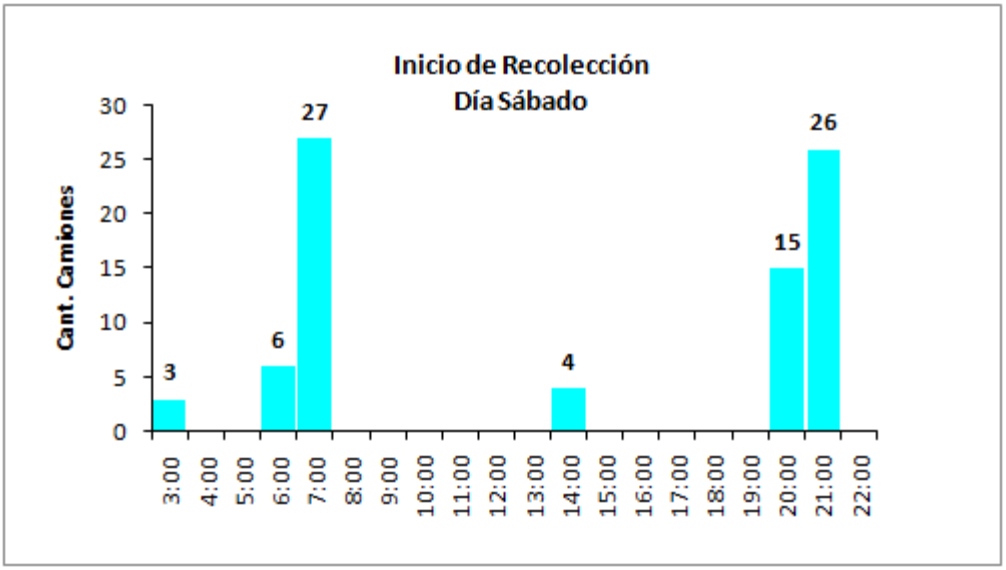


Figura 26: Esquema inicio de recolección día Sábado

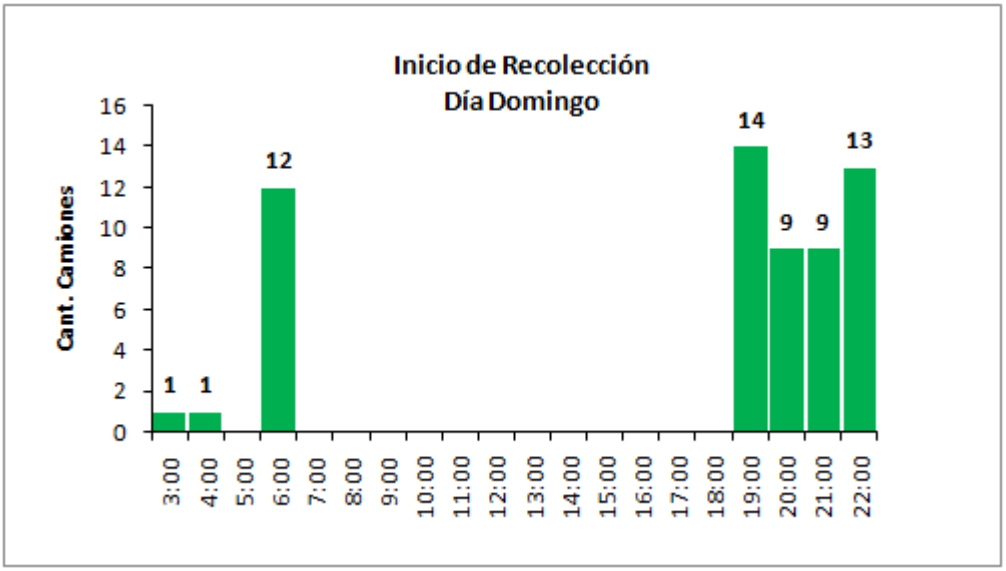


Figura 27: Esquema inicio de recolección día Domingo

En los gráficos precedentes se observa que existe un horario de recolección durante la madrugada, en donde se registran entre 5 a 2 camiones iniciando la operación. Luego existe otro grupo que inicia la recolección entre las 6:00 y las 7:00, con un máximo de 50 camiones y un mínimo de 12 los días domingos. Un tercer grupo se inicia entre las 13:00 y las 14:00 con cantidades que no superan los 6 camiones y finalmente un grupo que opera durante la noche iniciando a partir de las 19:00 en donde se observa una cantidad fija de 86 camiones de lunes a viernes, con 41 camiones el sábado y 45 los días domingos.

Del análisis de esta información surge, que la actividad de recolección de la Zona Metropolitana se produce mayormente durante la noche, lo cual permitirá su ingreso en las primeras horas de la mañana a las infraestructuras de tratamiento y disposición final.

En virtud de estos valores y de los tiempos estimados de transporte para cada Municipio, y considerando que las infraestructuras operarán desde las 7:00 a las 16:00 horas, de Lunes a Sábado, se realizará una propuesta de distribución de ingreso de camiones en el Centro Ambiental y en la Planta de Maipú, por día de la semana, que se desarrollará en el planteo de cada alternativa.

2.6.1.6.Propuestas para frecuencias de recolección

- **Recolección única**

    - La frecuencia que se les dará a cada uno de los circuitos de recolección es diaria.
    - Cada camión recolector tendrá a su cargo solo un circuito

- La duración de los circuitos de recolección en ningún caso superarán las 6 horas.

- **Separación en origan**

  - La frecuencia que se les dará a cada uno de los circuitos de residuos putrescibles es: lunes, miércoles y viernes.

  - La frecuencia que se les dará a cada uno de los circuitos de residuos reciclables es de: martes, jueves y sábados.

2.6.1.7.Propuestas para horarios de recolección

- Zonas residenciales: inicio a partir de las 20:00 hs
- Zonas comerciales: inicio a partir de las 20:00 hs
- Zonas con problemas de seguridad: inicio a partir de las 6:00 hs

2.6.2.Servicio Municipal de Limpieza Urbana

De la evaluación del servicio de higiene urbana desarrollado en el Estudio de Diagnóstico, por cada uno de los Municipios integrantes de la Zona Metropolitana, surgieron básicamente dos aspectos de intervención: 1) necesidad de incorporación de mayor cantidad de personal y 2) necesidad de adquisición de nuevo equipamiento.

A continuación se agrega un detalle pormenorizado de las distintas tareas que implican el total de este servicio, con una evaluación de la situación actual y una propuesta para su mejora.

2.6.2.1.Gestión de residuos sólidos proveniente de la limpieza urbana

Los residuos provenientes de la limpieza urbana se gestionarán en cuatro modalidades distintas que presentan características distintas.

- Barrido de calles
- Limpieza de cunetas
- Escombros, voluminosos y poda

- **Barrido de Calles**

El barrido de calles es otro de los aspectos negativos de la situación actual por falta de frecuencias lógicas para mantener adecuadamente limpias las calles y los espacios

públicos, producto de una falta de asignación lógica de recursos para desarrollar esta tarea.

Para el diseño del sistema a implementar se han adoptado las siguientes frecuencias de limpieza y recolección:

- Calles de zonas residenciales: frecuencia semanal.
- Calles comerciales: frecuencia diaria y en algunos sectores de los microcentros comerciales dos veces al día.

Por otro parte la problemática social descripta acerca de la población relacionada con la gestión de residuos requiere la elección de métodos de limpieza que permita insertar el mayor número de personas posibles, compatibles con rendimientos lógicos y razonables y con el costo final de la gestión.

El barrido mecánico tiene costos más bajos pero implica menor mano de obra local y transferencia de divisas, ya que las barredoras o son importadas o tienen una parte importante de componentes importados, además de requerir el mantenimiento adecuado.

Atendiendo a la grave situación social, se eligió un sistema de barrido manual de calles con herramientas manuales y mediante la utilización de contenedores con ruedas de 250 litros de capacidad.

Los barredores tendrán asignados un número preestablecido de calles a limpiar de acuerdo a un rendimiento promedio de 1500 metros diarios en jornadas de 6 horas diarias.

- Escobillón
- Pala ancha
- Contenedor con ruedas
- Bolsas plásticas

La indumentaria de trabajo deberá cumplir con las normas de higiene y seguridad para esta tarea, las cuales son las siguientes:

- Chaleco reflectivo
- Guantes
- Barbijo
- Calzado de seguridad

Los residuos barridos serán colocados dentro de la bolsa plástica colocada en el contenedor y una vez completada su capacidad, estas serán atadas y colocadas al borde de la vereda para que los camiones recolectores los trasladen al Centro Ambiental.

Los barredores de calles cumplirán a su vez una doble función, que consistirá en la identificación de escombros o residuos que requieran el apoyo del sistema de recolección de escombros. El operario portará una planilla diaria donde identificará la calle y el número en donde se encuentran estos residuos sobre la vía pública. Esta planilla deberá ser entregada en forma diaria al encargado de la recolección de escombros quien con estos informes elaborará el plan de recogida.

- **Limpieza de Cunetas**

Las características de la zona de estudio hace necesario la limpieza periódica de las cunetas o acequias de riego del arbolado público. La acción de riego y las correntías pluviales produce material de sedimentación (embanque) que debe ser retirado periódicamente para mantener la capacidad hidráulica de transporte. Además estas acequias reciben gran parte de los residuos que se generan en la propia vía pública.

La limpieza de cunetas es uno de los aspectos más negativos de la situación actual, dándose la situación que en muchos municipios del área de estudio de frecuencias de limpieza de hasta 3 o 4 meses, por falta de personal y de recursos lógicos asignados a esta labor.

La frecuencia deseable para esta tarea es la siguiente:

- Calles de zonas residenciales: frecuencia mensual
- Calles comerciales: frecuencia semanal

El rendimiento óptimo promedio para esta tarea según los datos obtenidos del sistema actual es de 400 metros por persona y por jornada de 6 horas de labor.

La recolección de los materiales provenientes de la limpieza de cunetas se realizará con camiones volcadores abiertos y con una cuadrilla de recolección que irá depositando los residuos en la caja del camión.

La disposición final de los residuos provenientes de esta tarea tendrán como destino final el Centro Ambiental (relleno sanitario), ya que si bien el material de embanque puede resultar prácticamente inerte, en la mayoría de los casos viene mezclado con otros residuos que son arrojados a las acequias.

- **Limpieza de escombros**

Esta tarea en la actualidad se viene desarrollando de distintas maneras en los Municipios de la Zona Metropolitana.

Para el presente proyecto se propone que la recolección de escombros sea independiente de las otras tareas de limpieza y se haga con cargo a la propiedad, para cantidades superiores a 0,5 m3. Esta tarea también involucrará la gestión de residuos voluminosos y residuos de poda.

Se prevé que la recolección de este tipo de residuos tendrá características particulares según la zona de que se trate. En general el sistema de recolección de escombros se programará en función de las denuncias efectuadas por parte de los barredores y por los pedidos realizados vía telefónica al Municipio.

En las áreas con gran cantidad de residuos provenientes de la conservación de espacios verdes, se asignarán días específicos de la semana para su recolección, que se programarán en concordancia con los circuitos de poda del arbolado urbano y limpieza de espacios verdes, y en función de las cantidades de residuos que se generen,

La disposición final de todos estos residuos, tendrán distintos destinos según sus características:

- Los escombros serán transportados a las escombreras según corresponda.
- Los residuos de poda y limpieza de espacios verdes se trasladarán al Centro Ambiental o a la Planta de Maipú, según corresponda.
- Los residuos voluminosos serán transportados a los puntos verdes, escombreras o al Centro Ambiental, según corresponda.

Las escombreras para la disposición de residuos inertes provenientes de la limpieza urbana estarán ubicadas en:

- Centro Ambiental en Las Heras (sectores que necesiten relleno).
- Ripieras del pedemonte de Godoy Cruz.
- Escombrera de General Ortega en Maipú.
- Campo Cacheuta en Luján de Cuyo.

En la zona de Puente de Hierro (Guaymallén) se necesitará suelo para la clausura del basural actual, por lo tanto se propone que en la superficie sin residuos de estos, se realice una excavación para disponer de suelos para la clausura y que la excavación resultante se transforme en una escombrera a rellenar con residuos inertes.

En el pedemonte de Godoy Cruz se propone mitigar, mediante el relleno con inertes, la acción de la industria extractiva de áridos, que ha desdibujado la topografía de la zona. Se presenta una oportunidad para el relleno de estas enormes excavaciones para reintegrarlas al paisaje y que en el futuro se transformen en espacios verdes.

La zona de Campo Cacheuta (Luján) también presenta zonas propicias para el relleno con escombros en ripieras y cauces desactivados por la defensa aluvional Urfalino.

No se deben descartar otras oportunidades para rellenar terrenos bajos o degradados como por ejemplo: los hornos de ladrillos ubicados en la zona del Borbollón y Algarrobal, etc.

2.6.2.2.Recolección, Operación, Equipamiento y Especificaciones técnicas

- **Mano de Obra**

De la evaluación realizada por la Universidad Tecnológica Nacional, en su trabajo de 2004, surgieron indicadores aplicables a la zona de estudio en cuanto al número de operarios necesarios cada mil habitantes, para todos los servicios analizados (barrido de calles, limpieza de cunetas, recolección de voluminosos, escombros y tareas de poda y recolección de residuos verdes domiciliarios).

Estos indicadores se obtuvieron de un análisis realizado para cada Municipio en función de las longitudes de calles y cunetas, la frecuencia de prestación del servicio y un rendimiento óptimo estimado en función de las características de cada departamento, en cuanto a actividades y generación de residuos. En la **Tabla 14** se agregan los indicadores obtenidos.

Tabla 14: Indicadores de necesidad de personal por Municipio	
Municipio	**Indicador (Operario/1000 hab)**
Capital	2,58
Godoy Cruz	1,75
Guaymallén	1,25
Las Heras	1,27
Luján de Cuyo	2,55
Maipú	1,67
Lavalle	2,88

Tabla 14: Indicadores de necesidad de personal por Municipio

Estos indicadores se tomaron como referencia para la determinación del personal necesario para esta tarea en cada Municipio. En la **Tabla 15** se agregan los resultados obtenidos de aplicar los índices indicados.

Tabla 15: Cálculo de personal necesario por Municipio Zona Metropolitana de Mendoza					
Municipio	**Población servida**	**Indicador**	**Operarios necesarios**	**Operarios existentes**	**Diferencia**
Capital	136.569	2,58	352	227	125
Godoy Cruz	199.577	1,75	349	130	219
Guaymallén	290.004	1,25	363	572	-209
Las Heras	209.835	1,27	266	81	185
Luján de Cuyo	111.771	2,55	285	210	75
Maipú	134.536	1,67	225	156	69
Lavalle	11.701	2,88	34	30	4
			Totales	**1406**	**468**

Tabla 15: Personal necesario para la Zona Metropolitana

Los cálculos están mostrando un déficit de 468 empleados, repartidos entre los distintos Municipios.

El único Municipio que presenta valores por encima de los requeridos es Guaymallén, los demás presentan déficit de personal. Pero aquí hay que tener en cuenta que en el caso de Capital, Godoy Cruz, Luján de Cuyo y Las Heras, no se aportaron datos sobre el personal de las empresas concesionadas (solo se informó sobre el personal municipal), lo cual podría cambiar la situación presentada si el personal de las empresas privadas están cubriendo el déficit presentado.

En los casos de Lavalle y Maipú, en donde el servicio es íntegramente prestado por el Municipio, se estaría presentando un déficit real de 4 empleados para el caso de Lavalle y 69 empleados para Maipú.

- **Carga y transporte**

Para la determinación de las cantidades de equipos de transporte necesarios y el costo de la recolección de los residuos provenientes de la limpieza urbana se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- Cantidad de residuos mensuales generados.
- Ubicación de las escombreras.
- Baja densidad de los residuos transportados.
- Cantidad de viajes diarios a realizar por camión.

Tabla 16: Cantidades de residuos y distancias de transporte			
Departamento	**Cantidad de residuos a transportar (tn/mes)**	**Distancia al sitio de DF (km)**	**Sitio**
Capital	1,743	12.70	Centro Ambiental Las Heras
Godoy Cruz	1,538	6.00	Ripieras del pedemonte
Guaymallén	2,715	14.50	Centro Ambiental Las Heras
Las Heras	2,022	9.70	Centro Ambiental Las Heras
Luján de Cuyo	1,195	20.60	Campo Cacheuta Luján de Cuyo
Maipú	978	4.00	Escombrera Gral. Ortega
Lavalle	159	4.00	Escombrera zona industrial

Tabla 16: distancias de transporte

- **Propuesta para la mejora del Barrido de calles**

Para realizar la carga y transporte de los residuos recolectados y embolsados por el personal de barrido de calles se necesitará una cuadrilla de recolección que estará formada por:

- Camión Volcador
- 2 Ayudantes

La primera tarea es la del cálculo del rendimiento de la cuadrilla encargada de la recolección y cantidad de viajes a realizar por día. En la tabla siguiente se pueden observar los valores adoptados para su cálculo:

Tabla 17: Datos transporte residuos de barrido de calles	
Rendimiento de carga manual	0.5 tn/h ó 1m3/h
Cantidad transportada	4 m3
Densidad	0.5 tn/m3
HP	160
Operarios por camión	2
Velocidad de marcha cargado	20 km/h a 35 km/h
Velocidad de marcha descargado	25 km/h a 40 km/h
Tiempo de ciclo (Tc)	

Tabla 17: Datos transporte residuos de barrido de calles	
Carga camión (T1)	4 hs
Viaje al vertedero (T2)	s/distancia (hs)
Descarga (T3)	0.2 hs
Regreso a zona de trabajo (T4)	s/distancia (hs)
Coeficiente horario (Ch)	0.83
Coeficiente de gestión (Cg)	0.80

Tabla 17: Datos transporte de barrido de calle

El rendimiento se calcula como el cociente entre el volumen o cantidad obtenido de la tarea y el recurso consumido en su ejecución, afectado por un coeficiente de ajuste.

$$Rr = \frac{Q}{G} \times E$$

Q = Volumen obtenido (m3)
G = Recurso consumido o tiene del ciclo de trabajo completo (hs)
E = Coeficiente de Ajuste = Ea, Eg, Eh
Ea = Coeficiente de adaptabilidad de la maquina a la tarea a realizar. Si la máquina es específica para la tarea el valor es 1.
Eg = Coeficiente que tiene en cuenta la influencia de una buena gestión técnica (Eg = 0.7 a 0.8 implica buena gestión).
Eh = Coeficiente que tiene en cuenta que las máquinas trabajan en general 50 minutos en la hora por paradas y mantenimiento. Eh = 50/60 = 0.83
T1 = tiempo insumido en el recorrido de carga.
T2 = Tiempo insumido en el viaje al vertedero. Está en función de la velocidad de marcha con carga y de la distancia al vertedero.
T3 = Tiempo insumido en la descarga (valor constante).
T4 = Tiempo de regreso al lugar de trabajo, en función de la velocidad de marcha vació y de la distancia del vertedero a la zona de trabajo.

En función de las distancias a los puntos de disposición, se estimaron los rendimientos del transporte y la cantidad de viajes posibles a realizar por día.

Tabla 18: Distancias de transporte- barrido de calles						
Municipio	**Distancias**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T total**
Capital	15.20	4.00	0.76	0.20	0.61	5.57
Godoy Cruz	18.67	4.00	0.93	0.20	0.75	5.88
Guaymallén	14.50	4.00	0.73	0.20	0.58	5.51
Las Heras	12.48	4.00	0.62	0.20	0.50	5.32
Luján de Cuyo	31.80	4.00	1.59	0.20	1.27	7.06

Tabla 18: Distancias de transporte- barrido de calles						
Municipio	**Distancias**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T total**
Maipú	19.41	4.00	0.97	0.20	0.78	5.95
Lavalle	25.50	4.00	1.28	0.20	1.02	6.50

Tabla 18: Distancias de transporte – Barrido de calles

Tabla 19: Rendimiento – Barrido de calles					
Municipio	**R (m3/h)**	**R (m3/día)**	**Carga (tn/día)**	**Carga (m3/día)**	**Viajes/día**
Capital	1.08	6.47	1.64	4.11	1
Godoy Cruz	1.02	6.12	1.85	4.63	1
Guaymallén	1.09	6.54	2.56	6.40	1
Las Heras	1.13	6.76	1.87	4.68	1
Luján de Cuyo	0.85	5.10	1.91	4.78	1
Maipú	1.01	6.05	1.24	3.09	1
Lavalle	0.92	5.54	0.25	0.63	0

Tabla 19: Rendimiento – Barrido de calles

De los cálculos del rendimiento en función de las distancias a los sitios de disposición surge que la cantidad de viajes diarios a realizar, no superan la unidad, debido al tiempo insumido en la recolección y carga de bolsas provenientes del barrido.

En función del rendimiento diario promedio de un viaje por día y por camión se calculó la cantidad de viajes necesarios a realizar por mes y el número de equipos necesarios para esta tarea.

Tabla 20: Cálculo de equipamiento necesario – Barrido de calles										
Municipio	**RPB**		**Barrido de calles**		**Dist. a DF**	**Nº de viajes por día**		**Viajes mens.**	**Cant de viajes/ día**	**Camio-nes nec.**
	tn/mes	**m3/mes**	**tn/mes**	**m3/mes**	**km**	**Viajes / día**	**m3**	**Nº**	**Nº**	**Nº**
Capital	995	2488,3	49,77	124,42	15.20	1	4.11	30	1.51	1
Godoy Cruz	1.121	2801,9	56,04	140,09	18.67	1	4.63	30	1.51	1
Guaymallén	1.560	3900,1	78,00	195,00	14.50	1	6.40	30	1.52	1
Las Heras	1.139	2846,8	56,94	142,34	12.48	1	4.68	30	1.52	1
Luján de Cuyo	1.167	2918,3	58,37	145,91	31.80	1	4.78	31	1.53	1

Tabla 20: Cálculo de equipamiento necesario – Barrido de calles										
Municipio	**RPB**		**Barrido de calles**		**Dist. a DF**	**Nº de viajes por día**		**Viajes mens.**	**Cant de viajes/ día**	**Camio-nes nec.**
	tn/mes	**m3/mes**	**tn/mes**	**m3/mes**	**km**	**Viajes / día**	**m3**	**Nº**	**Nº**	**Nº**
Maipú	754	1884,2	37,68	94,21	19.41	1	3.09	30	1.52	0
Lavalle	154	384,3	7,69	19,21	25.50	1	0.63	31	1.53	1
Totales	**6.890**	**17223,9**	**344,48**	**861,19**				**213**	**11**	**5**

Tabla 20: Equipamiento necesario – Barrido de calles

- **Propuesta para la mejora de la Limpieza de Cunetas**

La limpieza de cunetas está subdividida en dos tareas distintas:

- La limpieza manual de los residuos de embanque, que serán extraídos y acumulados en el borde de la calzada.

- La carga y transporte de los montículos acumulados al borde de la calzada. Esta tarea será ejecutada por una cargadora tipo mini con el auxilio de 2 ayudantes para el repaso final.

La cantidad de personal necesario para la limpieza de cunetas ya fue determinado y la cantidad de camiones y cargadoras se determinó previo cálculo de los rendimientos como se observa a continuación:

Tabla 21: Minicargadora en carga de embanque	
Capacidad real del balde	0.3 m3 para balde de 0.4 m3
HP	45
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga de la pala	30 seg
Carga del camión	10 seg
Puesta en posición	8 seg
Tc	48 seg = 0.013 hs
Rendimiento teórico	0.3m3/0.013 hs =22.5 m3/h
Rendimiento real	22.5 m3/h x 0.833 (Ch)x0.8 (Cg)
Rendimiento real	**15 m3/h**

Tabla 21: Datos minicargadora – residuos de embanque

Tabla 22: Transporte al vertedero de embanque	
Capacidad del camión	6 m3
HP	160
Velocidad de marcha con carga	20 km/h
Velocidad de marcha descargado	25 km/h
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga del camión (T1)	0.40 hs
Viaje al vertedero (T2)	Según distancia
Descarga (T3)	0.2 hs
Regreso a zona de trabajo (T4)	Según distancia
Coeficiente horario (Ch)	0.83
Coeficiente de gestión (Cg)	0.8

Tabla 22: Datos transporte residuos de embanque

Tabla 23: Distancias de transporte – Limpieza de cunetas						
Municipio	**Distancias**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T total**
Capital	15.20	0.40	0.76	0.20	0.61	1.97
Godoy Cruz	6.00	0.40	0.30	0.20	0.24	1.14
Guaymallén	14.50	0.40	0.73	0.20	0.58	1.91
Las Heras	12.48	0.40	0.62	0.20	0.50	1.72
Luján de Cuyo	22.07	0.40	1.10	0.20	0.88	2.59
Maipú	4.00	0.40	0.20	0.20	0.16	0.96
Lavalle	4.00	0.40	0.20	0.20	0.16	0.96

Tabla 23: Distancias de transporte – Limpieza de cunetas

Tabla 24: Rendimiento-Limpieza de cunetas					
Municipio	**R (m3/h)**	**R (m3/día)**	**Carga (tn/día)**	**Carga (m3/día)**	**Viajes/día**
Capital	3.05	18.30	23.02	57.54	10
Godoy Cruz	5.26	31.58	25.94	64.85	11
Guaymallén	3.15	18.90	35.85	89.64	15
Las Heras	3.48	20.89	26.21	65.51	11
Luján de Cuyo	2.32	13.92	26.77	66.93	11
Maipú	6.25	37.50	17.33	43.33	7
Lavalle	6.25	37.50	3.52	8.81	1

Tabla 24: Rendimiento – Limpieza de cunetas

Se observa que los camiones volcadores realizarán entre 1 a 15 viajes de residuos de embanque por jornada laboral con una capacidad de 6m3 o 4 tn por viaje (densidad adoptada 0.65 tn/m3).

Tabla 25: Cálculo del equipamiento necesario – Limpieza de cunetas									
Municipio	**RPB**	**Limpie-za de Cunetas**	**Capacidad por unidad**		**Viajes /día**	**Nº viajes camión teórico**	**Cant camiones necesarios**	**Cant de minicargad. Necesarias**	**Cant de minicargad. Adopt.**
	tn/mes	**tn/mes**	**m3**	**tn**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**
Capital	995	696,73	6	4	5	1	4	0.2	1
Godoy Cruz	1.121	784,53	6	4	5	1	4	0.2	1
Guaymallén	1.560	1092,02	6	4	7	2	4	0.3	1
Las Heras	1.139	797,10	6	4	5	1	4	0.2	1
Luján de Cuyo	1.167	817,12	6	4	6	2	4	0.3	1
Maipú	754	527,59	6	4	4	1	4	0.2	1
Lavalle	154	107,60	6	4	1	1	1	0.2	1
Totales	**6.890**	**344,48**			**34**	**9**	**24**	**2**	**7**

Tabla 25: Equipamiento necesario – Limpieza de cunetas

Se observa del cuadro de rendimientos que el número de viajes diarios es de 34, valor que se obtuvo dividiendo los viajes por mes por los días laborales, que en algunos casos es 24 y en otros 20, los que se realizarán con 24 camiones volcadores y 7 minicargadoras.

- **Propuesta para la mejora de la Recolección y Transporte de Escombros**

Esta tarea será realizada con cargadoras tipo mini y camiones volcadores. La cantidad de equipos necesarios se calcula en función de los rendimientos y de las distancias a las escombreras y centros de tratamiento desde la zona de carga.

Esta tarea tiene la particularidad de que los puntos de recolección se encuentran dispersos en el ejido urbano. Esto implica tiempos muertos en el desplazamiento de los equipos hasta los puntos de recolección.

Tabla 26: Minicargadora - escombros	
Capacidad real del balde	0.4 m3
HP	45
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga de la pala	15 seg
Carga del camión	12 seg
Puesta en posición	5 seg
Tc	32 seg = 0.009 hs
Rendimiento teórico	0.4m3/0.009 hs =45 m3/h
Rendimiento real	45 m3/h x 0.5 (Ch)x0.7 (Cg)
Rendimiento real	**16 m3/h**

Tabla 26: Datos minicargadora para escombros

La cantidad de viajes estimados según la distancia es:

Tabla 27: Transporte de escombros	
Capacidad del camión	6 m3
HP	160
Velocidad de marcha con carga	20 km/h o 25 km/h
Velocidad de marcha descargado	25 km/h o 40 km/h
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga del camión (T1)	0.38 hs
Viaje al vertedero (T2)	Según distancia
Descarga (T3)	0.2 hs
Regreso a zona de trabajo (T4)	Según distancia
Coeficiente horario (Ch)	0.83
Coeficiente de gestión (Cg)	0.8

Tabla 27: Datos transporte escombros

Tabla 28: Distancias de transporte - Escombros						
Municipio	**Distancias**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T total**
Capital	15.20	0.38	0.76	0.20	0.61	1.95
Godoy Cruz	6.00	0.38	0.30	0.20	0.24	1.12
Guaymallén	14.50	0.38	0.73	0.20	0.58	1.89
Las Heras	12.48	0.38	0.62	0.20	0.50	1.70
Luján de Cuyo	22.07	0.38	1.10	0.20	0.88	2.57
Maipú	4.00	0.38	0.20	0.20	0.16	0.94
Lavalle	4.00	0.38	0.20	0.20	0.16	0.94

Tabla 28: Distancia de transporte escombros

Tabla 29: Rendimientos - Escombros				
Municipio	**R (m3/día)**	**Carga (tn/día)**	**Carga (m3/día)**	**Viajes/día**
Capital	18.48	25.21	63.02	11
Godoy Cruz	32.14	14.20	35.51	6
Guaymallén	19.10	39.27	98.17	16
Las Heras	21.13	29.95	74.87	12
Luján de Cuyo	14.03	1.59	3.98	1
Maipú	38.30	7.84	19.60	3
Lavalle	38.30	0.25	0.63	0

Tabla 29: Rendimiento escombros

En la siguiente tabla se observa la cantidad de camiones y cargadoras necesarios por cada Municipio.

Tabla 30: Cálculo del equipamiento necesario – recolección y transporte de escombros									
Municipio	**Escombros**	**Capacidad por unidad**		**Viajes/ mes**	**Viajes /día**	**Nº viajes camión teórico**	**Cant. camiones necesarios**	**Cant de minicargad. Necesarias**	**Cant de minicargad. Adopt.**
	tn/mes	**m3**	**tn**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**
Capital	763	6	4	191	10	2	4	0.4	1
Godoy Cruz	430	6	4	107	5	1	4	0.2	1
Guaymallén	1.196	6	4	299	15	4	4	0.6	1
Las Heras	911	6	4	228	11	3	4	0.5	1
Luján de Cuyo	49	6	4	12	1	0	4	0.0	1
Maipú	239	6	4	60	3	1	4	0.1	1
Lavalle	8	6	4	2	1	1	1	0.2	1
Totales	**3.595**				**46**	**12**	**25**	**2**	**7**

Tabla 30: Esquipamiento necesario – transporte de escombros

- **Propuesta para la mejora del servicio de poda**

Tabla 31: Minicargadora - residuos de poda	
Capacidad real del balde	0.4 m3
HP	45
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga de la pala	15 seg
Carga del camión	12 seg
Puesta en posición	5 seg
Tc	32 seg = 0.009 hs
Rendimiento teórico	0.4m3/0.009 hs =45 m3/h
Rendimiento real	45 m3/h x 0.5 (Ch)x0.7 (Cg)
Rendimiento real	**16 m3/h**

Tabla 31: Minicargadora – residuos de poda

La cantidad de viajes estimados según la distancia es:

Tabla 32: Transporte de residuos de poda	
Capacidad del camión	6 m3
HP	160
Velocidad de marcha con carga	20 km/h o 25 km/h
Velocidad de marcha descargado	25 km/h o 40 km/h

Tabla 32: Transporte de residuos de poda	
Tiempo de ciclo (Tc)	
Carga del camión (T1)	0.38 hs
Viaje al vertedero (T2)	Según distancia
Descarga (T3)	0.2 hs
Regreso a zona de trabajo (T4)	Según distancia
Coeficiente horario (Ch)	0.83
Coeficiente de gestión (Cg)	0.8

Tabla 32: Transporte-Residuos de poda

Tabla 33: Distancias de transporte – Residuos de poda						
Municipio	**Distancias**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T total**
Capital	15.20	0.40	0.76	0.20	0.61	1.97
Godoy Cruz	18.67	0.38	0.93	0.20	0.75	2.26
Guaymallén	17.20	0.38	0.86	0.20	0.69	2.13
Las Heras	9.98	0.38	0.50	0.20	0.40	1.48
Luján de Cuyo	31.80	0.38	1.59	0.20	1.27	3.44
Maipú	19.41	0.38	0.97	0.20	0.78	2.33
Lavalle	25.50	0.38	1.28	0.20	1.02	2.88

Tabla 33: Distancias de transporte-residuos de poda

Tabla 34: Rendimiento – Residuos de Poda					
Municipio	**R (m3/h)**	**R (m3/día)**	**Carga (tn/día)**	**Carga (m3/día)**	**Viajes/día**
Capital	3.05	18.30	25.21	63.02	11
Godoy Cruz	2.65	15.93	14.20	35.51	6
Guaymallén	2.82	16.92	39.27	98.17	16
Las Heras	4.06	24.35	29.95	74.87	12
Luján de Cuyo	1.74	10.46	1.59	3.98	1
Maipú	2.58	15.47	7.84	19.60	3
Lavalle	2.09	12.52	0.25	0.63	0

Tabla 34: Rendimiento – Residuos de Poda

Tabla 35: Cálculo del equipamiento necesario Recolección y transporte de residuos de poda										
Municipio	**Poda**	**Dist. a DF**	**Cap. por unidad**		**Viajes /mes**	**Viajes /día**	**Nº viajes camión teórico**	**Cant camio-nes nec.**	**Cant de minicargad. Necesarias**	**Cant de minicargad. Adopt.**
	tn/mes	**km**	**m3**	**tn**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**	**Nº**
Capital	247	15.20	6	4	62	3	1	4	0.1	1
Godoy Cruz	278	18.67	6	4	69	3	1	4	0.1	1
Guaymallén	384	17.20	6	4	96	5	1	4	0.2	1
Las Heras	281	9.98	6	4	70	4	1	4	0.1	1
Luján de Cuyo	287	31.80	6	4	72	4	1	4	0.1	1
Maipú	186	19.41	6	4	46	2	1	4	0.1	1
Lavalle	38	25.50	6	4	9	1	1	1	0.2	1
Totales	**1.700**					**22**	**6**	**25**	**1**	**7**

Tabla 35: Equipamiento necesario recolección y transporte poda

En función de todo el análisis previo, se confección una tabla de resumen, en la cual se muestra el detalle por Municipio de la totalidad de equipamiento necesario.

Tabla 36: Resumen equipamiento necesario por cada Municipio						
Municipio	**Camiones Volcadores**			**Minicargadoras**		
	Necesarios	**Existentes**	**A incorporar**	**Necesarias**	**Existentes**	**A incorporar**
Capital	13	16	0	3	1	2
Godoy Cruz	13	40	0	3	6	0
Guaymallén	13	9	4	3	1	2
Las Heras	13	5	8	3	2	1
Luján de Cuyo	12	11	1	3	2	1
Maipú	12	8	4	3	3	0
Lavalle	4	5	0	2	0	2
Totales	**80**	**94**	**17**	**19**	**15**	**8**

Tabla 36: Resumen equipamiento necesario por Municipio

Del cuadro anterior se concluye que con relación a los camiones volcadores los Municipios que presentan déficit son Guaymallén, Las Heras, Luján de Cuyo y Maipú. Aquí cabe aclarar que la información sobre equipamiento para el servicio de Limpieza Urbano presentado por los Municipios de Guaymallén, Las Heras y Luján de Cuyo está incompleta, ya que no se aportaron datos sobre la parte del servicio concesionada, con lo cual puede ser que el déficit identificado no sea tal.

En tanto para el caso el Municipio de Maipú, que aportó toda la información y que cuenta con un servicio municipal, se registraría un faltante de 4 camiones volcadores. La Municipalidad de Lavalle, si bien presenta una cantidad excedida con relación a lo necesario, se trata de equipamiento muy antiguo que ha superado ampliamente su vida útil, por lo cual debería ser recambiado.

En cuanto a las minicargadoras, se registra déficit en los Municipios de Capital, Guaymallén, Las Heras, Luján de Cuyo y Lavalle. Aquí también, la situación de Capital, Guaymallén, Las Heras y Luján de Cuyo debería verificarse. En tanto Lavalle requerirá de la adquisición de 2 minicargadora.

2.7. Propuestas de alternativa de tratamiento y valorización de RSU (para tratamiento de orgánicos e inorgánicos)

Los programas de reciclado (separación domiciliaria, centro o plantas de reciclaje, etc.) desde el punto de vista estrictamente económico podrá no resultar factibles, pero su implementación conlleva a otros beneficios como:

- La protección del medio ambiente.
- La concientización ambiental de la ciudadanía respecto del cuidado del medio ambiente y del consumo de materiales provenientes de materia prima no renovable.
- Ahorro de materia prima provenientes de recursos no renovables.
- Disminución de la contaminación de origen industrial proveniente de la elaboración de materiales reciclables.
- Disminución de las cantidades de residuos destinados a disposición final y los costos asociados.
- La disminución de los riesgos asociados a la disposición final.

Dentro de las propuestas de tratamiento y valorización de los RSU, previo a la disposición final, se plantea en análisis de: planta de separación de residuos, planta de compostaje de la fracción orgánica de los RSU, y valorización energética.

2.7.1. Valorización energética de RSU

La incineración de los RSU es un proceso cuya finalidad es la transformación de los residuos combustibles en residuos inertes, con una reducción muy importante de peso y volumen, mediante la combustión a elevadas temperaturas, mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado en una planta de incineración.

El calor obtenido del proceso, puede ser utilizado para para la generación de energía que puede servir como mínimo, para el autoabastecimiento de las instalaciones y de existir un excedente, el mismo puede ser exportado.

La valorización energética ha ido ganando importancia a lo largo de los años, constituyendo actualmente el último eslabón luego de la recuperación y reciclaje.

Disminuye la cantidad de residuos destinados a la disposición final, proporciona calor utilizable para otros procesos (calefacción, producción de electricidad) desintoxica y descontamina.

La incineración, exige un control estricto de la temperatura y de la emisión de partículas de gases, requiere de mano de obra calificada y presenta problemas de operatividad debido a la composición variable de los residuos.

Las incineradoras además de emitir CO_2, debido a la variada composición química de los diversos materiales que entren en los hornos se forman sustancias de alta toxicidad. Además de gases ácidos y metales pesados, se emiten contaminantes orgánicos persistentes (COP) como las dioxinas, los furanos, los PCB y el hexaclorobenceno que poseen un carácter extremadamente peligroso para la salud por su potencial bioacumulativo y su carácter de disruptor hormonal.
La presencia de estos contaminantes se produce no sólo en las emisiones atmosféricas sino también en las cenizas resultantes del proceso de combustión. Las cenizas pueden ser de fondo en la base del horno y volantes que quedan atrapadas en los filtros y en las llamadas emisiones fugitivas de la chimenea. Los contaminantes orgánicos atrapados en estas cenizas son difíciles de gestionar y necesitan transportarse y depositarse adecuadamente en vertederos especiales para residuos peligrosos.

2.7.1.1.La combustión de los RSU

El estudio de la combustión de los RSU plantea como principal dificultad el de su heterogeneidad:

- Heterogeneidad dimensional, provocada por el muy variado tamaño de los residuos. Afecta fundamentalmente a los elementos de maniobra de los residuos, dentro y fuera del horno de combustión. Puede reducirse utilizando una trituradora previa.

- Heterogeneidad en la densidad, que provoca tiempos de combustión desiguales y grandes dificultades para obtener una mezcla íntima aire-combustible. Puede mejorarse con una trituración previa.

- Heterogeneidad en la composición, hace variar las calorías producidas en la combustión, siendo necesario variar la cantidad de aire necesario para adaptarse a esta circunstancia.

Esta heterogeneidad hace que sea imposible un estudio teórico de la combustión de los RSU, y que deba procederse al estudio de muestras de los residuos reales que permitan conocer las características del "combustible" necesarias para el cálculo de las instalaciones. Estas características son, básicamente, la composición y el poder calorífico interno.

2.7.1.2.Determinación del poder calorífico interno de los RSU

Se define como poder calorífico de un combustible la cantidad de calor desprendida por la combustión completa de la unidad de masa. El combustible y el comburente se toman a una temperatura y presión dadas, generalmente los volúmenes y las densidades se refieren a 0ºC y una atmósfera de presión. El PCI presenta un índice de la capacidad de autocombustión de los residuos. Para un PCI menor de 1000 kcal/kg la incineración sin aporte de energía exterior es sumamente problemática.

2.7.1.3.Refrigeración de los humos de combustión

En condiciones adecuadas de funcionamiento, los humos a la salida de la cámara de combustión tienen una temperatura de 900 a 1000ºC, la cual hay que rebajar al menos a 300ºC para evitar que los equipos de depuración del polvo de los humos queden fuera de servicio.

Si la instalación tiene prevista la recuperación del calor generado se produce directamente la refrigeración de los humos. En instalaciones sin recuperación de calor es necesario efectuar una refrigeración por dilución de los humos de combustión en un fluido a temperatura inferior.

Refrigeración mixta: surge para paliar los inconvenientes de la refrigeración por aire y por agua:

1) Inconvenientes de la refrigeración por aire:

    - Volumen y masa de humos a tratar muy importantes, que obliga a disponer de grandes instalaciones de eliminación de polvo, chimeneas, ventiladores, etc.
    - Humos demasiado secos para la utilización de electrofiltros en el desempolvado.

2) Inconvenientes de la refrigeración por agua:

- Elevado costo de mantenimiento debido a las corrosiones.
- Humos demasiado húmedos para el desempolvado con electrofiltro o mediante sistemas mecánicos.
- Penacho de vapor visible en la chimenea.

La refrigeración mixta aire-agua se realiza en dos fases:

1) Refrigeración por aire desde 950ºC a 600ºC.
2) Refrigeración por agua desde 600ºC a 300ºC. permite regular la temperatura y humedad de los humos.

Las ventajas fundamentales que consigue este sistema es la de reducir el tamaño de los sistemas de desempolvado y chimeneas así como reducir el consumo de agua.

Refrigeración por cambiador térmico: no se produce aumento de volumen ni de masa puesto que no se introduce un nuevo fluido en el circuito de los humos de combustión reduciendo sensiblemente los volúmenes del sistema de desempolvado y la potencia de los ventiladores de impulsión.

2.7.1.4.Control de la contaminación atmosférica

La depuración y dispersión de los humos producidos por la combustión de los residuos se hace necesaria debido al fuerte impacto ambiental producido. Los posibles malos olores generados por los humos son destruidos si la temperatura en la cámara de combustión supera los 750ºC.

Los principales contaminantes presentes son el anhídrico carbónico, el anhídrido sulfuroso y el ácido clorhídrico. El ácido clorhídrido puede proceder del PVC presente en los residuos o del cloruro sódico. Su presencia exige la depuración por vía húmeda, siendo necesario proteger contra la corrosión las paredes de la instalación expuestas a su acción. Otros gases nocivos que pueden encontrarse en los humos son el óxido de nitrógeno, ácido fluorhídrico, ácidos orgánicos y aldehídos. Todos ellos, así como el monóxido de carbono se producen sólo si la combustión de los residuos es defectuosa.

En el polvo suspendido en los humos se pueden encontrar plomo, cinc, cadmio, mercurio, cobre, cromo, níquel, manganeso. La presencia de este tipo de contaminantes exige una eliminación del polvo o cenizas volantes.

- **Monóxido de carbono (CO):** Se forma durante la combustión de materiales carbonosos cuando no se aporta suficiente oxígeno. Reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina. El organismo confunde este compuesto con la oxihemoglobina que normalmente transfiere el oxígeno a los tejidos. La falta de oxígeno puede causar dolores de cabeza, náuseas e incluso la muerte.

- **Óxidos de nitrógeno (NOx):** Los dos óxidos de nitrógeno más importantes son el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO2), denominados conjuntamente NOx. En la combustión hay dos fuentes principales de NOx: el que se forma mediante reacciones entre el nitrógeno y el oxígeno utilizado para la combustión y el que se forma mediante la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno *orgánico presente en el combustible. Los óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de aerosoles nítricos que pueden causar niebla y lluvia ácida.*

- **Dióxido de azufre (SO2):** se forma en la combustión de compuestos que contienen azufre. Es un gas irritante para los ojos, la nariz y la garganta. En altas concentraciones puede causar enfermedades y se relaciona con la producción de lluvia y nieve ácidas.

- **Metales:** en la incineración los metales se emiten como partículas o en forma gaseosa. Los metales que pueden presentar más problemas desde el punto de vista de la salud son cadmio (CD), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb). El mercurio es muy problemático porque se volatiliza a una temperatura relativamente baja: 329ºC. Casi todo el mercurio de los RSU se debe a las pilas domésticas. Algunos metales están presentes sólo en algunos productos de consumo y podrían separarse de los residuos antes de la incineración.

- **Partículas en suspensión:** aparecen como resultado de la combustión incompleta del combustible y del arrastre físico de los no combustibles. Las emisiones de partículas provocan problemas para la salud así como disminución en la visibilidad. Las partículas pequeñas de 10µm son las más peligrosas porque pueden penetrar profundamente en los pulmones. Aproximadamente entre el 20 y el 40% de las partículas emitidas son de menos de 10 µm de diámetro y entre el 7 y el 10% son de menos de 2 µm de diámetro.

- **Gases ácidos:** La incineración de residuos que contienen flúor, cloro, azufre y nitrógeno, genera gases ácidos. El flúor está presente en cantidades traza en muchos materiales, mientras que el cloro se encuentra principalmente en los plásticos, sobre todo en el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC) y el polipropileno (PE).

- **Dioxinas y furanos:** la importancia de estas familias de compuestos orgánicos estriba en la gran toxicidad de algunos de sus isómeros que se encuentran entre las sustancias más tóxicas que se conocen.

- **Sistemas para el control de la contaminación atmosférica**

Tecnologías para el control de partículas finas (<10µm)

Filtros electrostáticos

Funcionan bajo el principio de la atracción electrostática. Fue el primer dispositivo de control de partículas utilizado en las incineradoras de RSU capaz de separar partículas finas (menores de 10 µm) y muy finas (menores de 2 µm). La eficacia de estos filtros es función de la temperatura y humedad de los gases de combustión y de la resistividad eléctrica de las partículas, normalmente muy elevada.

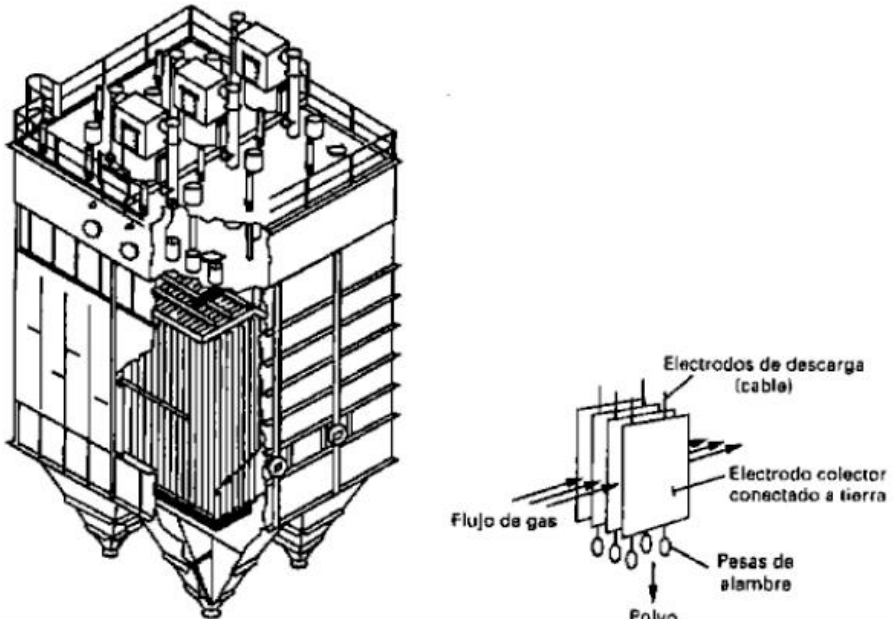


Figura 28: Filtro electostático

Filtros de manga

Es el equipo más utilizado en las incineradoras de RSU. Es un dispositivo en el que las bolsas de filtración se conectan paralelamente sobre una estructura. Las partículas de gas de combustión son atrapadas en una capa de polvo que gradualmente se va acumulando sobre la superficie de la bolsa. La capa de polvo permite que la manga filtre partículas mucho más pequeñas que las aberturas de las fibras (50 a 75 µm), tan pequeñas como 0,1 µm. Los parámetros más importantes para su diseño son el área, el material y el método de limpieza del filtro.

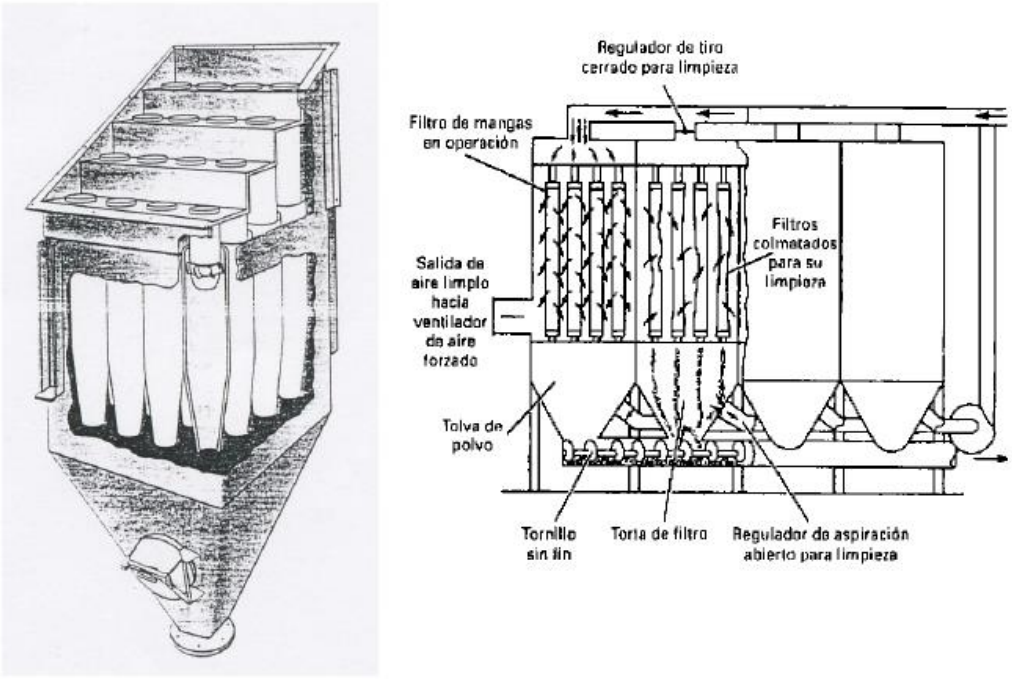


Figura 29: Filtro de Mangas

Filtro electrostático de grava

Es un dispositivo híbrido que emplea la filtración mecánica y la atracción electrostática. Se ha utilizado en hornos que queman madera e incineradoras de RSU.

Tecnologías para el control gases ácidos

Depuración por lavado. Colector húmedo

Se utilizan disoluciones líquidas para neutralizar los gases ácidos. Está formado por un lavador y un desvaporizador, un apagador de cal y un filtro prensa o una centrifugación para deshidratar los fangos formados. La manera de hacer entrar en contacto el gas con la disolución líquida da lugar a distintos tipo de lavadores.

Este sistema presenta como principales inconvenientes el elevado consumo de agua, de 2 a 2,5 m^3 por tonelada de residuos incinerada, y la corrosión debido a los ácidos disueltos en los gases, especialmente el clorhídrico producido por la combustión de plásticos clorados.

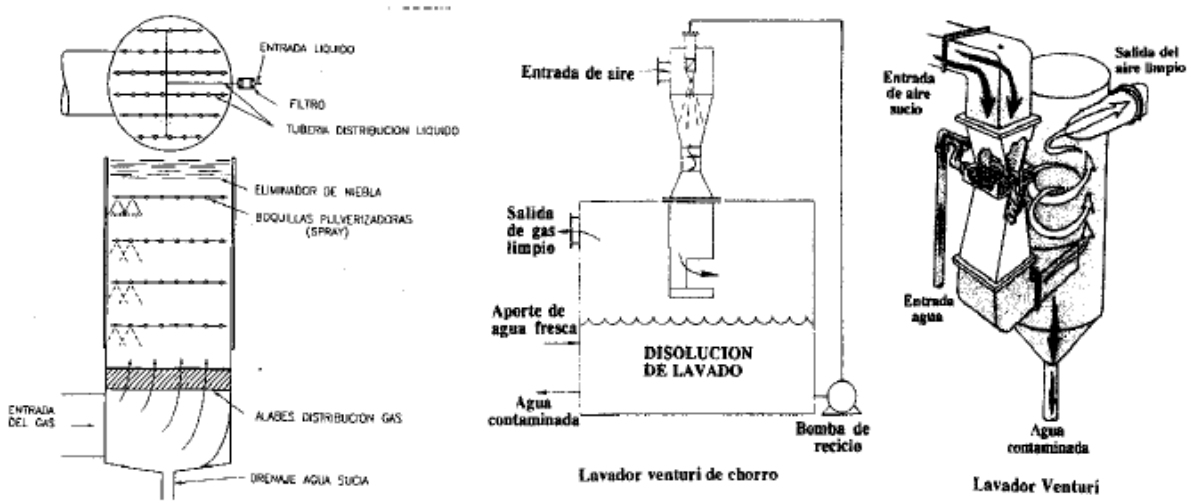


Figura 30: Depuración por lavado: torre de lavado tipo spray y lavadores tipo Venturi

Depuración seca

Secado de rocío e inyección en seco. En un sistema de secado de rocío se introducen disoluciones de carbonato sódico y de cal en el desecador de rocío, donde reaccionan con los gases de combustión formando sales neutras. A continuación, se separan las partículas sólidas de sales así como las cenizas volantes que aún están en los gases de combustión, mediante un filtro de mangas. La eficacia de separación del SO_2 para una combinación de depuración seca y filtro de mangas es próxima al 98%.

La inyección en seco consiste en rociar una solución de cal en la cámara de reacción, neutralizando los gases ácidos. El agua en la disolución se evapora completamente, de forma que no hay fangos que tratar. Se han obtenido eficacias en la separación de HCl y SO_2 de hasta el 99%.

Tecnologías para el control NOx

Es necesario controlar la combustión o tratar los gases de combustión que incluye la recirculación al horno de una parte de los gases producidos y la operación con bajas cantidades de aire en exceso e incineración por etapas. El funcionamiento con bajas cantidades de aire en exceso y la incineración por etapas suponen un cuidadoso control de la entrada del aire a la incineradora mediante la división del aire de combustión en corrientes primarias y secundarias. Como consecuencia, parte del horno funciona con aire limitado y el resto funciona con aire en exceso, reduciendo así la cantidad de NOx formados.

El tratamiento de los gases de combustión puede llevarse a cabo por reducción selectiva catalítica o no catalítica. La reducción selectiva se basa en la inyección de amoníaco en los gases de la chimenea, seguido o no por el paso del gas sobre un lecho catalizador. El NO

reacciona con el amoníaco y el oxígeno para formar nitrógeno gaseoso y agua. El problema de la utilización de catalizadores en las incineradoras de RSU es la contaminación de los mismos por partículas y su envenenamiento por plomo. El proceso sin catalizadores exige el control de la temperatura del proceso para que el NH_3 pueda inyectarse en una zona del horno dentro del rango de temperatura óptimo.

Tecnologías para el control CO e hidrocarburos

La presencia de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos en los gases emitidos está directamente relacionada con la eficacia del proceso de incineración y, por lo tanto, con el diseño y la operación del sistema. La formación de estos compuestos tiene lugar por la incineración incompleta de los residuos, debido a una sobrecarga del horno y a la operación a temperaturas demasiado bajas provocadas por el alto contenido en humedad de los residuos. Una forma de evitar estas emisiones es la introducción de oxígeno adicional. La adición debe estar bien controlada para evitar una temperatura de combustión demasiado alta y la generación de excesivas emisiones de NOx.

Tecnologías para el control de dioxinas, furanos y metales

La separación en origen puede ser una medida eficaz para limitar las emisiones de metales pesados. La separación de pilas resulta de gran importancia para controlar las emisiones de mercurio y cadmio. Para el control de dioxinas y furanos se recomienda la separación de residuos que contengan cloro, principalmente los plásticos aunque la estrategia más eficaz para reducir las emisiones es el control de combustión.

Se ha comprobado que existe una fuerte correlación entre la temperatura, el tiempo de residencia y las emisiones de dioxinas y furanos. Las condiciones que minimizan la generación de CO minimizan también su generación, por lo que se puede usar el valor de la concentración de CO para controlar las emisiones. También es importante el control de partículas para controlar las emisiones de metales y de dioxinas y furanos.

Dado que se ha observado que los óxidos y cloruros metálicos tienden a condensarse sobre partículas submicrónicas de cenizas, la mejor forma de depurar las emisiones de metales es mediante un filtro de mangas. Hay que tener en cuenta que esta técnica no permite eliminar el mercurio de las emisiones, dada su baja temperatura de volatilización, por lo que es necesaria su eliminación de los residuos.

2.7.1.5.Dispersión de los humos

Los humos a su salida de la chimenea contienen aún polvos y algunos elementos contaminantes, especialmente azufre y cloro. La disminución de esta contaminación está basada en la dispersión de los humos, la cual depende básicamente de la altura de la chimenea y de la velocidad de salida.

- **Cálculo de la altura de la chimenea**

Se deben utilizar modelos físico-matemáticos de dispersión de contaminantes, para este cálculo, los que deben tener en cuenta los parámetros meteorológicos y topográficos específicos de la zona.

- **Concentración a nivel del suelo de los elementos contaminantes**

Los gases nocivos que no son eliminables por los sistemas de depuración de humos, se limita su concentración máxima a nivel del suelo a un valor admisible para la salud pública.

2.7.1.6.Residuos producidos en las instalaciones de incineración

- **Escorias o cenizas de fondo**

Representa la porción no quemada de los RSU y se obtienen directamente como residuo de la combustión. En una instalación de incineración en bruto, pueden contener cantidades importantes de metales y vidrio, así como materia orgánica no quemada. Una forma de medir el rendimiento de la instalación es mediante la evaluación del porcentaje de materia orgánica no quemada en las cenizas. Si la combustión ha sido correcta, las escorias presentan menos de un 2% de residuos orgánicos. Las escorias son eliminadas en vertederos controlados o bien utilizadas como material de relleno en caminos u otras obras civiles o para fabricar bloques de construcción.

- **Cenizas volantes**

Los equipamientos utilizados para el control de las emisiones de partículas separan grandes cantidades de cenizas volantes, lo que origina un nuevo rechazo sólido, que hay que gestionar. Deben ser manipuladas con mucho cuidado para evitar pérdidas incontroladas, por lo que deben ser transportadas en contenedores cerrados para su eliminación. Las cenizas son muy solubles en agua, por lo que es recomendable su vertido separado de las escorias considerándolas como un residuo industrial tóxico o corrosivo.

- **Residuos de la depuración húmeda**

Están constituidos por los lodos producidos en una depuradora húmeda utilizada para la separación de SO_2 y gases ácidos. El tratamiento de estos residuos consiste en una deshidratación para disminuir el volumen, y se debe diseñar correctamente, el vertido final del fango obtenido, teniendo en cuenta la presencia de metales pesados compuestos orgánicos en concentraciones traza, y el tratamiento de sobrenadante como un agua residual.

2.7.1.7.Elección del emplazamiento

- **Factores técnicos**

El aspecto económico es el más importante. El estudio correspondiente debe incluir tanto el costo del terreno como los efectos que su situación tendrá sobre el costo de los servicios de recolección y transporte hasta la planta, incluyendo las obras de acceso. Si existe recuperación de energía y ésta se vende, deberá considerarse el costo que supone la distancia entre el centro productor y el receptor.

El aspecto funcional tiene una restricción en la superficie necesaria, función de su capacidad, el sistema elegido para refrigerar los gases, la existencia o no de sistemas de recuperación de calor y del tratamiento dado a las escorias y a las aguas residuales. Para una planta de 200 tn/día, la superficie necesaria para las instalaciones de incineración oscila de 2.000 a 3.000 m^2. La consideración de los accesos, vías interiores, instalaciones de pesaje y descarga, etc., conduce a unos 10.000 m^2. En principio puede admitirse proporcionalidad entre la capacidad diaria de tratamiento y la superficie necesaria.

- **Factores medioambientales**

Un factor de aceptación por parte de los ciudadanos del emplazamiento, está relacionado con el efecto de la instalación, tanto sobre la contaminación atmosférica como sobre el aspecto estético. No será recomendable su instalación en zonas de elevada contaminación atmosférica y obviamente requerirá la correspondiente evaluación de impacto ambiental.

2.7.2.Procesos térmicos

En la siguiente figura, se observa el porcentaje de energía renovable en tratamientos térmicos de los residuos.[11]

TRATAMIENTO	FUENTE RESIDUOS	FORMA DE ENERGÍA	% ENERGÍA RENOVABLE
Incineración con Recuperación de Energía	Fracción Resto	Vapor → Electricidad y Calor	Prm. 45% Rango 48 – 80%
Gas de Vertedero	Fracción Resto o Residuos en Bruto	Biogás → Electricidad (y Calor)	100%
Combustible Sólido Recuperado	Fracciones de RSU o RCD	Sustitución Combustible en Cementeras o Térmicas	Prm. 50% Rango 30 – 55%
Digestión Anaerobia	Fracción Orgánica RSU o biomasa selectiva	Biogás → Electricidad y Calor	100%
Plantas Biomasa (Incineración gasificación)	Madera recogida y seleccionada	Vapor → Electricidad y Calor	95 – 100%

Figura 31: Porcentaje de energía renovable en tratamientos térmicos de residuos

[11] Fenercom.Guía de Valorización energética de los residuos.

En este apartado se describirán los principales mencionando algunas ventajas y desventajas de su implementación.

2.7.2.1.Incineración

Se puede definir la incineración como un proceso de combustión de los residuos sólidos a temperaturas superiores a 850ºC (lo ideal es que las temperaturas sobrepasen 1000ºC) con un exceso de oxígeno de 6% con respecto al estequiométrico, resultando un proceso exotérmico, que permite recuperar el poder calorífico del residuo en forma de calor, actuando de modo parecido a una central térmica.[12]

2.7.2.2.Gasificación[13]

La gasificación es un proceso de oxidación parcial de la materia en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente. En términos generales, las características para el proceso de gasificación de una corriente de residuos, son las siguientes:

- Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.

- La temperatura usual de trabajo es superior a los 750 °C. • Las reacciones químicas producidas en este proceso son de dos tipos:

  - De cracking molecular: la temperatura provoca la rotura de los enlaces moleculares más débiles originando moléculas de menor tamaño, generalmente hidrocarburos volátiles.

  - De reformado de gases: estas reacciones son específicas de los procesos de gasificación y en ellas suele intervenir el vapor de agua como reactivo. Como resultado del proceso de gasificación se obtiene un gas de síntesis o syngás y un residuo de diversa composición.

- Gas de síntesis compuesto principalmente por CO, H2, CO2, N2 (si se emplea aire como gasificante) y CH4 en menor proporción. Como productos secundarios se encuentran alquitranes, compuestos halogenados y partículas. Este gas podrá ser valorizado energéticamente por producción eléctrica

[12]Ángeles Alcaide Tur. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA Universitat Jaume.
[13]JAVIER RODRIGO ILARRI, MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO, JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ GONZÁLEZ. Alternativas De Valorización Y Eliminación De Residuos Sólidos Urbanos

mediante ciclos combinados o simples, turbinas de gas o motores de combustión interna.

- Residuo sólido, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado; generalmente contiene parte del carbono sin gasificar. Las características de este residuo son similares a las escorias de los hornos en las plantas de incineración.

Al igual que la incineración, este proceso consiste en una reacción exotérmica.

2.7.2.3.Pirólisis /termólisis

Consiste en someter a los residuos a temperaturas de 800-1.100 °C para producir una reacción de combustión en ausencia de oxígeno. [14]

$$C_6H_{10}O_5 + Calor \rightarrow 2C + 3CO + CO_2 + SH_2$$
$$CH_2 + Calor \rightarrow C + H_2$$

El producto resultante de la reacción será un gas (syngás) con un poder calorífico variable entre 10.000 a 20.000 KJ/Nm³, y compuesto por de metano, hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno. Además, en la pirólisis se obtienen líquidos y un residuo inerte "char"[15]

2.7.2.4.Biometanización

La biometanización es un proceso de digestión anaerobia, cuyo objetivo es transformar la fracción orgánica recuperada en las plantas de tratamiento mecánico biológico (material biodegradable) en dos productos: por un lado, biogás compuesto por metano y dióxido de carbono y por otro lado el digesto, que es la materia orgánica resultante con destino a procesos biológicos de los que se obtendrá material bioestabilizado. Esta tecnología utiliza reactores (digestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica[16]

[14] Guía de Valorización Energética de Residuos. FENERCOM
[15] JAVIER RODRIGO ILARRI MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ GONZÁLEZ. Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos
[16] JAVIER RODRIGO ILARRI MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ GONZÁLEZ. Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos

2.7.2.5.Otros procesos de recuperación

En la actualidad existe una amplia gama de procesos de valorización energética y material de RSU, las cuales no serán desarrolladas en este documento, sino que se muestran en la figura siguiente.

Las mismas requieren distintos grados de petratamiento de los residuos y sobre todo avances en lo que se refiere a educación de la población para separación en origen o grandes instalaciones de separación que se encuentren operando.

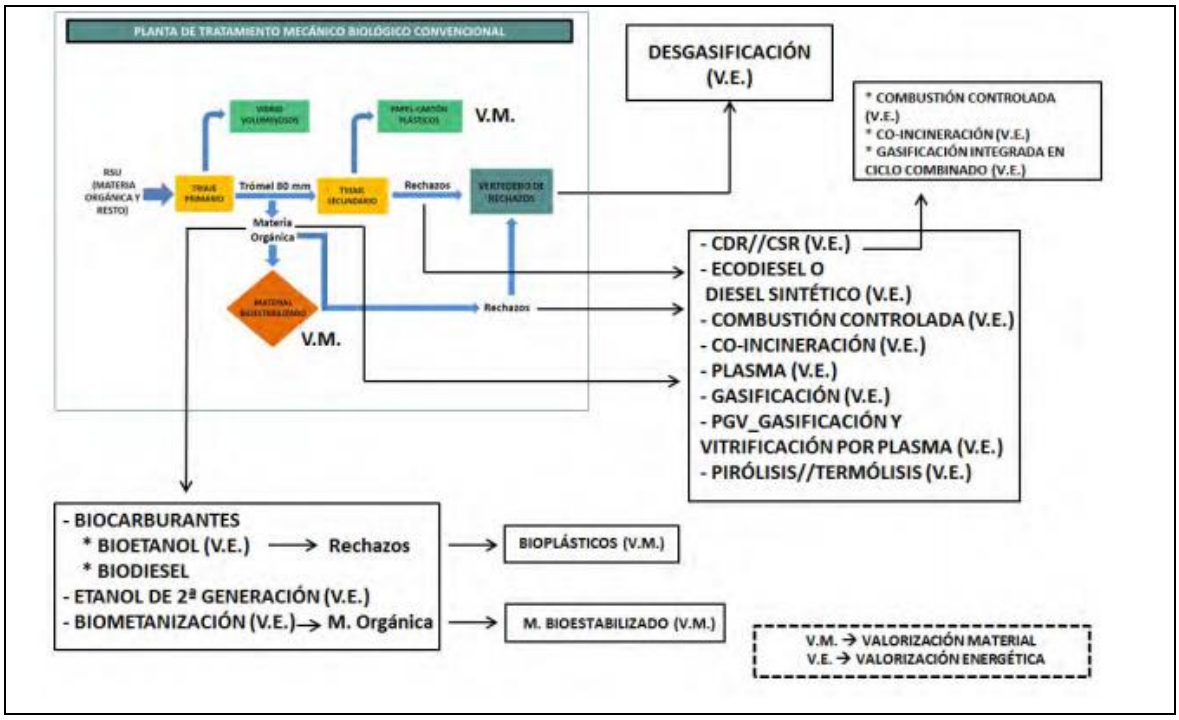


Figura 32: Tecnologías de Recuperación energética y material de RSU

2.7.3.Instalaciones de Incineración

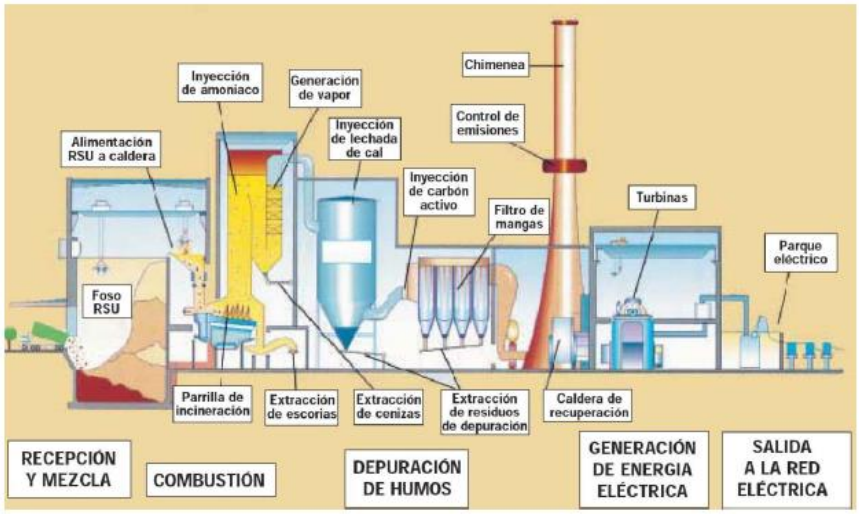


Figura 33: Esquema de funcionamiento Planta Incineradora

- **Recepción de residuos y carga de hornos**

Instalaciones de pesaje: es conveniente y a partir de las de mediano tamaño necesario, la instalación de un sistema de pesaje. El sistema normal es el pesado del camión a la entrada y a la salida de la instalación, en muchos casos se realiza en forma automática. La capacidad de estas básculas suele oscilar entre las 30 y 40 toneladas.

Plataforma de descarga: precede al foso de almacenamiento. Debe ser lo suficientemente amplia como para permitir la maniobra de los vehículos y generalmente es suficiente con 15 m a contar desde el borde del foso. El material más adecuado para su construcción es el hormigón armado. Esta zona se encontrará normalmente bajo techo.

Foso de almacenamiento: es el lugar donde se efectúa el vertido de los residuos y su función es la de depósito regulador para la alimentación de los hornos. Su volumen oscila entre 1,5 a 2 días de trabajo de las instalaciones a pleno rendimiento. Las dimensiones se pueden determinar teniendo en cuenta que la longitud depende fundamentalmente del número y anchura de los hornos de que dispone la instalación, y que la anchura y profundidad están ligadas por criterios económicos. Un foso ancho exigirá un puente grúa de mayor costo, encareciendo el costo de las edificaciones y el terreno. En tanto un foso profundo aumenta la duración del ciclo del puente grúa y encarece notablemente el costo de construcción, disminuyendo el costo de las edificaciones y el terreno.

Para evitar que durante la descarga se escape polvo, papeles u olores se suele tener el foso a una presión inferior a la atmosférica, esto se logra aspirando el aire del fondo con ventiladores de aire primario. El material más adecuado para el foso es el hormigón

armado para asegurar la impermeabilidad. Debe preverse un sistema de drenaje que permita la limpieza con agua a presión.

Puente grúa: se utiliza para trasladar los residuos del foso de almacenamiento a las instalaciones de carga de los hornos. Su disposición normal es perpendicular a la máxima dimensión en planta del foso, desplazándose sobre vigas paralelas a la citada dimensión.

Las cucharas utilizadas son de dos tipos, de almeja y de valvas múltiples. Es necesario que estas cucharas tengan peso suficiente para penetrar, por caída, en los residuos, por lo que su capacidad oscila entre 1 y 1,5 m^3. En grandes instalaciones se suele utilizar un sistema de pesada de cada toma de residuos, el cual permite conocer las cantidades de residuos introducidas en los hornos. Dadas las difíciles condiciones de trabajo es conveniente disponer de uno de repuesto.

Para prever un posible corte de energía eléctrica, debe disponerse de un sistema auxiliar de generadores. Esto es aplicable a todo el conjunto de la instalación.

Instalaciones de carga de los hornos: está formada por el conjunto tolva-conducto de alimentación, que permite depositar los residuos directamente sobre las parrillas del horno. Debe asegurar la alimentación continua del horno sin atascos y una reserva de residuos entre dos cargas sucesivas, de forma que se asegure la hermeticidad del horno.

Generalmente se construye en chapa metálica, con un tamaño, en la boca de la tolva, tal que admita a la cuchara del puente grúa totalmente abierta. El conducto de alimentación debe tener la misma anchura que el horno.

Dada la gran capacidad de abrasión de las basuras es necesario proteger la superficie interior de la instalación. Generalmente se recurre a utilizar un espesor en la chapa de construcción que permita una disminución importante en el tiempo de mantenimiento.

La parte inferior del conducto de alimentación debe protegerse frente a los posibles incrementos bruscos de temperatura, para lo cual suele recurrirse a la utilización de una camisa de agua, un indicador del nivel de residuos, con dispositivo de alarma a nivel bajo, un indicador de temperatura y una compuerta estanca, que permita el aislamiento del horno del exterior.

- **Hornos**

Es la instalación básica, desde el punto de vista técnico, de la instalación de incineración, aunque económicamente solo representa un porcentaje que varía entre el 25 y el 50% de la inversión inicial. El horno puede dividirse en dos partes fundamentales:

Parrilas y anexos: Su finalidad es asegurar la combustión de los residuos, permitiendo su manipulación. Se incluyen en este conjunto los siguientes elementos:

- Un dispositivo para la introducción de los residuos en el hogar.
- Un soporte físico para la combustión, la parrilla. Generalmente los hornos están equipados con tres parrillas sucesivas escalonadas o en cascada.
- Un dispositivo para el transporte y volteo de los residuos en el interior del horno.

El aire necesario para la combustión se inyecta bajo las parrillas, contribuyendo por su elevada temperatura al secado de los residuos.

Cámara de combustión: Se sitúa directamente sobre las parrillas y permiten la combustión completa de los gases antes de su salida del horno. Es la parte del horno sometida a mayor temperatura (de 900 a 1000ºC), lo cual exige recubrir sus paredes con materiales refractarios y/o paredes de agua; esto último absolutamente necesario si se desea recuperar energía.

Las funciones principales de la cámara de combustión, son:

- Permitir la mezcla del aire secundario con los gases todavía no quemados, asegurando su perfecta combustión.

- Calentar y secar, por radiación, los residuos, permitiendo mantener estable la temperatura necesaria para quemar los gases.

- Contener el sistema de recuperación de calor en las instalaciones proyectadas para ello.

Existen tres clases de hornos en función de su funcionamiento:

A) Hornos de funcionamiento discontinuo.
B) Hornos de funcionamiento continuo: hornos continuos de parrilla, hornos rotativos, hornos mixtos.
C) Hornos de lecho fluidizado.

A) <u>Hornos de funcionamiento discontinuo</u>

Están prácticamente en desuso. Exigen la utilización de un combustible auxiliar de elevado poder calórico y sólo pueden usarse para pequeños núcleos urbanos. Consiste en una cámara, protegida por material refractario, donde se introducen los residuos, se queman completamente y finalmente se evacúan las escorias producidas.

B) Hornos de funcionamiento continuo

Todas las funciones se realizan de forma continuada y automática. Actualmente esos hornos son prácticamente los únicos que se utilizan alcanzando producciones de 50 tn/h.

Hornos continuos de parrillas: es el horno mayoritario en las nuevas instalaciones. Las parrillas están situadas, horizontalmente formando una escalera o inclinadas formando un plano inclinado. Existen múltiples sistemas que permiten el movimiento de las parrillas, asegurando el movimiento de los residuos y a la vez su volteo.

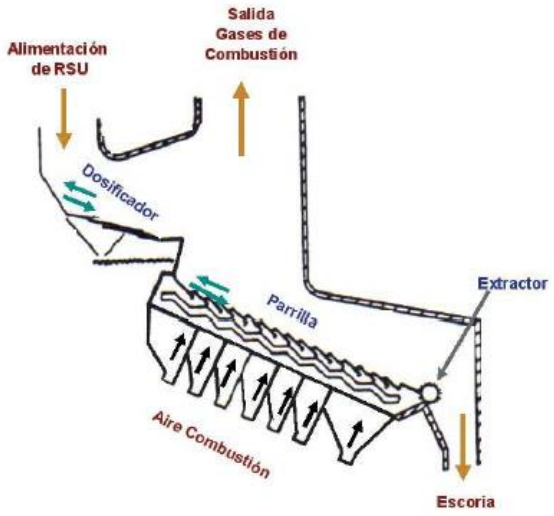


Figura 34: Horno de parrillas

Hornos rotativos: aplican la tecnología utilizada en las fábricas cementeras. Constan de un cilindro inclinado que gira sobre sí mismo, a través del cual van pasando los residuos. El aire necesario para la combustión se inyecta por el extremo opuesto a los residuos, arrastrando a los gases hacia la cámara de combustión. Debido a su forma de funcionar con volteo siguen un mejor quemado de los residuos. Se construyen para pequeñas capacidades, exigiendo generalmente la utilización de un combustible auxiliar.

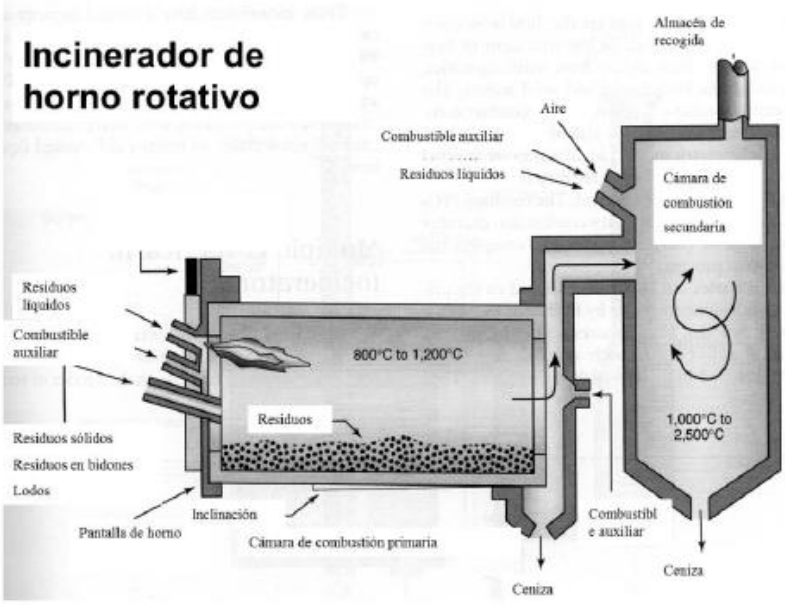


Figura 35: Horno Rotativo

Hornos mixtos: combinan el sistema de parrillas con el rotativo, utilizando este último para asegurar un perfecto acabado de la combustión. Una realización característica es el horno Volund que consta de una parrilla inclinada de secado, una parrilla inclinada de combustión y un tambor rotativo inclinado que asegura la combustión total. Pueden utilizarse para grandes capacidades, dado que son de gran tamaño debido al volumen necesario en los conductos de humo.

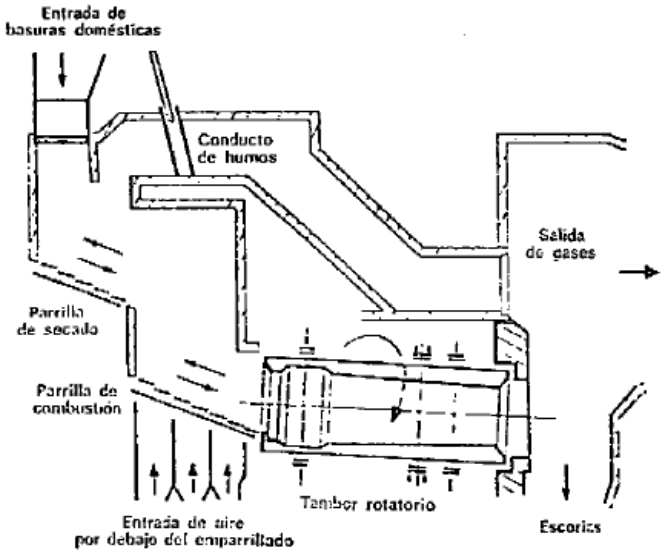


Figura 36: Horno Volund mixto

C) Hornos de lecho fluidizado

Consisten en un cilindro vertical de acero, forrado con ladrillos refractarios, un lecho de arena, una placa de rejilla de apoyo y toberas de inyección de aire. Cuando se fuerza el aire hacia arriba a través de las toberas, el lecho de arena se fluidiza y se expande hasta dos veces su volumen en reposo. La acción hirviente del lecho fluidizado provoca turbulencias, favorece la mezcla y transfiere calor al combustible. Cuando se pone en funcionamiento requiere combustible auxiliar para subir la temperatura operacional (780 a 950ºC). Son bastante versátiles y pueden operar sobre una amplia variedad de residuos, incluyendo RSU, fangos y residuos químicos peligrosos.

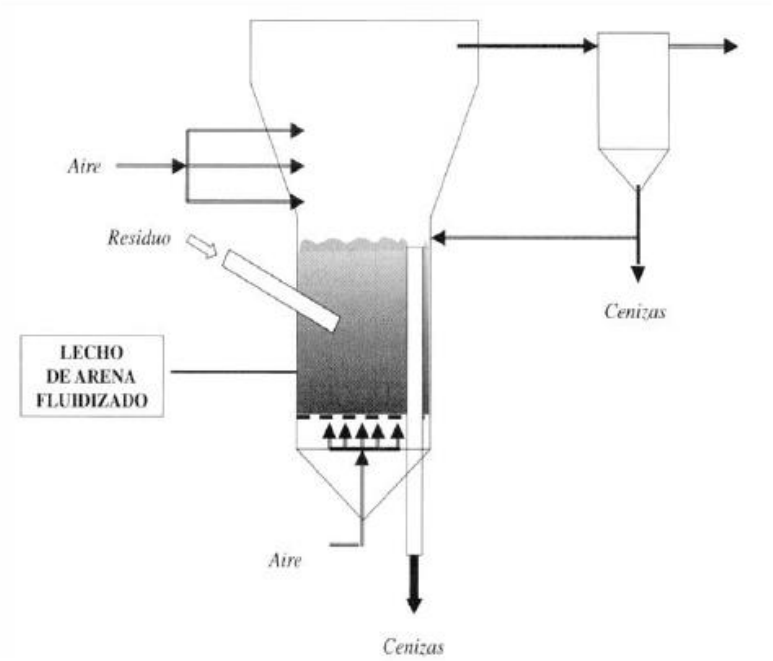


Figura 37: Horno de lecho fluidizado

2.7.3.1.Instalaciones de tratamiento de los productos resultantes

- **Extracción y disposición de escorias**

El sistema debe enfriarse y extraerlas manteniendo la estanqueidad del horno usualmente mediante la inmersión en agua. Dada la temperatura de las escorias (250 a 750ºC) este enfriamiento produce una emisión de vapor. Las formas de extracción más usuales son:

- Extractor de cadenas: constituido por una cadena que sube las escorias por un plano inclinado, consiguiéndose la estanqueidad por estar todo el conjunto sumergido en agua.
- Extractor de paleta: similar al anterior, pero la cadena se ha sustituido por una paleta.

Una vez se han extraído las escorias del horno, se transportan hasta el almacenamiento previo a su vertido o venta por medio de una cinta transportadora o vagoneta. Todos los sistemas que deban trabajar con escorias deben poseer gran resistencia a la abrasión.

- **Enfriamiento de los gases**

Se realiza en las instalaciones sin recuperación de calor, en la cámara de enfriamiento, mediante la inyección de aire terciario o agua. Esta cámara es una prolongación de la combustión, estando recubierta por el mismo material refractario.

En las instalaciones con recuperación de calor, tras la caldera se encuentra a veces una torre de refrigeración. La torre es cilíndrica, de acero y va provista de pulverizadores de agua. Este sistema necesita mucho mantenimiento, debido a las corrosiones producidas por los ácidos condensados. Esto puede evitarse, si se utiliza como agua de refrigeración la utilizada en el enfriamiento de las escorias, que por ser alcalina neutraliza parte de los ácidos.

- **Recuperación de calor**

Se efectuará sólo en el caso en que su venta compense los gastos suplementarios de la inversión necesaria para ello, lo cual suele suceder a partir de las 120.000 tn/año de residuos. La venta es posible técnicamente sólo si el calor, en forma de vapor o electricidad se suministra con regularidad, lo cual exige que el PCI de los residuos a incinerar supere las 1.000 kcal/kg.

Las instalaciones de producción de calor comprenden:

- La caldera, cuya función es recuperar el calor contenido en los gases de la combustión.

- Las instalaciones de aprovechamiento del calor recuperado, que pueden ser:

    - Sistemas de regulación de presión y cantidad de vapor, si se sirve éste directamente.

    - Grupo turboalternador, si se suministra energía eléctrica.

- Los circuitos auxiliares de agua y vapor, que son aquellos sistemas, constituidos por conducciones y mecanismos de impulsión del fluido que circula por ellos, que permiten el paso de los gases de combustión, aire y agua por las distintas partes de la instalación.

2.7.3.2.Costos

- **Costos de inversión**

Dependen especialmente del sistema utilizado para la depuración de los humos y de las instalaciones para la recuperación de energía en forma de calor.

Los sistemas por vía húmeda no aseguran el cumplimiento de los mínimos de emisión establecidos por las legislaciones específicas. La recuperación no se justifica en plantas de reducida capacidad de tratamiento (menos de 100 tn/día) debido a la alta incidencia de las instalaciones sobre el costo de inversión inicial. Para plantas de capacidad entre 250 y 100 tn/día depende de sus posibilidades de venta, por lo que la decisión deberá tomarse tras un estudio económico. En plantas de capacidad superior a las 250 tn/día la recuperación de energía para abastecer el consumo de la propia planta es prácticamente preceptiva y es necesaria la utilización de electrofiltros como sistema de eliminación de polvo de los gases.

En los costos hay que incluir los correspondientes a la eliminación de las cenizas producidas por el proceso, fácilmente estimables asimilándolos al caso del vertido controlado teniendo en cuenta que la reducción en peso respecto al peso inicial de los residuos es del 75 al 80% y en volumen del 93 al 95%.

- **Costos de operación**

Dependen fundamentalmente del rendimiento de la instalación y del mantenimiento. No se incluyen los derivados del transporte y eliminación de cenizas y escorias.

El rendimiento de la instalación está ligado a la adecuación entre la capacidad de la planta y las necesidades reales, así como la adecuación del diseño de la planta a las características de los residuos a incinerar. Las características de los residuos más influyentes son el PCI, la humedad, el porcentaje de materiales combustibles e inertes o la presencia de materiales como los plásticos que pueden provocar problemas de funcionamiento de los hornos.

El mantenimiento de este tipo de instalaciones es especialmente caro por dos razones; la primera es la heterogeneidad de los residuos, lo cual provoca variaciones importantes en

las condiciones de funcionamiento, la segunda es la necesidad de importar piezas, lo cual no solo encarece su costo sino que aumentan además los tiempos de detención de la instalación.

Deben considerarse con cuidado los costos futuros de explotación, ya que cabe esperar un importante aumento debido al costo de la energía necesaria para el funcionamiento de los ventiladores, electrofiltros, etc. Es por esto por lo que la línea a seguir en el futuro es la consideración de los incineradores como verdaderas centrales térmicas, utilizando un combustible, que aunque residual estará normalizado utilizando técnicas como son los pellets o granulados combustibles.

2.7.3.3.Técnicas de pretratamiento, almacenamiento y manejo

La recolección y pretratamiento local aplicado a los RSU puede influir sobre la naturaleza del material recibido en la planta incineradora. Los requisitos relativos al pretratamiento deben ser consistentes con el sistema de recolección existente. Los programas de recuperación y reciclaje pueden implicar que algunas reacciones hayan sido eliminadas.

Fracción eliminada	Impactos principales sobre el resto de los residuos
Vidrios y metales	Aumento en el poder calorífico.
	Reducción de la cantidad de metales recuperables en la escoria.
Papel, cartón y plástico	Reducción del poder calorífico
	Posible reducción en las cargas de cloro si el PVC es común.
Residuos orgánicos, como alimentos y residuos de jardín	Reducción en las cargas de humedad (particularmente de las cargas máximas)
	Aumento en el valor calorífico neto.
Residuos voluminosos	Menor necesidad de extracción/trituración de tales residuos.
Residuos peligrosos	Reducción en la carga de metales peligrosos
	Reducción de algunas otras sustancias, como Cl, Br, Hg.

2.7.3.4.Técnicas de tratamiento, control y reciclaje de residuos de incineración

Cabe hacer una distinción entre los residuos derivados directamente del proceso de incineración y los derivados del sistema de TGC. Pueden ser ceniza volante fina y/o productos de reacción y aditivos sin reaccionar. Esta última categoría suele denominarse residuos de Tratamiento de Gases de Combustión (TGC) o de Control de la Contaminación Atmosférica (CCA). Los residuos sólidos de los procesos de tratamiento del efluente del lavado (húmedo) suelen prensarse, formando un sólido denominado torta de filtro, o se mezclan con ceniza volante para minimizar el volumen o, para una mejor deshidratación,

con yeso de la planta. Además, puede recuperarse yeso y sal del sistema de tratamiento húmedo de gases de combustión.

El uso es posible si el material cumple una serie de criterios medioambientales y técnicos: combustión, reactividad general, lixiviación de metales, contenido salino, tamaño de la partícula y distribución del mismo.

Las medidas primarias para controlar la producción de residuos finales implican la optimización del proceso de combustión con el fin de:

- Garantizar una excelente combustión de los compuestos de carbono.
- Promover la volatilización de metales pesados como Hg y Cd fuera del lecho de combustible.
- Fijar los elementos litofílicios en la ceniza de fondo, reduciendo su lixiviabilidad.

Los sistemas de tratamiento secundario comportan una o más de las siguientes acciones:

- Reducción del tamaño, para permitir la segregación de los metales y mejorar la calidad.
- Segregación de metales férreos y no férreos, que pueden reciclarse en la industria metalúrgica.
- Lavado, a fin de eliminar las sales solubles.
- Envejecimiento, para estabilizar la estructura de la matriz y reducir la reactividad.
- Tratamiento con un aglomerante hidráulico o de hidrocarburo, para reutilización como pavimento en carreteras.
- Tratamiento térmico, para crear una matriz vítrea que contenga los metales inertes.

2.7.3.5.Mejores Técnicas Disponibles (MTD) genéricas para incineraciones

Representan un punto de arranque para el proceso de determinar técnicas y condiciones locales apropiadas y la optimización local de las circunstancias de la instalación, teniendo en cuenta esta guía sobre MTD y otros factores locales.

- Motivaciones ambientales locales, como la calidad del entorno, pueden influenciar el comportamiento local requerido con respecto a emisiones de la instalación, o disponibilidad de determinados recursos.

- La naturaleza particular de los residuos que se producen localmente y el impacto de la infraestructura de gestión de residuos sobre el tipo de residuos que llegan a la instalación.

- El costo y la posibilidad técnica de aplicar proceso en particular en relación con sus posibles ventajas, esto es de particular relevancia a la hora de considerar la eficacia de las instalaciones existentes.

- La disponibilidad, grado de utilización y precio de opciones para la recuperación/eliminación de los residuos finales producidos en la instalación.

- Al almacenamiento de residuos en tolvas cerradas, o en superficies estancas con desagüe controlado en naves cubiertas y cerradas con paredes.

- Cuando los residuos se apilen generalmente deben ser embalados o prepararse de otro modo para el almacenamiento, de modo que los riesgos de olores, vectores, suciedad, incendio y lixiviación queden efectivamente controlados.

2.7.3.6.Mejores Técnicas Disponibles (MTD) específicas para incineración de RSU

- El pretratamiento de los residuos a incinerar, a fin de mejorar su homogeneidad y por consiguiente las características de combustión y quema, mediante mezcla en el búnker o uso de trituración para residuos voluminosos, como muebles, que han ser incinerados, en la medida en que sea beneficioso de acuerdo con el sistema de combustión empleado. Los hornos de parrilla y rotativos requieren niveles más bajos de pretratamiento, mientras que los sistemas de lecho fluidizado requieren mayor selección y pretratamiento de los residuos a incinerar, lo que normalmente incluye la trituración completa.

- El uso de un sistema de parrilla que incorpore suficiente refrigeración de modo que permita la variación del suministro de aire primario con el fin de control de combustión, más que para el enfriamiento de la parrilla en sí. Las parrillas refrigeradas por aire con una buena distribución de aire son generalmente adecuadas para residuos de PCN de hasta unos 18 MJ/kg. Los residuos con PCN más altos pueden requerir refrigeración por agua (u otro líquido) a fin de evitar la necesidad de niveles excesivos de aire primario y de este modo poder controlar la temperatura de la parrilla y la longitud/posición del fuego sobre la parrilla.

- La ubicación de instalaciones nuevas de modo que se potencie al máximo el uso de cogeneración y el aprovechamiento del calor, de modo que se supere un nivel de exportación total de energía de 1,9 MWH/tonelada de RSU, en base a un PCN de 2,9 MWh/tonelada.

- Reducir en general la demanda eléctrica media de hasta menos de 0,15 MWh/tonelada de RSU procesado en base al mismo PCN.

- En situaciones en las que puedan exportarse menos de 1,9 MWh/tonelada de MSW, el mayor de:

    - La generación de una media anual de 0,4-0,65 MWh de electricidad/tonelada de RSU, en base a un VCN medio de 2,9 MWh/tonelada de residuos procesados, con suministro adicional de calor/vapor en la medida de lo practicable por las circunstancias locales, o

    - La generación de al menos la misma cantidad de electricidad de los residuos que la demanda media de electricidad de toda la instalación, incluyendo el pretratamiento de los residuos in situ y operaciones de tratamiento in situ de los residuos finales producidos.

2.7.3.7. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) específicas para incineración de RSU pretratados o seleccionados

En instalaciones nuevas o existentes, la generación del mayor de:

a) Una media anual general de al menos 0,6-1,0 MWh electricidad/tonelada de residuos (en base a un PCN medio de 4,2 MWh/tonelada), o

b) La demanda anual media de electricidad de toda la instalación, incluyendo operaciones in situ de pretratamiento de residuos a incinerar o de tratamiento de los residuos finales generados.

La ubicación de instalaciones de modo que:

a) Además de los 0,6-1,0 MWh/tonelada de electricidad producida, el calor y/o vapor puedan también utilizarse para cogeneración, de modo que en general pueda alcanzarse un nivel adicional de exportación térmica de 0,5-1,25 MWh/tonelada de residuos (en base a un VCN medio de 4,2 MWh/tonelada), o

b) Cuando no se genere electricidad, puede alcanzarse un nivel de exportación térmica de 3 MWh/tonelada de residuos.

Reducir la demanda de energía de la instalación y conseguir una demanda eléctrica media de la instalación (incluyendo pretratamiento de residuos a incinerar o de tratamiento de los residuos finales) hasta generalmente menos de 0,2 MWh/tonelada de residuos procesados en base a un VCN medio de 4,2 MWh/tonelada de residuos.

2.7.4.Análisis de ventajas y desventajas de los sistemas de valorización energética

En general, como denominador común, la principal desventaja de la aplicación de este tipo de procedimiento en la Provincia de Mendoza es que requieren una clasificación y tratamiento previo de los residuos que es algo que aún no ha sido implementado en la provincia.

Tabla 37: Comparación entre distintos procesos de valorización energética

Tabla 37: Comparación entre distintos procesos de valorización energética		
Proceso	**Ventajas**	**Desventajas**
Incineración	• Reduce el volumen en un 90%. • Destrucción total de patógenos, si opera a las temperaturas requeridas. • No hay necesidad de acondicionamiento previo de los residuos. • Se puede contar con sistemas móviles de incineración. • Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados.	• Produce gases contaminantes potencialmente peligrosos para la salud humana. Las principales sustancias producidas por una incineradora son: Cenizas, escorias y gases emitidos por la chimenea. Las dos primeras son residuos tóxicos con contenidos muy altos en dioxinas y metales pesados que deben llevarse a vertederos para residuos peligrosos. • Los gases emitidos por la chimenea contienen las siguientes sustancias: Materia particulada o micropartículas, Gases atmosféricos: óxidos de nitrógeno, Aerosoles ácidos y Anhídrido dióxido carbónico, Metales pesados, Dioxinas, furanos y policlorobifenilos, Hidrocarburos poli cíclicos aromáticos y productos desconocidos. Debido a la generación de todos es compuestos indeseables es que siempre debe estar

Tabla 37: Comparación entre distintos procesos de valorización energética		
Proceso	**Ventajas**	**Desventajas**
		asociado a este tipo de tratamiento un adecuado tratamiento de gases, lo que aumenta aún más la inversión inicial. • Disposición de escorias y cenizas. Además deberá tenerse en cuenta el contenido de metales pesados entro de las cenizas.
Biometanización	• Permite el tratamiento de fracciones orgánicas de diferentes procedencias. • Elevados porcentajes de eliminación de materia volátil (40-60%) (Vogt et al., 2002; Mata-Álvarez et al., 2000; De Baere, 2000) • Elevada destrucción de organismos patógenos y organismos parásitos: también produce la inactivación de algunos virus patógenos, según el tipo de éste, del proceso de depuración y de la temperatura (Turner y Burton, 1997). • Baja producción y estabilización de lodos (Carreras y Dorronsoro, 1999); • Alto grado de estabilización del vertido trabajando con altas velocidades de carga (Lissens et al., 2001) Alternativas de valorización y eliminación de RSU 42 Producto final • Baja generación total de sólidos biológicos: el producto final posee características similares al compost producido aeróbicamente (Tchobanoglous et al, 1993). Además, el producto final es inerte y rico en ciertos nutrientes y puede emplearse en agricultura como mejorador de suelo (Nopharatana et al., 2003; Chugh et al., 1999) • Eliminación de ácidos volátiles y otros compuestos fácilmente biodegradables, que contribuyen a disminuir la fitotoxicidad del residuo final (Flotats et al., 2000) • Buenas condiciones de deshidratación	• Altos costos de inversión • Dependencia de muchas variables que deben ser controladas en forma simultánea. La acidez del medio tiene una influencia acusada sobre la producción de biogás debido, fundamentalmente, a su efecto sobre la actividad enzimática de los microorganismos (Clark y Speece, 1989) y a su influencia sobre varios equilibrios químicos como el NH3/ NH4 +. El rango óptimo de pH se encuentra entre el 6,7 y el 7,6 (Jarabo, 1999), y se presentan problemas graves cuando se sale del rango 6-8,3 (Lay et al., 1997). Habitualmente, cuando se detectan fuertes variaciones de pH, el sistema ya ha fracasado irreversiblemente, por lo que no se considera al pH como una buena variable de control del proceso. • Requiere personal calificado para la operación.

Tabla 37: Comparación entre distintos procesos de valorización energética		
Proceso	**Ventajas**	**Desventajas**
	mediante un proceso de secado (van der Berg y Kennedy, 1981) Energía. • Alta producción de biogás compuesto fundamentalmente por CH4 y CO2 • Obtención de biogás susceptible de aprovechamiento energético y económico (Carreras y Dorronsoro, 1999) • Bajo consumo energético: la alta producción de biogás con elevado valor energético reduce significativamente los costes del tratamiento (Milán et al., 2001) • Reducción de la emisión de gases responsables por del efecto invernadero (ElFadel y Massoud, 2001)	
Pirólisis/Termólisis	• Es una tecnología que permite transformar a muchos procesos industriales lineales en cíclicos. • No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la incineración, sino que se generan formas residuales de sustancias como nitrógeno gaseoso y azufre sólido. El cloro y el flúor se reducen a cloruros y fluoruros que se pueden precipitar con calcio. • Se maneja todo tipo de material orgánico con alto valor calórico, inclusive mezclas de residuos domésticos e industriales peligrosos. d) Los residuos se transforma en una fuente de energía que en una pequeña proporción mantiene el sistema y el resto se puede utilizar en otras tecnologías complementarias. • Los residuos se pueden transformar, en algunos casos, en materia prima del proceso. • Permite tratar los lodos de las plantas de tratamiento y suelos contaminados con hidrocarburos u otros compuestos orgánicos y así ser transformados en ladrillos útiles para el hombre. • Los plásticos, aceites, disolventes orgánicos, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos, materiales	Esta técnica es de aplicación a la biomasa pero más dificultosa para los residuos urbanos por la aparición de compuestos orgánicos complejos en las diferentes fases, dificultando el aprovechamiento energético. No está muy extendida ya que necesita un mayor desarrollo tecnológico para su aplicación en el aprovechamiento energético a gran escala. Ocurre lo mismo con la termólisis. Además, la heterogeneidad del residuo genera tres subproductos, también heterogéneos en su calidad (gases combustibles, líquido combustible y sólido combustible) y alguno de ellos (el sólido), está contaminado. El principal problema que presenta la pirólisis en su utilización para producir biocombustibles líquidos es la necesidad de empleo de catalizadores para obtener un mayor rendimiento en el proceso

Tabla 37: Comparación entre distintos procesos de valorización energética		
Proceso	**Ventajas**	**Desventajas**
	contaminados con estos productos, se convierten en hidrocarburos ligeros limpios y carbón.	de refinado necesario para eliminar parte del oxígeno que se encuentra en la fase líquida obtenida del proceso (bioaceite) y obtener la gasolina "verde", lo cual encarece el sistema enormemente.
Gasificación	• Versatilidad en la valorización del residuo, ya que se puede aprovechar la energía que contiene en forma de calor, electricidad o como gas de síntesis para la obtención de productos químicos. • Buen rendimiento eléctrico, en el caso de que esa sea la vía más adecuada para el aprovechamiento del residuo. • Menor impacto ambiental.	La desventaja del proceso de gasificación de biomasa es que requiere de plantas industriales con altos costes de inversión y un aprovisionamiento de biomasa muy homogénea.

A continuación se agregan las ventajas y desventajas de los procesos de valorización térmica con relación a otros sistemas de tratamiento de los RSU.

<u>Ventajas</u>

- Disminución de la cantidad de residuos destinados a la disposición final.
- Generación de calor utilizable para otros procesos (calefacción, producción de electricidad).
- Reducción en volumen de la masa de residuos a disponer de aproximadamente un 80%.
- Posibilidades de generación de energía eléctrica, para distribución fuera de las instalaciones de tratamiento.

<u>Desventajas</u>

- Control estricto de la temperatura y de la emisión de partículas de gases.
- Requerimiento de mano de obra calificada, que reduciría la incorporación a las instalaciones de los actuales separadores informales de residuos.
- Problemas de operatividad debido a la composición variable de los residuos.

- Necesidad de pretratamiento, que puede incluir separación de algunos materiales y trituración.

- Emisiones de CO2, gases ácidos, metales pesados, COP (dioxinas y furanos), entre otros gases contaminantes, las cuales deben ser debidamente controlados.

- Generación de cenizas resultantes del proceso de combustión y cenizas volantes que quedan atrapadas en los filtros de tratamiento de gases, que son difíciles de gestionar y necesitan transportarse y disponerse en vertederos especiales para residuos peligrosos.

- Necesidad de estudios previos de los residuos a incinerar para la determinación del poder calorífico específico.

- Necesidad de contar con instalaciones secundarias para el tratamiento de los distintos gases de combustión.

- Generación de lodos, si se utiliza un sistema por vía húmeda para la eliminación de contaminantes atmosféricos.

- Complicaciones para la selección del sitio de emplazamiento, con aprobación de la población circundante.

- Elevados costos de inversión inicial y también de operación, debido a todos los sistemas auxiliares a utilizar y la gestión de los residuos peligrosos resultantes del proceso de incineración.

2.8.Propuestas de gestión de sistemas de recuperación y reciclaje

2.8.1.Planta de Separación de Residuos inorgánicos

En la implementación de una gestión integral de RSU, cuando se toman decisiones en cuanto a infraestructuras a construir, existe un consenso generalizado, que más allá del método que se adopte para la disposición final se debe tender a la disminución del volumen a disponer, a los efectos de aumentar la vida útil de estas infraestructuras.

Por otro lado la existencia de personas en estado de marginalidad, que desarrollan tareas de separación de residuos en los basurales a cielo abierto, también requiere un abordaje específico.

Por lo que, para poder plantear soluciones a ambas situaciones es necesario desarrollar acciones tendientes a la recuperación de residuos domiciliarios. Para el logro de este objetivo, se construyen las Plantas de Separación y Recuperación de RSU, que permiten por un laco reducir volúmenes de residuos para disposición final, en porcentajes tanto más altos como la complejidad de los procesos que se dispongan, partiendo de separación básica de papel y cartón, vidrios, plásticos (PET, PEAD, etc.) metales y otros, de acuerdo a su valor de reventa, hasta la realización de compostaje. En paralelo, estas infraestructuras permiten generar puestos de trabajo formal para aquellas personas que ya se vienen desempeñando en la tarea de separación de residuos, pero informalmente.

Esta incorporación de los separadores al circuito formal, permitirá mejorar sensiblemente sus condiciones de salud y asistencia, minimizando riesgos de enfermedades y accidentes.

La Planta de Separación de Residuos es una infraestructura que tiene como finalidad, la recuperación de los recursos contenidos en los residuos, a través de la separación mediante distintos métodos, de los materiales con potencial de reutilización. El funcionamiento ideal de las plantas de separación se produce cuando los residuos que ingresan a la misma, ya vienen separados en origen, ya que esto simplifica el proceso de separación y clasificación, permitiendo un trabajo más eficaz y la obtención de materiales de mejor calidad.

El proceso de capacitación para la separación de residuos en domicilio, es lento y se debe iniciar en sectores pequeños, en modo de piloto, para ir creciendo en forma gradual y programada. Por este motivo, se debe desarrollar un Plan de Comunicación específico para el caso, que permita ir obteniendo los resultados planteados.

Esta infraestructura necesita de un sitio adecuado para el desarrollo de la tarea, es decir una construcción con las dimensiones necesarias para la instalación de todo el equipamiento necesario, como así también la circulación de personal y equipos. Todo esto dentro de un espacio cubierto. A su vez, también requiere de un espacio descubierto de maniobras, debidamente impermeabilizado, por donde se realizará el ingreso de los camiones a las instalaciones y la descarga de los residuos.

2.8.1.1.Parámetros básicos de diseño de una Planta

- Capacidad de procesamiento
- Nivel de selección deseado
- Intensiva en mano de obra/Intensiva en mecanización
- Necesidad o no, de compostar residuos orgánicos.
- Fluidez de circulación de los materiales
- Limpieza y control de derrames

- Versatilidad para el manejo de diferentes tipos de residuos y flexibilidad para ampliaciones.
- Simplicidad de operación y tolerancia a mantenimiento inadecuado
- Enfasis en los aspectos de seguridad personal.

Existen diversos modelos de plantas de separación, tanto en su concepción general, como en el equipamiento que se incorporará a la misma. Es decir, que en cada caso particular, se deberá diseñar la planta, ajustada al contexto en el cual va a operar. A continuación se agregan algunas especificaciones sobre algunas opciones disponibles.

Con relación a su conformación general las plantas se clasifican en: con cinta de selección a nivel de piso; con cinta de selección con estructura elevada; sobre estructura elevada con zaranda trommel, entre otras variantes.

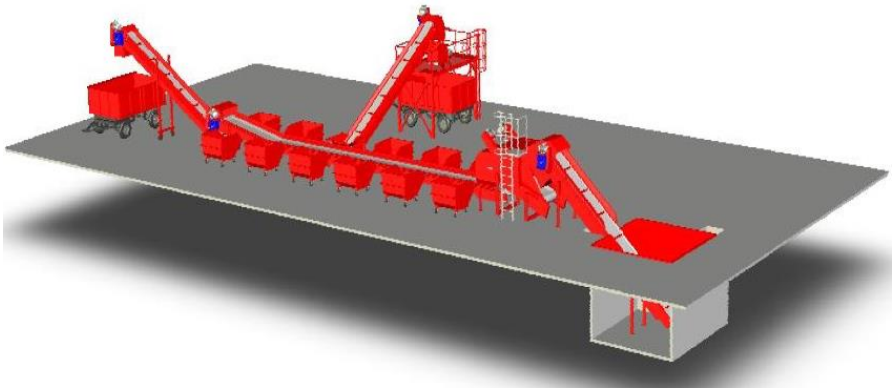


Figura 38: Esquema Planta con cinta de clasificación a nivel de piso

Las ventajas de la Planta a nivel de piso es que, se minimiza la obra civil y estructuras metálicas, con la consiguiente reducción de costos.

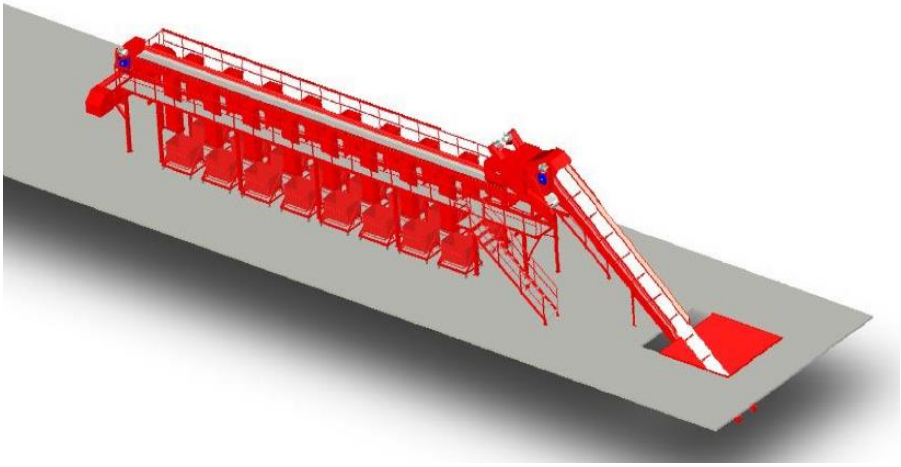


Figura 39: Esquema Planta con cinta de clasificación con estructura elevada

La Planta con estructura elevada tiene como ventaja principal la liberación de interferencias entre operadores de selección y de procesamiento para material seleccionado. Además, favorece el movimiento más fluido de los materiales seleccionados y produce una sensación de planta más limpia y espaciosa.

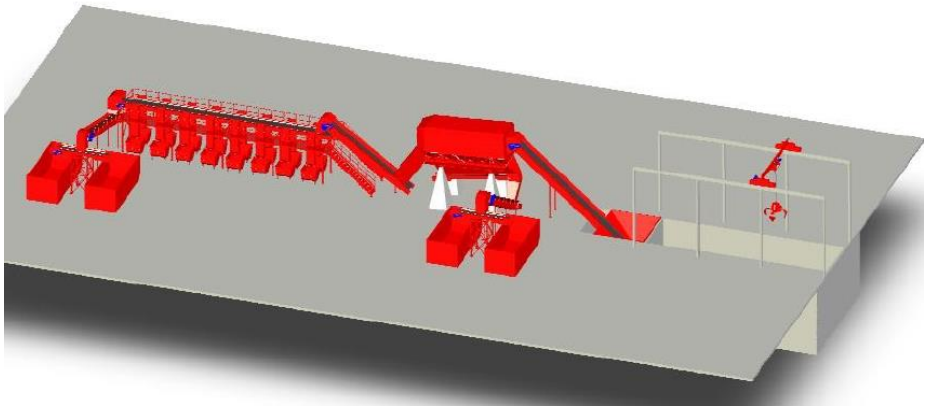


Figura 40: Esquema Planta sobre estructura elevada con zaranda trommel

Las plantas de estructura elevada con trommel, generalmente se utilizan para infraestructuras de gran capacidad donde se requiere separar las fracciones finas, para disminuir la cantidad de residuos que llegan a la cinta de clasificación.

2.8.1.2. Sectores de la Planta de Separación

Si bien no existe una división estricta de los sectores que componen una planta de clasificación, en un análisis preliminar podemos diferenciar:

- Sector de recepción y preclasificación
- Sector de clasificación primaria
- Sector de clasificación secundaria y manejo de productos clasificados
- Sector de preparación para el compostaje
- Sector de derivación de material no seleccionado
- Sector de procesamiento de residuos especiales

A continuación se agrega un esquema de funcionamiento de una planta de separación, con recepción de residuos mezclados, separación y trituración de orgánicos para compostaje, recuperación de inorgánicos y compactación de rechazo para su posterior traslado a disposición final.

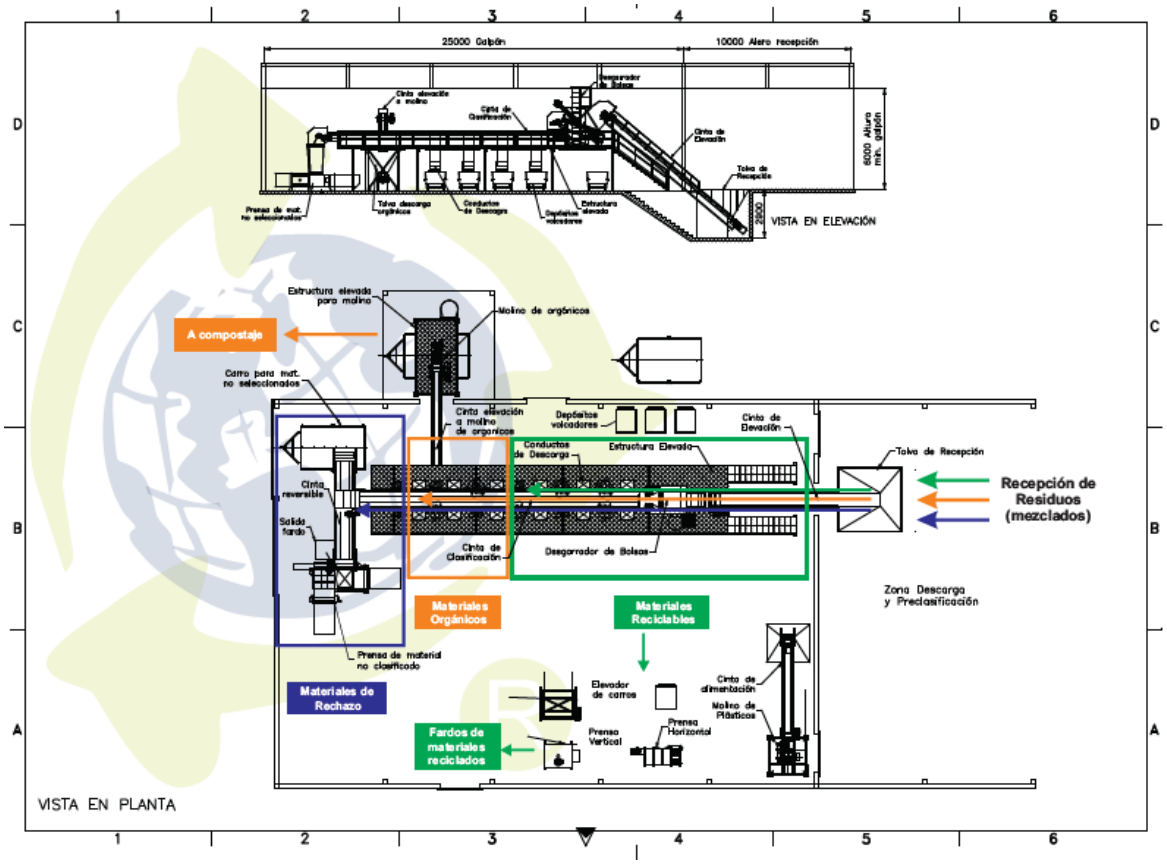


Figura 41: Sectores de operación de una Planta de Separación de RSU

- **Sector de Recepción y Preclasificación**

Comprende el sector de descarga de los camiones recolectores, de almacenamiento temporario y de carga a la línea de clasificación. El ritmo de alimentación de material a la línea es uno de los puntos más importantes en la definición de la capacidad real de procesamiento de una planta.

En este sector podemos destacar: el playón de descarga, la tolva de recepción y la cinta de elevación.

- *Tolva de recepción*: la tolva deberá ubicarse en un sector semicubierto de las instalaciones y tener una capacidad acorde a la cantidad de residuos a recepcionar. La tolva será alimentada por una pala cargadora que operará levantando los residuos descargados por los camiones recolectores en un sector específico de la playa de maniobras, y se comunicará con la cinta de selección, a través de una cinta de elevación.

  Las tolvas de formato piramidal combinadas con transportadores de extracción inclinados, presentan ventajas sobre las tolvas de base horizontal. Se recomienda que la boca de carga de la tolva se encuentre al mismo nivel que el playón de descarga, para facilitar la maniobra del equipo cargador.

  Teniendo en cuenta que la probabilidad de formación de bóvedas que interrumpan el flujo se incrementa con la presión a la que está sometido el material, no es aconsejable utilizar tolvas de gran profundidad.

Figura 42: Tolva de recepción

- **Sector de Clasificación Primaria**

Este sector comprende desde la cinta de elevación de residuos hasta la obtención de los materiales separados, al final de cinta de clasificación.

- *Cinta de elevación*: es la que permite elevar los residuos desde la tolva de recepción hasta la cinta clasificación ubicada sobre plataforma elevada.

Figura 43: Cinta de elevación de residuos

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los RSU ingresan a la planta dentro de un material sintético, se debe definir el tipo de apertura de bolsas y separación de materiales finos. Se pueden utilizar tres alternativas:

- Apertura manual de bolsas
- Apertura mecanizada de bolsas
- Apertura mecanizada de bolsas, con separación y transporte segregado de finos.

La apertura manual de bolsas es una técnica apropiada para plantas de pequeña capacidad, ya que esto minimiza la inversión inicial requerida. Este sistema requiere de la utilización de personal específico para la apertura de bolsas (lo cual implica un riesgo frente a la presencia de elementos punzantes o cortantes).

La apertura mecanizada de bolsas es apropiada para plantas de tamaño medio (superior a 3 tn/h), o en plantas donde se enfatice la seguridad de los trabajadores.

Los desgarradores de bolsas mediante cuchillas, constituyen una alternativa ventajosa, ya que evitan el deterioro del material contenido en la bolsa.

- *Desgarrador de bolsas*: colocado al extremo de la cinta de elevación y previo al ingreso de los residuos en la cinta de selección. Este equipamiento realiza la apertura mecánica de las bolsas.

Figura 44: Desagarrador de bolsas

La apertura mecanizada con separación y transporte segregado de material fino implica la colocación de un trommel de camisa perforada. Este equipo debe utilizarse en plantas de gran capacidad, donde la apertura de las bolsas requiere separar las fracciones finas para disminuir la cantidad de residuos que llegan a la cinta de clasificación. La inversión inicial es relativamente mayor.

Figura 45: Zaranda Trommel

Cinta de Clasificación

Las principales características de las cintas de clasificación son el ancho, la longitud y la velocidad de trabajo. El ancho es usualmente una variable asociada a la capacidad de procesamiento en la línea. No son aconsejables anchos inferiores a 0,6 m ni superiores a 1,20m.

La longitud debe definirse a partir de la cantidad de material a separar y de la capacidad de procesamiento de la línea. La velocidad de trabajo está asociada al nivel de serlección requerido (exhaustivo o básico)

- *Cinta de clasificación y estructura elevada*: para este proyecto, la cinta de selección deberá contar con al menos 20 puestos de trabajo, con los correspondientes conductos de descarga y los carros de recepción del material separado. La anchura máxima, cuando la separación se hace desde cualquiera de los lados de la cinta, es aproximadamente 1,20m. Las velocidades de las cintas varían de 0,075 a 0,45 m/seg.

Figura 46: Cinta de clasificación en estructura elevada

- *Separadores magnéticos:* estos elementos permitirán separar los elementos metálicos que ingresen en la masa de residuos, mediante la acción de imanes. Se basa en un sistema de cinta multietapa que emplea tres imanes. El primer imán se usa para atraer el material. El de transferencia se utiliza para llevar el material atraído alrededor de una curva y agitarlo. Cuando el material atraído llega a una zona donde no hay magnetismo, cae libremente, y cualquier metal no férreo atrapado contra la cinta por el metal férreo cae también. Entonces, el metal férreo es atraído de nuevo a la cinta por el último imán y se descarga a otra transportadora o a contenedores de almacenamiento.

Figura 47: Separador magnético

- **Sector de Clasificación Secundaria y manejo de productos clasificados**

Comprende los sectores de clasificación fina, limpieza y prensado o triturado de los materiales separados. Resulta fundamental para maximizar la valoración del material separado u ocupar mayor cantidad de personal.

Para el manejo de productos clasificados se pueden adoptar las siguientes alternativas:

- Acopio temporario en bolsones
- Acopio temporario en carritos de desplazamiento manual
- Acopio temporario en boxes situados bajo la plataforma de clasificación.

El acopio transitorio en bolsones tiene como ventaja la baja inversión inicial y gran flexibilidad para reorganizar puestos de trabajo. Las desventajas consisten en: mayores costos operativos asociados al reemplazo de bolsones deteriorados, a la necesidad de contar con un equipo cargador capaz de mover los bolsones y un manejo menos fluido de los materiales clasificados.

Este sistema es muy utilizado en plantas con bajo nivel de mecanización.

El acopio temporario en carritos de desplazamiento manual (depósitos), tiene la ventaja de la flexibilidad para reorganizar puestos de trabajo, con una inversión inicial moderada y que permite un manejo relativamente fluido de los materiales seleccionados.

- *Depósito receptor de material seleccionado*: son contenedores metálicos con ruedas, que se encuentran debajo de cada conducto de selección, para recibir el material que se está clasificando en planta y luego trasladarlo al sector de procesamiento final.

Figura 48: depósitos de recepción de material clasificado

Finalmente se presenta la opción del acopio temporario en boxes fijos situados debajo de la plataforma de separación, que tienen la ventaja de la gran capacidad de acopio y un manejo muy fluido de los materiales recuperados (especialmente si se los complementa con un sistema de extracción de material seleccionado mediante cintas transportadoras hacia las prensas compactadoras).

Proceso de residuos clasificados

El proceso usual para los residuos reciclables (latas, papel, cartón, plástico, trapos, etc.) es la compactación o el triturado. Para dichos procedimientos existen diferentes equipos, como: prensas verticales, prensas horizontales y trituradoras de plástico.

Equipos de compactación**:** con fines de diseño, los equipos de compactación se clasifican para el rendimiento en términos de tn/h. En el diseño de transportadoras y de equipos para la manipulación de materiales se debe prestar atención a la densidad bruta de los materiales entrantes y salientes. Aunque algunos materiales compactados, tales como el plástico o el aluminio, pueden tolerar la humedad, la mayoría de los materiales densificados deberían almacenarse en una zona cubierta protegida de la lluvia. Los criterios de selección más importantes son las características de los residuos que se van a compactar, el rendimiento del producto y las restricciones mecánicas de la instalación.

- *Prensa vertical:* destinada a la compactación de plásticos, papeles, cartones y trapos.
- *Prensa horizontal*: para presado de envases y latas.

Figura 49: Prensas vertical y horizontal

- *Trituradores de plásticos*: para el procesamiento del material plástico que se separe. Permite agregar valor al material a comercializar.

Figura 50: Molinos trituradores de plástico

- **Sector de preparación para compostaje**

Involucra el proceso de selección, limpieza y/o trituración del material orgánico destinado a compostaje. Existen dos formas principales de derivar el material:

- Por selección positiva: el material compostable es extraído de la cinta de clasificación y derivado a una trituradora de orgánicos, que permite obtener un compost de muy buena calidad.

- Por selección negativa: lo que llega al final de la cinta es el material que se composta.

Una alternativa para instalaciones de gran capacidad es la separación de la fracción de finos en un trommel zaranda, previo a la cinta de clasificación, y la selección positiva de orgánicos, derivándolos a un molino triturador.

- *Molino de orgánicos*: Cinta de derivación y molino de orgánicos, que permite la derivación de la materia orgánica a compostar por selección positiva o negativa, es decir antes de intresar a la cinta de clasificación o lo que llega al final de la cinta de clasificación.

Figura 51: Cinta de elevación y molino triturador de orgánicos

- **Sector de derivación de material no seleccionado**

Formado por equipos de derivación del material no clasificado, y la carga a los contenedores encargados de su traslado hacia las áreas de disposición final y compostaje.

Hay distintos tipos de salida:

- Descarga única: para plantas con baja capacidad, donde la detención de la línea durante el cambio de contenedor, camión o carro receptor del material de salida, no comprometa la capacidad diaria a procesar.

- Cinta transversal reversible: para direccionar la descarga hacia cualquiera de los dos lados de la línea de clasificación.

- Depósito pulmón elevado: para plantas con mayor capacidad, alimentado por una cinta fija, que durante los cambios de contenedor de mateiral no seleccionado, acumula en su interior todo el material llegado al sector de salida.

- *Depósito de transporte*: contenedores de recepción del material de rechazo, que permiten ser enganchados por un tractor, y trasladados al sector de relleno sanitario para su disposición final.

Figura 52: Contenedores de recepción de material de rechazo

2.8.1.3.Análisis de Ventajas y desventajas de las instalaciones de separación

Ventajas

- Reducción de la cantidad de material destinado a disposición final.
- Posibilidad de recuperación de recursos existentes en los residuos para su reuso o reciclaje.
- Posibilidad de generación de puestos de trabajo para personal no calificado, que permita la incorporación de los recuperadores informales de residuos al circuito formal de trabajo.
- Generación de ingresos adicionales por la venta de material recuperado, que permita la reducción de los costos de operación.
- Aumento de la eficiencia del proceso cuando se opere con material separado en origen.
- Aprobación social de este tipo de instalaciones, con relación a instalaciones de incineración.

Desventajas

- Baja eficiencia de las instalaciones cuando se opere con material mezclado.
- Necesidad de implementación de campañas de separación de residuos en origen.

- Generación limitada de puestos de trabajo en función de las características de la infraestructura diseñada.

- Elevados costos de inversión inicial y mantenimiento de las instalaciones. Pero menores, si se comparan con los costos de una incineradora.

- Necesidad de contar con un cronograma estricto de mantenimiento de equipos.

- Bajo nivel de desarrollo, a nivel provincial, del mercado de material reciclado. Puede resultar necesario su traslado a otras provincias para su comercialización.

- Bajos precios de compra del material separado.

2.8.2. Proceso de compostaje

El compostaje es un proceso de fermentación aerobia de la materia orgánica. Los pilares en los que se basa están muy definidos ya que el proceso está documentado desde el siglo I a.C. Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica natural utilizando la materia transformada como abono para los cultivos. El compostaje se define como un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo que para que se lleve a cabo necesita: materia orgánica biodegrable, población microbiana inicial que permitirá el desarrollo del proceso y condiciones óptimas para el mismo.

La técnica del compostaje se describe como biológica y oxidativa, ya que se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios que actúan de manera sucesiva sobre la materia orgánica inicial, produciendo una serie de reacciones que elevan la temperatura durante el proceso, reducen el volumen y el peso de los residuos y provocan la humificación y oscurecimiento. El esquema básico del proceso de compostaje se sintetiza en la siguiente figura.

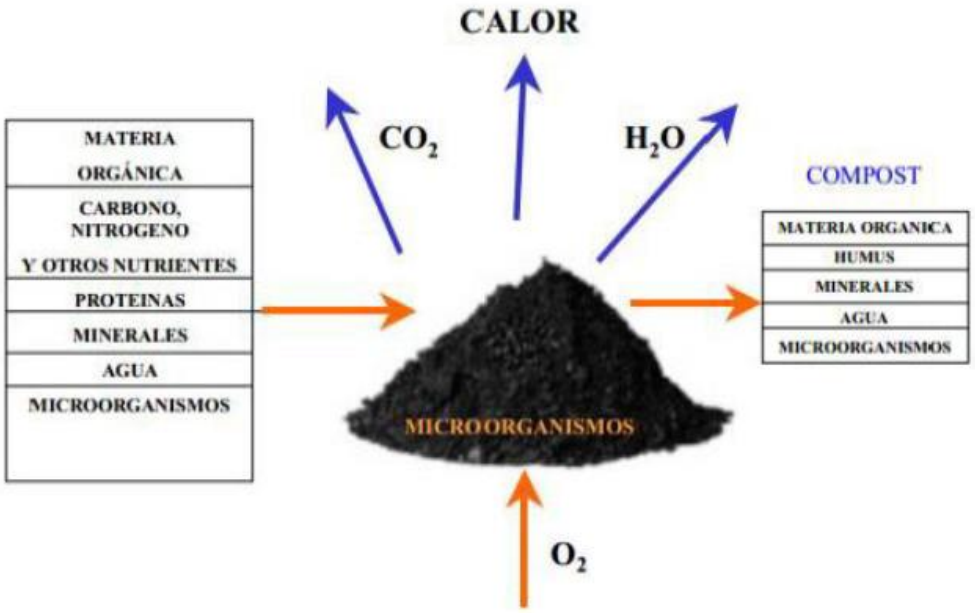


Figura 53: Esquema del proceso de compostaje

Los principales objetivos del proceso de fermentación de la fracción orgánica son:

- Higienización de la materia orgánica: se consigue la destrucción o reducción de los microorganismos patógenos y la inhibición de la capacidad germinativa de las semillas presentes en los residuos.

- Reducción de olores en el producto final, por la estabilización de la materia orgánica.

- Reducción del volumen de la materia original: reducción de masa y volumen, debido a la reducción del contenido de agua y a la pérdida de materia seca, principalmente en forma de CO_2.

- Estabilización y homogeneización de la materia orgánica, permitiendo su uso agrícola o en jardinería.

2.8.2.1.Necesidad del Compostaje

Ante el incremento de la generación de residuos y promovido por las políticas de reciclaje y valorización de residuos para el incremento de la vida útil de los sitios de disposición final, el compostaje se presenta como una tecnología sostenible para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos que permite la valorización de residuos mediante la degradación y estabilización de su contenido en materia orgánica, obteniendo compost, un abono natural.

Es una forma eficaz de reducir el volumen y alterar la composición física de los residuos sólidos y a la vez producir un subproducto útil. Esta transformación se lleva a cabo en cualquier casa mediante una compostera, sin ningún tipo de mecanismo, motor ni gasto de mantenimiento.

La basura diaria que se genera en los hogares contiene alrededor de un 50% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos. De cada 100 kg de basura orgánica se obtienen 30 kg de compost. De esta manera se contribuye a la reducción de las basuras que se llevan a los rellenos sanitarios o a las plantas de valorización al mismo tiempo que se consigue reducir el consumo de abonos químicos.

- **Factores que intervienen en el proceso**

Todas estas variables están influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuos a tratar, la técnica de compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y por su interacción.

Las variables más importantes que afectan al sistema de compostaje se clasifican en dos tipos:

1. Parámetros de seguimiento del proceso: aquellos que deben ser seguidos a lo largo de éste y controlados para que se sitúen entre los valores adecuados para que cada fase se desarrolle adecuadamente: la temperatura, la humedad, la aireación y el pH.

2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato: que han de ser medidos y adecuados para que sus valores sean los correctos fundamentalmente al inicio del proceso: el tamaño de la partícula y la relación C/N.

Actualmente se hace necesario el control tanto del proceso de producción (compostaje) como del producto final (compost) para garantizar una óptima calidad y mínimos costos.

Temperatura

Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso de compostaje, dado que es un indicador de la actividad biológica de los microorganismos. La evolución de la temperatura es un claro indicador de la evolución del compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de ésta afectan de manera determinante a la actividad microbiana en mayor proporción que otros factores como el pH, humedad o C/N. Asimismo, existe una clara relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura

ha sido alta. A veces, ésta ha llegado a ser tan elevada que inhibe el crecimiento de los microorganismos, produciéndose el fenómeno de suicidio microbiano.

Cada microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptimo en el cual desarrolla de manera eficaz su actividad: entre 15-40ºC se desarrollan correctamente los mesófilos y entre 40-70ºC los termófilos. Así, los microorganismos que resulten beneficiados a una temperatura concreta son los que principalmente descompondrán la materia orgánica.

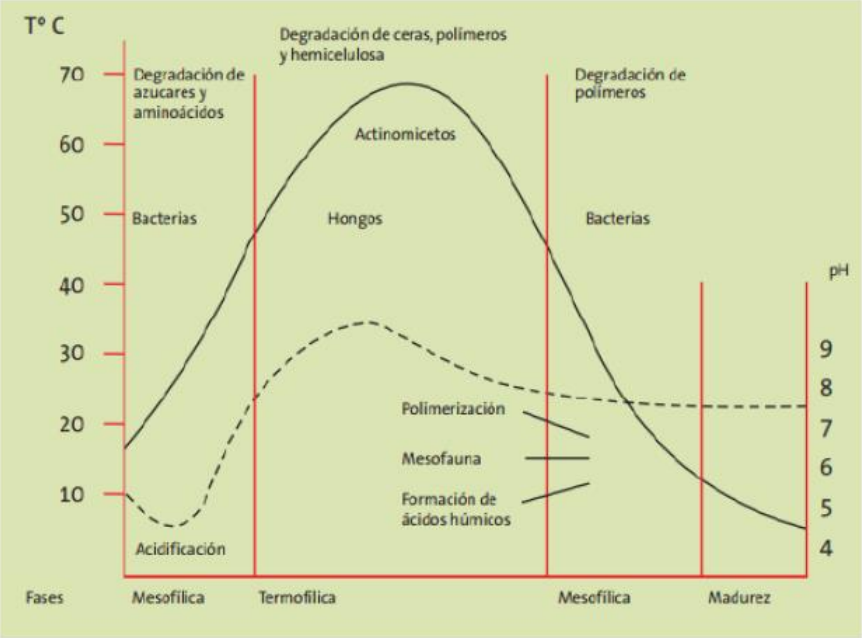


Figura 54: Evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración.
Fuente: Mustin, 1987

Humedad

Al ser el compostaje un proceso biológico de descomposición, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos.

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa para que así permita la circulación tanto del oxígeno como de otros gases producidos en la reacción. La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70% y depende del tipo de residuos. La actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; y por encima del 70% el agua consigue desplazar al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y generando condiciones anaerobias, que dan lugar a malos olores y a una disminución de la velocidad del proceso. El exceso de humedad puede reducirse aumentando la aireación, mediante el volteo o la adición de aire.

pH

Varía durante el proceso del compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Se trata de un parámetro imprescindible a la hora de evaluar el ambiente microbiano y la estabilidad de los residuos.

La evolución de pH presenta tres fases principales:

- Fase mesófila inicial: con una disminución del pH (entre 5 y 8) que ocasiona la liberación de ácidos orgánicos. (T<45ºC), al final de la cual se producen ácidos orgánicos.

- Fase termófila: se caracteriza por una alcalinización del medio (pH entre 6-7,5), debido a la descomposición de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. (T >45ºC).

- Fase mesófila final: tiende a la neutralidad (pH 7-8) debido a la formación final de compuestos húmicos que poseen propiedades tampón, considerándose finalizado el proceso cuando alcanza de nuevo la temperatura inicial.

Es conveniente que el proceso de compostaje se desarrolle en un intervalo de pH 6,5 a 8,5. Un valor de pH cercano al neutro (pH 6,5 – pH 7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino, asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH menores que 5,5, pueden inhibir el crecimiento de la gran mayoría de los microorganismos, y valores marcadamente alcalinos también pueden ser agentes inhibidores del crecimiento microbiano, porque disminuye la disponibilidad de los nutrientes para los organismos.

Aireación

La necesidad de aireación en el proceso de compostaje es imprescindible para asegurar el desarrollo de los microorganismos aerobios. Los niveles óptimos de oxígeno se sitúan entre el 5% y el 15%. Niveles de oxígeno menores que 5% pueden provocar condiciones anaerobias, mientras que niveles mayores que 15% pueden dar lugar a pérdidas de calor y a una mínima destrucción de los organismos patógenos.

No existen frecuencias preestablecidas de aireación, por lo que se recomienda airear cuando comienza a descender la temperatura, después de alcanzar su valor máximo en la etapa termófila. El movimiento del material por volteo hace descender la temperatura de la unidad, que paulatinamente vuelve a aumentar hasta completar una nueva etapa termófila.

Tan importante es la mala aireación del proceso, por los posibles problemas de anaerobiosis, como el exceso de ventilación que puede ocasionar el enfriamiento de la masa y una alta desecación que ocasionaría la reducción de la actividad metabólica de los microorganismos, pérdida de calor y la volatilización del amoníaco. La insuficiente aireación provocará condiciones anaerobias, putrefacción, elementos tóxicos, lixiviados, malos olores, sustitución de los microorganismos por otros propios del proceso anaeróbico, produciendo la acumulación de ácidos orgánicos ya que estos en lugar de oxígeno utilizan nitratos (NO_3), sulfatos y carbonatos para obtener energía produciendo H_2S y CH_3 retardando el proceso de 4 a 6 meses.

Tamaño de partícula

La estructura física y el tamaño de los residuos que componen la masa a compostar influyen directamente en la optimización del proceso, afectando a la aireación, la temperatura y la duración del mismo. Conviene evitar condiciones extremas en el grado de división de los materiales. Para ello se recomienda reducir los residuos grandes mediante el uso de trituradoras y mezclarlos con materiales auxiliares de menor tamaño con el fin de obtener una estructura de porosidad adecuada para evitar la compactación de las unidades de compostaje y mejorar la capacidad de intercambio gaseoso.

Las dimensiones consideradas óptimas varían según los criterios de distintos autores: 1-5 cm (Haug, 1993), 2-5 cm (Kiehl, 1985), 5,5-5,7 (Tchobanoglous et al, 1996).

Relación Carbono-Nitrógeno

Expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene la materia orgánica. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica de los mismos. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorece un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos. Estos suelen utilizar aproximadamente 30 partes de C por cada parte N, por ello se considera que una buena relación de ambos elementos para el desarrollo del compostaje debe estar entre 25-30.
Es un indicador de la velocidad de descomposición y permite una determinación del tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas.

Si la relación C/N es superior a 35; disminuye la actividad biológica, el proceso de fermentación se alarga hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a niveles que permiten un metabolismo adecuado. Si la relación C/N es muy baja, se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Si el material a compostar presenta una relación C/N inicial diferente al intervalo recomendado, es conveniente

mezclar con otros materiales. Los residuos de origen vegetal presentan mayor relación C/N que los residuos de origen animal por lo que combinarlos es habitual.

2.8.2.2.Sistemas de Compostaje

Existen diferentes sistemas de compostaje, siendo el objetivo de todos transformar los residuos en un material húmico estable y alcanzar las condiciones necesarias para eliminar los microorganismos patógenos, hongos, esporas, semillas y otros organismos indeseables en el producto final. De esta manera obtendremos un material estabilizado y con unas características que nos permitan aplicarlo al suelo y/o comercializarlo.

Los sistemas de compostaje se diferencian por la forma de incorporación del aire, el control de la temperatura, la mezcla o el volteo del material y la duración del proceso. La selección del sistema, dependerá de las necesidades, los recursos disponibles y las condiciones ambientales, entre otros.

- **Sistemas Abiertos**

Son los sistemas más tradicionales de compostaje y se aplican en zonas rurales y, en general, donde el terreno es amplio. Son de bajo costo y tecnología relativamente sencilla.

En estos sistemas de compostaje la masa de residuos se dispone como una pila o hilera. La altura ideal de una pila se determina por su capacidad para producir y mantener la temperatura necesaria y permitir que el oxígeno llegue al punto central de la masa de compostaje.

Generalmente la altura varía entre 1m y 3m, con un ancho de hasta aproximadamente 4-5 m.

Pilas o hileras volteadas: es el sistema más generalizado, pero da lugar a un proceso lento ya que es un sistema discontinuo. Se basa en la formación de pilas, agrupando los residuos en montones que generalmente adoptan forma triangular. Estas pilas necesitan una estructura porosa y estable durante el proceso de compostaje. Se utilizan para descomponer lentamente materiales como poda de árboles, malezas, cortezas, astillas y otros materiales voluminosos provenientes de la actividad agrícola y paisajística.

Es un método económico y fiable si se dispone de tiempo y espacio, y requiere un mínimo de atención. Se mezclan pilas de sección triangular o trapezoidal. Suelen tener de base entre 3 y 5 metros y de altura unos 2-2,5 metros. La longitud es variable.

La principal desventaja de estos sistemas es la dificultad de mantener un nivel de oxígeno constante, ya que sufre fuertes oscilaciones dependiendo de la frecuencia de los volteos y en algunos casos puede caer por debajo del 8% de O_2. La frecuencia de los volteos

depende del tipo de materiales a compostar, de la humedad y de la rapidez con la que se desea que se realice el proceso, por lo que se deben realizar controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo.

Para la elección del tamaño de la pila ha de tenerse en cuenta la proporción de materiales fácilmente degradables presentes en el residuo y en la estructura y porosidad del mismo. La primera marca la tasa de consumo de oxígeno una vez que el proceso esté en marcha y la segunda, la capacidad de reposición de oxígeno a través de los poros del material en descomposición, así como la distribución del calor generado en la fermentación.

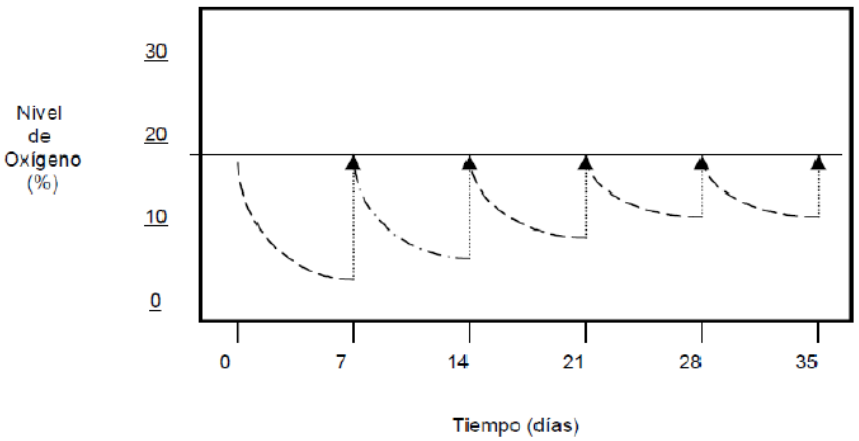


Figura 55: Nivel de oxígeno durante el compostaje en una pila volteada semanalmente. Fuente: Gasser, 1985

Figura 56: Volteadora trabajando en campo

Pilas estáticas con aireación forzada: Este método fue desarrollado en los años sesenta en los Estados Unidos por primera vez por investigadores del Departamento de Agricultura, en Belstville, Maryland. Se coloca el material a compostar en hileras sobre un conjunto de tubos perforados o una solera porosa. Un flujo de aire de 0,2 m^3/min/t es suficiente para proveer de una concentración de oxígeno del 15% a un compost compuesto de lodo de depuradora y de virutas de madera. Para reducir los problemas de olor, el aire se puede pasar por una pila de compost madura que actuará como filtro.

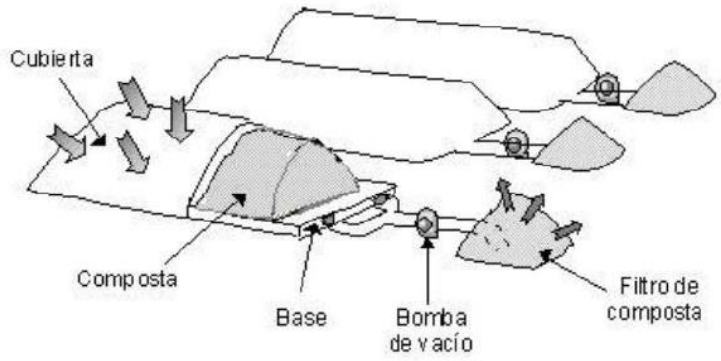


Figura 57: Sistema de compostaje en pilas estáticas aireadas.
Fuente: Rynk et al, 1992

La aireación forzada suministra O_2, enfría la pila y elimina vapor de agua, CO_2 y otros productos de descomposición. La pila no se moviliza hasta que la etapa del compostaje ha terminado.

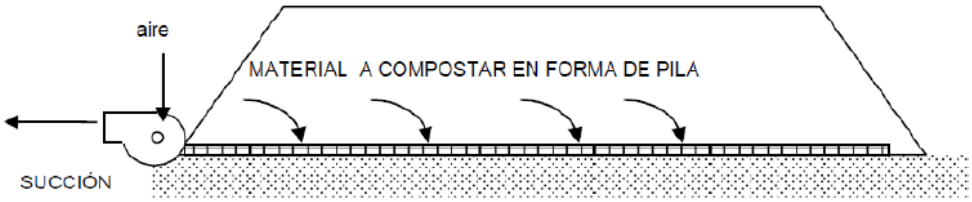


Figura 58: Sistema de pila estática con aireación forzada por succión

Los componentes de una pila estática aireada incluyen una red de distribución de aire, una capa base de un material con elevada porosidad, el material a compostar, una capa externa de material estable (compost maduro) de 18-30 y un sistema de control y suministro de aire. Esta capa exterior aísla la tubería, separa las moscas y otros insectos del material a compostar, y ayuda a retener olores, el NH_3 y el agua.

La altura de las pilas oscila entre 3-4 m, estando limitada por el equipo que forma las pilas y por el peso de los materiales que se pueden compactar en la parte inferior y provocar problemas de aireación. La anchura y la longitud son variables dependiendo de la configuración de la instalación.

Algunos equipos que se utilizan en el proceso de compostaje abierto

- *Removedor de Compost*: este equipo permite reducir el tiempo de compostaje, debido a su gran capacidad de volteo, que al acelerar los procesos optimiza los espacios ocupados. Existen los accionados por tractor y los autopropulsados.

Figura 59: Removedor de Compost

- *Zaranda para compost:* este equipo permite el tamizado del material ya madurado, provenientes del sector de operación del compostaje, para su posterior embolsado o retiro a granel.

Figura 60: Zaranda para compost

- *Chipeadora:* permite convertir ramas y troncos en pequeños “chips” que facilitarán el traslado, y la posterior utilización de los mismos, en coberturas o compostaje. La reducción del tamaño es de aproximadamente el 90%.

Figura 61: Chipeadora

Sistemas combinados: La combinación de la aireación forzada y el volteo mejora las condiciones y acelera el proceso de compostaje en comparación con los sistemas que solamente se voltean o airean con ventiladores.

- **Sistemas Cerrados**

Los residuos se procesan en instalaciones estáticas o dinámicas, que se conocen como reactores. Estos sistemas van desde recipientes simples hasta sistemas muy complejos que combinan agitación mecánica y aireación forzada. Los materiales son introducidos en un recipiente o contenedor diseñado a tal fin, en el cual se desarrolla la fase activa o termófila del proceso.

Pueden ser verticales u horizontales, los horizontales a su vez pueden configurarse en canales, celdas, containers o túneles, y según incorporen funciones de mezclado, pueden ser estáticos o dinámicos.

Son estructuras por lo general metálicas, de forma cilíndrica o rectangular, donde se mantienen controlados determinados parámetros: la humedad, la aireación, la temperatura, etc. Este tipo de sistemas permite acelerar las etapas iniciales del proceso, aquellas que son biológicamente activas que se incluyen dentro de la fase de fermentación. Cuando estas etapas finalizan, el material se retira del reactor y se acopia para que se cumpla la maduración al aire libre o en naves abiertas. Los sistemas de compostaje en reactores, en general, son sistemas industriales y sus costos son elevados. En todos ellos se disponen de un sistema de depuración de olores mediante biofiltro de compost y una recirculación de los lixiviados.

Una de las ventajas de estos sistemas es que reducen considerablemente las superficies de compostaje y logran un mejor control de los parámetros de fermentación y de los olores. Aunque requieren costos de instalación superiores a los sistemas abiertos, presentan la ventaja de ser más rápidos.

Reactores de flujo vertical

Reactores verticales continuos: El material a compostar se encuentra en forma de masa única. Están formados por reactores de 4-10 m de altura, con un volumen total de 1.000 a 3.000 m^3. El biorreactor consta de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. El material se introduce por la parte superior mediante un tornillo alimentador. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida. En la parte superior se encuentra el mecanismo mediante el cual se pueden filtrar los gases con malos olores.

El tiempo de residencia se estima en 14 días, tras los cuales el compost estará estabilizado. Estos sistemas minimizan el área requerida y pueden no incluir un mecanismo de volteo. Su principal inconveniente es el elevado costo de construcción en relación a las pilas estáticas, pero presenta una baja relación costo por unidad de volumen de trabajo.

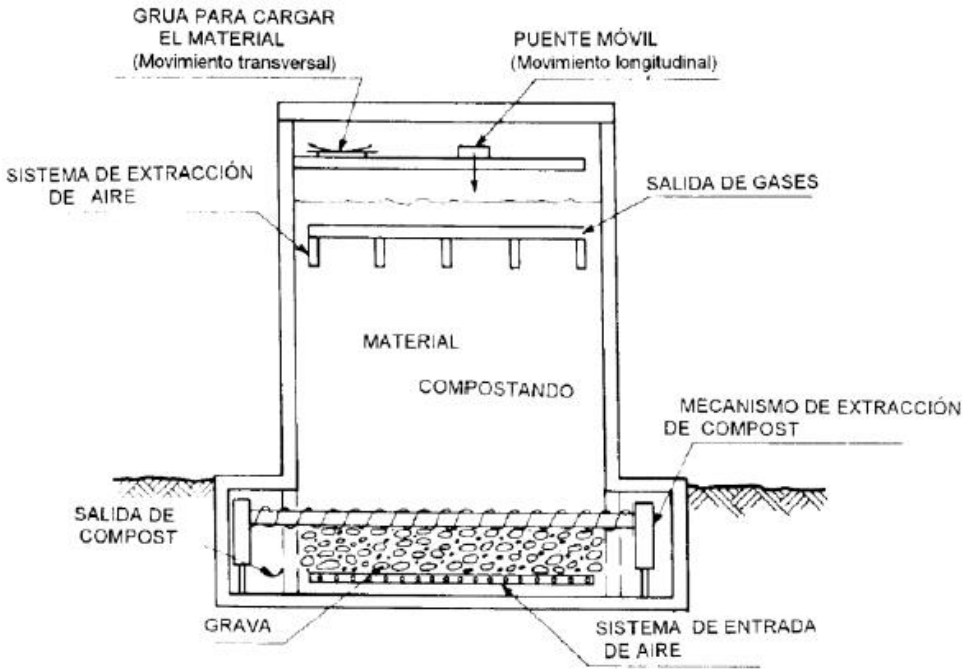


Figura 62: Reactor de lecho empaquetado tipo silo.
Fuente: Saña y Soliva, 1987

Reactores verticales discontinuos: Constan de un depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles (cada nivel tiene de 2 a 3 m de altura), con un sistema de aireación forzada. Los residuos a compostar se colocan en el piso más alto y

mediante dispositivos mecánicos se voltean a la vez que se van descendiendo al piso inferior.

La humedad requerida para llevar a cabo el proceso se consigue, bien por evaporación del agua del material situado en los niveles inferiores, la cual se encuentra a una mayor temperatura, bien mediante un sistema de suministro de agua. Cuando la materia orgánica ha descendido al último piso se da por concluida la fermentación y el compost está preparado para la fase de maduración.

El tiempo en el fermentador es de una semana aproximadamente. El inconveniente de este tipo de reactores es el elevado costo de instalación y de mantenimiento.

Reactor circular: Presentan un diámetro de 6 a 36 metros y una altura de 2 a 3 metros. El material a compostar se introduce por la parte superior del reactor, la aireación se realiza por la parte inferior y la masa se voltea mediante un brazo giratorio. La salida del material se realiza por el centro de la base. El tiempo de residencia en el reactor es de 10 días.

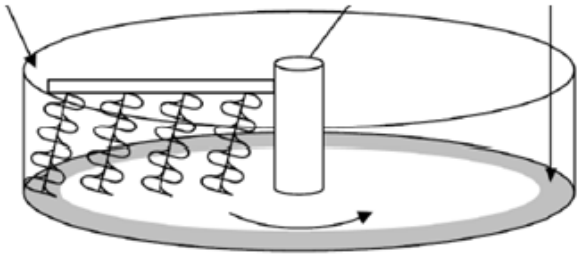


Figura 63: Reactor circular de lecho agitado.
Fuente: Haung, 1993

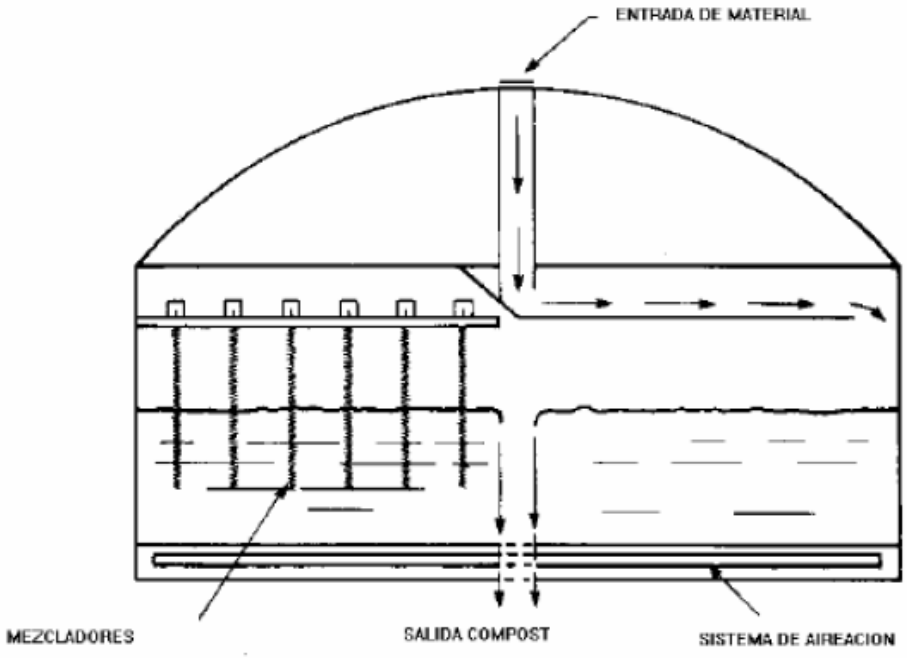


Figura 64: Reactor circular dinámico
Fuente Saña y Soliva, 1987

Compostaje en cajones (Bin composting): Es el sistema más simple dentro de los denominados sistemas tipo tanque (In-Vessel systems) y se utilizan de forma doméstica. Al estar cubiertos, resuelven el problema de exceso de agua por lluvia o nevadas, contienen olores y permiten el control de la temperatura. Pueden funcionar como una pila estática aireada, incluyendo alguna forma de aireación, o disponer de un mecanismo de volteo.

Figura 65: modelos cajones para compostaje

Reactores horizontales

Se dividen entre aquellos que poseen un depósito rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación y los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos.

Canales rectangulares de agitación (Trinchera): Se combina la aireación controlada y los volteos periódicos, además de poder incluir un sistema de riego. Frecuentemente se instalan bajo techo.

El compostaje se produce entre paredes que forman largos canales rectangulares o trincheras, cuyas dimensiones son 2-6 m de ancho, 1-3 m de profundidad y 30 m o más de largo. Estos canales tienen adosado un sistema de volteo que se desplaza mediante rieles ubicados en la zona superior de las paredes. La aireación normalmente se proporciona mediante un sistema de cañerías ubicadas en la base de los canales. Pueden operarse de manera continua o en lotes. El tiempo estimado para el compostaje en estos sistemas va de 2 a 4 semanas más un tiempo de maduración.

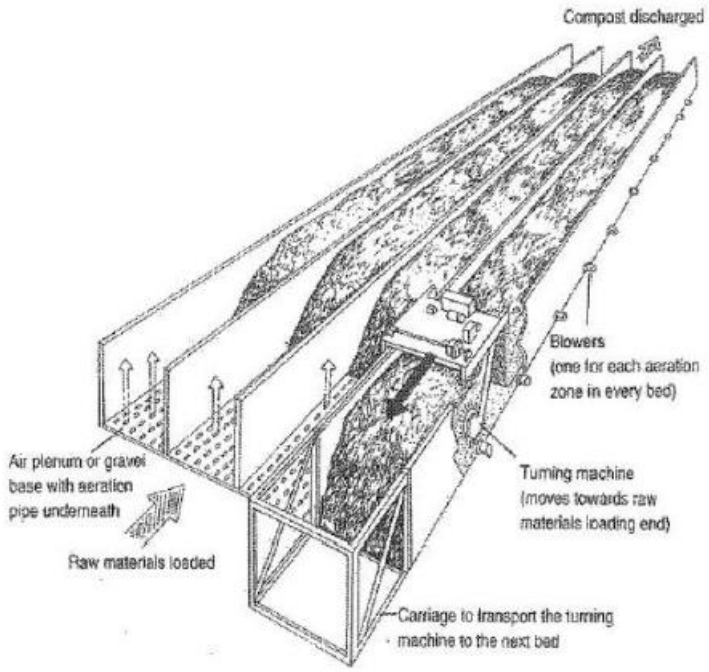


Figura 66: Sistema de compostaje en canales o trincheras
Fuente: Rynk et al, 1992

Tambores Rotativos: Permiten el mezclado, aireación y movimiento del material a lo largo del sistema. Normalmente no incluyen un mecanismo de aireación forzado, pero sí mecanismos de control del oxígeno y humedad. El aire se introduce por el extremo del

reactor por el cual se descarga el material estabilizado. También pueden incluir un mecanismo de riego.

Las dimensiones de los reactores oscilan entre 30-45 m de longitud y 2-4 m de diámetro. El tiempo de residencia está determinado por la inclinación del tambor y la velocidad de giro del mismo. Un tambor preparado para una carga diaria de 50 t (3 m de diámetro y 36m de largo) tiene un tiempo de residencia aproximado de 3 días, tras el cual debe completar el proceso en la etapa de maduración.

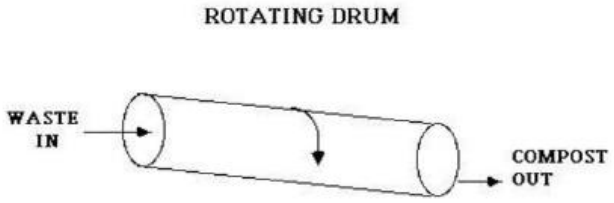


Figura 67: Tambor rotativo

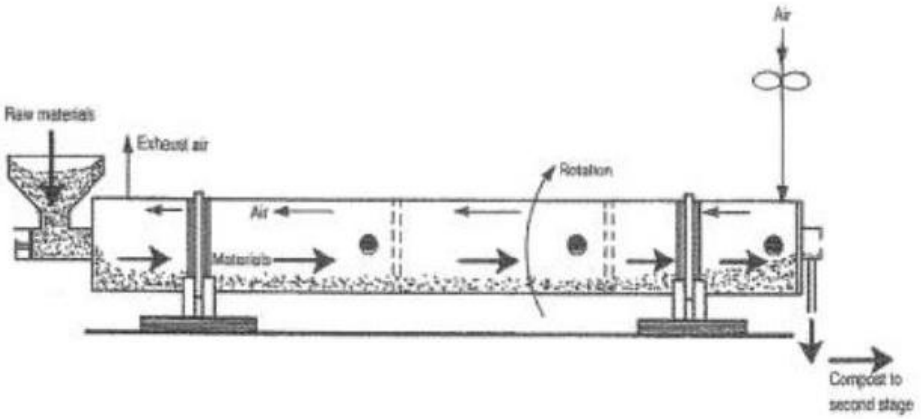


Figura 68: Esquema de compostaje en tambores rotativos
Fuente: Rynk et al, 1992

Contenedores con lecho de sólidos estático: Se trata de un túnel de flujo pistón de sección transversal rectangular. El volumen del reactor puede oscilar entre 10 y 500 m^3. Se construyen generalmente de hormigón armado y acero. Los túneles suelen tener una longitud de 30 a 59 metros y una anchura y altura de 4 a 6 metros. La ventilación es controlada por impulsión o aspiración. En un extremo se sitúa una placa de empuje con movimiento hacia adelante y hacia atrás. Al avanzar dicha placa, el compost se descarga del túnel; la carga diaria de residuos a compostar se coloca en la zona vacía creada al moverse el pistón.

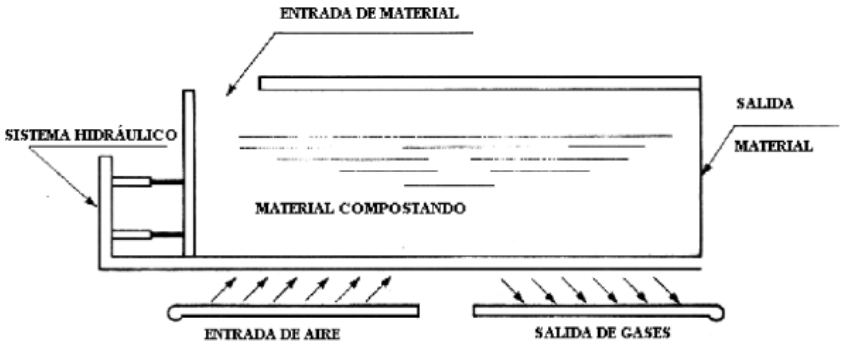


Figura 69: Reactor tipo túnel
Fuente: Saña, 1987

Túneles Estáticos: Se trata de recipientes rectangulares con una capacidad volumétrica que varía entre 20 y 40 m3. Frecuentemente se instalan en módulos, con los cuales se puede dar tratamiento a 3000-5000 tn/año (configuración de 6 a 8 contenedores en módulo). La aireación es forzada desde la base del contenedor y después de atravesar la masa de compostaje es recolectado y tratado en filtros. Cuentan con un sistema de riego, y en caso de exceso de humedad, ésta es removida por gravidez mediante perforaciones en la base del contenedor. El tratamiento típico se realiza por lotes, siendo el tiempo de residencia de 8-15 días, seguido por un período de maduración.

Figura 70: Compostaje en contenedores a gran escala

2.8.2.3.Análisis de Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de compostaje

La utilización de algún sistema de recuperación de material orgánico en las instalaciones de tratamiento y disposición final de RSU, resulta necesaria debido a que la composición general de los residuos en nuestro país, presenta un alto porcentaje de materia orgánica, por lo cual resulta necesaria la reducción de la masa destinada a la disposición final.

A continuación se plantea una comparación entre los sistemas de compostaje abiertos y cerrados.

- **Sistemas Abiertos**

Ventajas

- Bajo costo de inversión inicial y bajo costo de operación.
- No se requiere de personal altamente calificado, por lo cual permite la generación de puestos de trabajo para los actuales separadores informales de RSU.
- Si se utiliza material verde en la composición de la mezcla, se pude generar un compost de alta calidad que permita su comercialización.
- Sistema adecuado para climas cálidos y secos.

Desventajas

- Requiere de mayor disponibilidad de superficie para su desarrollo.
- Tiene limitaciones climáticas (zonas muy lluviosas y ventosas).
- Mayor tiempo para la obtención del material maduro.
- Necesidad de control de olores y lixiviación.
- Necesidad de controles permanentes de desarrollo del proceso (humedad, temperatura y aireación), a los efectos que no se produzcan interrupciones del proceso.
- Necesidad de equipamiento adicional si se quiere acelerar el proceso de maduración (removedores, aireadores, regadoras).

- **Sistemas Cerrados**

Ventajas

- Sin condicionamientos climáticos, ya que se realiza en recintos cerrados.
- Mayor control de olores y procesos de lixiviación.
- Menor tiempo necesario para la obtención del material maduro.
- Garantiza las condiciones de humedad y aireación necesarias, sin el requerimiento de un control tan estricto como el requerido en los sistemas abiertos.
- No requiere de mucha superficie para su desarrollo.

Desventajas

- Mayores costos de inversión inicial y de mantenimiento de las instalaciones.
- Requiere de personal con mayor calificación, lo que implicaría la disminución en la generación de puestos de trabajo destinados a los separadores informales de residuos.

2.9.Propuestas de alternativas de transferencia de residuos

2.9.1.Transferencia de residuos

El propósito de los sistemas de transferencia es recibir los residuos sólidos de vehículos recolectores para transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y así ser transportados a la planta de tratamiento o al sitio de disposición final, estos grandes vehículos suelen ser camiones semi-trailer, vagones de ferrocarril o barcos.

En la actualidad el sistema de transferencia para RSU se está volviendo una instalación necesaria en las grandes ciudades, debido al continuo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final.

Los camiones de transferencia, generalmente transportan una carga útil aproximada de 20 a 25 toneladas de residuos, y reciben un promedio de cinco o seis vehículos recolectores. Las principales ventajas que presenta un sistema de transferencia se describen a continuación:

- Disminución de los costos globales de transporte y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección.

- Reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final.

- Aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores.

- Incremento de la eficiencia del servicio de recolección, por medio de una cobertura más homogénea y balanceada en las rutas de recolección.

- Mayor regularidad en el servicio de recolección, debido a la disminución de desperfectos de ejes, muelles, suspensiones y llantas que sufrían al transitar hasta el sitio de disposición final.

- Reducción de la contaminación ambiental.

- Se reducen las afectaciones a la salud pública.

2.9.2.Tipos de Estaciones de Transferencia

Las estaciones de transferencia han ido surgiendo a nivel mundial debido a la problemática de la recolección de residuos y a partir del análisis costo-beneficio ya que se observó que los costos de recolección se elevaban y los tiempos que se hacían hasta el sitio de disposición final eran muy grandes y no se cubrían las necesidades de recolección a la población. Entonces se pensó en las Estaciones de Transferencia para que los vehículos recolectores se concentraran y depositaran los residuos en otros vehículos de mayor capacidad y estos son los irían al sitio de disposición final.

Han surgido diferentes maneras de verter los residuos a las transferencias, las cuales también han ido mejorando por las necesidades y experiencias obtenidas en los diferentes países del mundo.

A continuación se enuncian y describen tres tipos de los más prácticos y comunes.

- Estaciones de descarga directa
- Estaciones de descarga indirecta
- Estaciones combinadas (carga directa y carga indirecta)

2.9.2.1.Estaciones de descarga directa

Este sistema de transferencia de descarga directa consiste en el trasbordo de los residuos sólidos de los vehículos recolectores mediante vaciado por gravedad a una batea descubierta, con una capacidad que varía de 20 a 25 toneladas. Este tipo de estaciones recibe a los vehículos recolectores, los cuales son registrados y pesados, posteriormente se dirigen a las rampas de acceso al patio de maniobras donde se ubican las líneas de servicio, las cuales cuentan con un número determinado de servidores (tolvas), que descargan los residuos al vehículo de transferencia. Paralelamente los vehículos de transferencia se colocan en el patio de carga, una vez llenos, se realiza el despunte para posteriormente colocar la lona que cubre los residuos, para que no se dispersen en el traslado al sitio de disposición final.

Este tipo de estaciones tienen la característica de no almacenar los desechos, lo que exige que siempre haya un vehículos de transferencia en condiciones de recibir los residuos de los recolectores, por lo que si el recolector llega a la estación y no hay vehículo de transferencia para recibir los residuos, el camión debe esperar hasta la llegada del un vehículo vacío.

La falta de equipamiento provoca filas de recolectores en la estación en las horas “pico”, así como una mayor demanda de vehículos de transferencia. Sin embargo, las estaciones de descarga directa son construidas preferentemente debido a su simplicidad y bajo costo de inversión.

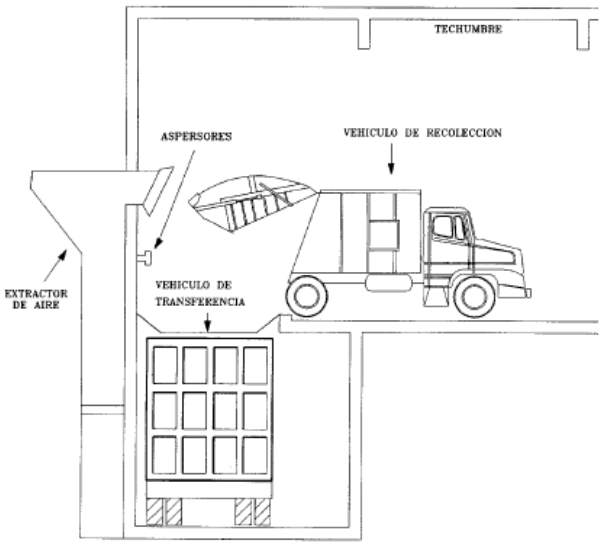


Figura 71: Esquema Sistema de descarga directa

Los equipos de transferencia son camiones semi-trailer con caja abierta y con mecanismo de descarga por medio de cadenas o piso móvil.

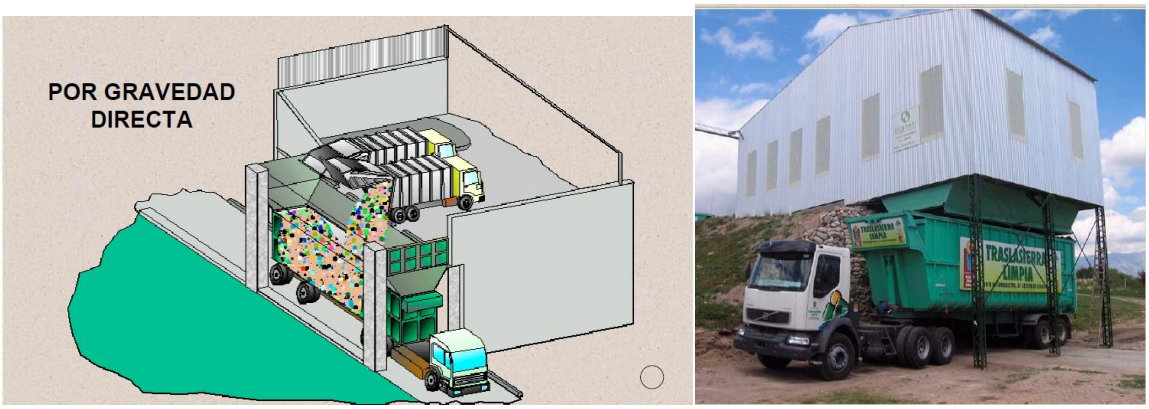


Figura 72: Modelos de instalaciones con descarga directa

2.9.2.2.Estación de descarga indirecta

En este tipo de estaciones de transferencia la descarga de residuos de los vehículos de recolección se realiza a una fosa de almacenamiento o sobre una plataforma donde posteriormente los residuos son cargados en los vehículos de transferencia con equipos auxiliares.

Los camiones recolectores son registrados y pesados en básculas computarizadas, posteriormente, éstos se dirigen a la plataforma para verter los residuos en la fosa, regresando después a la báscula donde son pesados nuevamente: con esto se obtiene la cantidad de residuos transferidos.

Los residuos son removidos de la fosa con tractores de hoja topadora y de ahí son tomados en forma mecánica por una grúa que los deposita en las cajas de transferencia, las cuales son movidas por un montacargas a la zona de despunte, y posteriormente enganchadas al tractor del camión que la transportará al sitio de disposición final. En este tipo de instalación los vehículos recolectores nunca tienen que esperar para descargar los residuos transportados.

Regularmente en Estados Unidos y Canadá se utilizan sistemas de carga indirecta como medida de seguridad, que incluye el sistema de carga directa el cual es utilizado en caso de falla del equipamiento que atiende la fosa. Adicionalmente este tipo de instalaciones cuentan con áreas destinadas al acopio de subproductos reciclables.

Figura 1.7
Transbordo de residuos sólidos
en estaciones de descarga directa

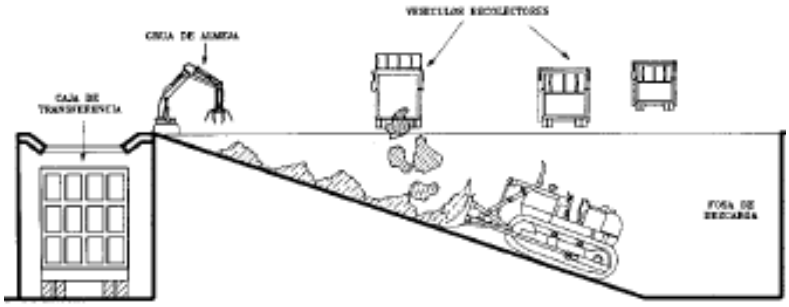


Figura 73: Esquema de sistema de descarga indirecta

2.9.2.3.Otras opciones de Estaciones de Transferencia

Existen muchas otras opciones de estaciones de transferencia, que resultan de combinaciones de los tipos principales y que responden a las necesidades específicas de cada proyecto. Por ejemplo, puede resultan necesario reducir al máximo la obra civil, por lo cual se reemplaza la rampa construida por una cinta de elevación. Otra variante se plantea, por la necesidad de reducir al máximo la carga a transportar, para lo cual es necesario contar con contenedores estacionarios.

De este modo, y con la tecnología disponible actualmente, se pueden plantear las alternativas más convenientes a cada caso en particular. A continuación se agregan algunos ejemplos de los modelos posibles de utilizar.

Playa a nivel con cinta transportadora

Los camiones recolectores descargan sobre una cinta, que mediante un mecanismo eleva los residuos hasta una tolva de recepción, desde donde se evacúa en las bateas dispuestas debajo de las tolvas.

Figura 74: Modelo instalaciones con playa a nivel y cinta de elevación de residuos

Figura 75: Modelo de cinta de elevación de residuos

Se puede trabajar con una o dos cintas, con tolvas individuales o unificadas, con bateas abiertas o cerradas, es decir realizando las combinaciones necesarias para encontrar la mejor alternativa.

Figura 76: Esquemas con doble cinta de elevación y tolva unificada

Trasvase por compactación

Existen estaciones de transferencia que poseen prensas horizontales, que permiten compactar los residuos y optimizar el transporte hasta los centros de tratamiento y/o disposición final, mediante vehículos de gran capacidad.

La instalación consta como elementos fundamentales de la unidad de compactación (de tipo estático), tolva de recepción del material, contenedor/es cerrados para acumulación y transporte del material compactado. Se dispone, según necesidad, de un sistema de traslación de contenedores con posibilidades de ajustarse a las posiciones necesarias (según volumen y capacidad del residuo). Los contenedores están amarrados a la prensa con ganchos hidráulicos reforzados para un acople.

El cierre del contenedor se realiza con una placa tipo guillotina, mediante cilindro de doble efecto, este acciona la puerta que se aloja en la boca del contenedor y se desplaza verticalmente mediante unas guías laterales, funciona en forma sincronizada y automática con el amarre del contenedor.

Figura 77: Modelos de compactador estacionario y bateas cerradas

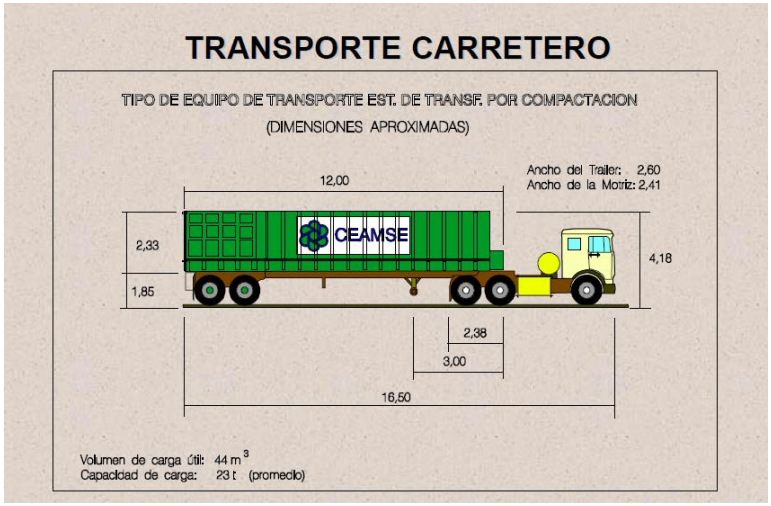


Figura 78: Esquema de equipo de transporte por compactación

Figura 79: Sistema de traslación de contenedores

2.9.2.4.Análisis de Ventajas y Desventajas de los distintos sistemas de transferencia

- **Sistemas de Carga Directa**

Ventajas:

- Facilidad de operaciones de descarga y carga, sin requerimiento de equipos adicionales.
- Reducción de emisión de olores y generación de lixiviados a gestionar por la reducción del tiempo de residencia.
- Menores costos de inversión inicial con relación a los sistemas que requieren equipos adicionales.
- Menores costos de operación y mantenimiento, debido al equipamiento reducido con relación a otros sistemas.
- Reducción en consumo de energía eléctrica requerida por los sistemas con compactación.

Desventajas

- Necesidad de realización de obra civil para su puesta en operación.
- Necesidad de contar con la superficie necesaria para el desarrollo de la obra civil.

- Necesidad de operación coordinada de horarios de recepción y traslado por la reducción de tiempos de residencia.

- Mayores tiempos de operación, en función de las tolvas de descarga disponibles. Posibles tiempos muertos de espera para descarga.

- Mayores costos de traslado si no se cuenta con equipos de compactación.

- **Sistemas de Carga Indirecta**

Ventajas:

- Menores tiempos de operación, sin tiempos muertos de espera de camiones recolectores.

- No necesita de una planificación estricta de horarios de recepción, debido a la ágil operación de las instalaciones sin tiempos de espera.

- Reducción en consumo de energía eléctrica requerida por los sistemas con compactación.

Desventajas

- Necesidad de realización de obra civil para su puesta en operación.

- Requerimiento de mayor superficie del terreno para el desarrollo de la obra civil, con relación a un sistema de carga directa.

- Necesidad de control de olores y gestión de lixiviados por la residencia de residuos hasta su traslado.

- Mayor requerimiento de equipamiento auxiliar, como tractores de hoja topadora y grúa para carga de trailers.

- **Sistemas con playa a nivel**

Ventajas:

- Mínima superficie requerida.
- No se necesita obra civil (fuera de una playa impermeabilizada) para el inicio de operación.
- Mayor rendimiento de traslado por la utilización de sistemas de compactación.
- Mayor control de olores y gestión de lixiviados por la utilización de caja cerrada.

Desventajas

- Mayores costos de inversión y mantenimiento del equipamiento necesario para la operación.
- Menor capacidad de tiempo de residencia con relación a los sistemas de carga indirecta.
- Necesidad de contar con equipamiento auxiliar, como compactadores estáticos y sistema de traslación de contenedores.

2.10.Propuestas para la formalización de separadores informales

En la Zona Metropolitana de Mendoza, se han identificado tres macrobasurales a remediar: Campo Papa (Departamento de Godoy Cruz), Campo Cacheuta (Departamento de Luján de Cuyo) y Puente de Hierro (Departamento de Guaymallén).

En cada uno de estos sitios existen separadores de residuos, trabajando informalmente que por la implementación de este proyecto perderán su fuente de trabajo. Se estima una cantidad de aproximadamente 350 personas, que deberán ser incluidas en circuitos formales de trabajo.

Además, actualmente, en el sitio donde hoy opera el Vertedero Controlado de Las Heras, que recordemos que se localiza en el mismo sitio preseleccionado para las nuevas infraestructuras a contruir, trabajan un conjunto de separadores informales, alrededor de 250 personas, reconociadas como Cooperativa El Borbollón; que viven en los alrededores de este predio y que operaban en el antiguo basural que se remedió en 2001, cuando se concesionó el actual Vertedero Controlado.

Este grupo de personas tienen asignado un sector de predio, a donde se derivan algunos camiones del total de los ingresantes, y se les permite la selección de los mismos. Luego el rechazo de esta separación es retirado por la empresa que opera el Vertedero Controlado, y trasladado hasta las celdas de disposición final.

Frente a esta situación, se deberá desarrollar un Plan de Inclusión Social, destinado a toda la población mencionada. Se entiende que este plan deberá tener en cuenta como mínimo las siguientes premisas:

- Incorporar separadores informales en puestos de trabajo no calificados que se generen en las infraestructuras a diseñar. Este implicará que cuando se tomen desiciones sobre tecnologías a utilizar para el procesamiento de los RSU, se prefieran aquellas que impliquen la necesidad de mano de obra intensiva frente a otras opciones.

- Desarrollar una propuesta de mejora de las condiciones de trabajo de las personas de la Cooperativa El Borbollón, asegurando protección a la salud, cumplimiento de legislación sobre higiene y seguridad e instalaciones adecuadas para las tareas de separación.

- Desarrollar propuestas de distintos puntos verdes, cercanos a la población objetivo, con posibilidad de creación de puestos de trabajo para los separadores antes mencionados.

- Desarrollar rutas de recolección específica de material separado en origen provenietne de industrias y comercios, como materia prima para los puntos verdes a implementar.

- Promover la asociación cooperativa de estos trabajadores, como instrumento de gestión de la operación de los puntos verdes que se instalen.

Teniendo en cuenta estos principios básicos se deberá desarrollar un Plan de Inclusión Social, que deberá iniciarse con un diagnóstico ajustado de la situación actual, censando a la población involucrada, con identificación precisa de los actores e identificando falencias de la población desde el punto de vista educacional, de salud y de habitabilidad como mínimo, a los efectos de encarar una política integral de abordaje.

3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO

En función de todo el análisis previo de posibilidades de gestión de las distintas categorías de residuos contenidas dentro de la masa de los RSU, y de las distintas alternativas de tratamiento y tecnologías analizadas, se proponen 3 (tres) Alternativas de Proyecto, basadas en distintas posibilidades de gestión del flujo total de residuos generados en los distintos Municipios que integran la Zona Metropolitana.

3.1.Alternativa de Proyecto Nº1

3.1.1.Descripción

En la primera alternativa de proyecto se plantea la construcción de un Centro Ambiental de tratamiento y disposición final de residuos a localizarse en el Departamento de Las Heras, al cual llevarían sus residuos los Municipios de: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Lavalle y Luján de Cuyo. Esto se propone debido a que actualmente, los municipios de Capital, Las Heras, Lavalle y Godoy Cruz, disponen sus residuos en un Vertedero Controlado operado (a través de una Concesión) por la Municipalidad de Las Heras. Y en forma colindante a este vertedero existe de un predio de propiedad fiscal de aproximadamente 400 has, que se podría destinar para la construcción de la nueva infraestructura que se diseñe. De este modo, habría muy pocas modificaciones en el trasporte y logística de recolección de la mayoría de los Municipios.

Se plantea que esta infraestructura cuente con un proceso de separación de residuos inorgánicos en Planta de Separación y con celdas de relleno sanitario para la disposición final.

También se propone la incorporación al sistema metropolitano de la Planta de Maipú, la cual actualmente cuenta con proceso de separación y compostaje para los residuos domiciliarios, además de la disposición final del rechazo en un vertedero controlado cercano a la planta. A estos procesos existentes, se propone el agregado de otro sector de compostaje para incluir los residuos de poda y limpieza de espacios verdes, además del cese de la disposición del rechazo en el actual vertedero controlado. Para esto último, se plantea la construcción de un sector de transferencia de residuos dentro de la planta, para poder trasladar el rechazo resultante de los procesos de tratamiento a su disposición final en el relleno sanitario a construirse en Las Heras.

3.1.2.Esquema de operación Alternativa 1

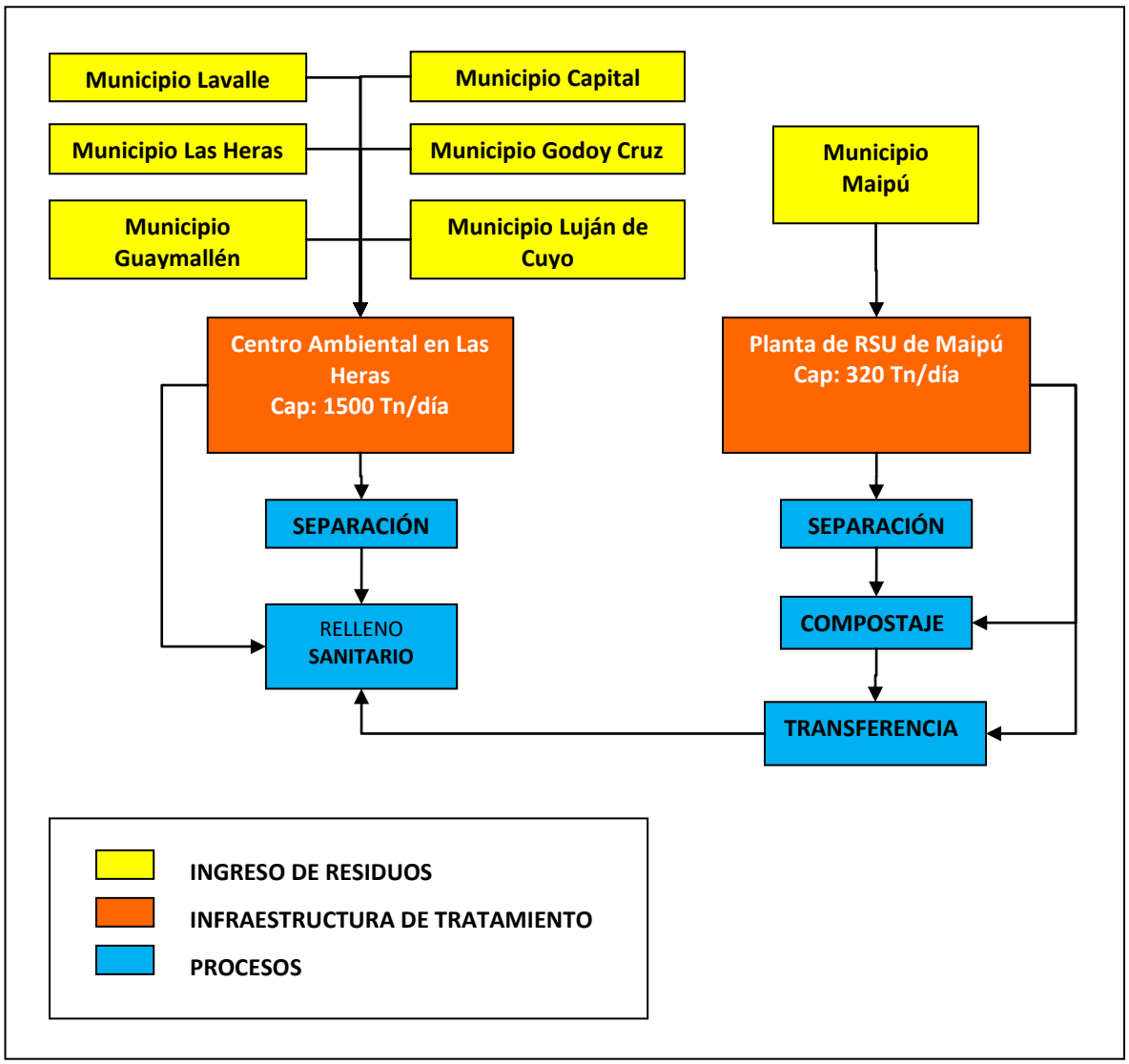


Figura 80: Esquema de funcionamiento de la Alternativa 1

3.1.3.Resumen de procesos involucrados – Alternativa 1

- Centro Ambiental en Las Heras: Planta de Separación y Relleno Sanitario
- Planta de Maipú: Sector de Transferencia y nuevo sector de compostaje.

3.2.Alternativa de Proyecto Nº2

3.2.1.Descripción

En esta alternativa se plantea la construcción de un Centro Ambiental de tratamiento y disposición final de residuos a localizarse en el Departamento de Las Heras, al cual llevarían sus residuos los Municipios de: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras y Lavalle. Esto se propone debido a que actualmente, los municipios de Capital, Las Heras, Lavalle y Godoy Cruz, disponen sus residuos en un Vertedero Controlado operado (a través de una Concesión) por la Municipalidad de Las Heras. Y en forma colindante a este vertedero existe de un predio de propiedad fiscal de aproximadamente 400 has, que se podría destinar para la construcción de la nueva infraestructura que se diseñe. De este modo, habría muy pocas modificaciones en el trasporte y logística de recolección de la mayoría de los Municipios.

Se plantea que esta infraestructura cuente con un proceso de separación de residuos inorgánicos en Planta de Separación y celdas de relleno sanitario para la disposición final.

También se propone, que la Planta de Maipú, que actualmente tiene un porcentaje de capacidad ociosa, incorpore a su gestión actual los residuos del Departamento de Luján de Cuyo. Para esto será necesario que la Planta trabaje en doble turno.

Como ya se mencionó la Planta de Maipú cuenta actualmente con un proceso de separación, compostaje de la materia orgánica separada de los residuos domiciliarios y disposición final en vertedero controlado cercano a la planta.

A estos procesos se agregaría una ampliación del sector de compostaje para incluir los residuos de poda y limpieza de espacios verdes de los Municipios de Maipú y Luján de Cuyo, y el cese de la disposición del rechazo en el actual vertedero controlado. Para el cumplimiento de esto último, se plantea la construcción de un Sector de Transferencia de residuos dentro de la planta, para poder trasladar el rechazo resultante de los procesos de tratamiento a su disposición final en el relleno sanitario a construirse en Las Heras.

3.2.2.Esquema de operación Alternativa 2

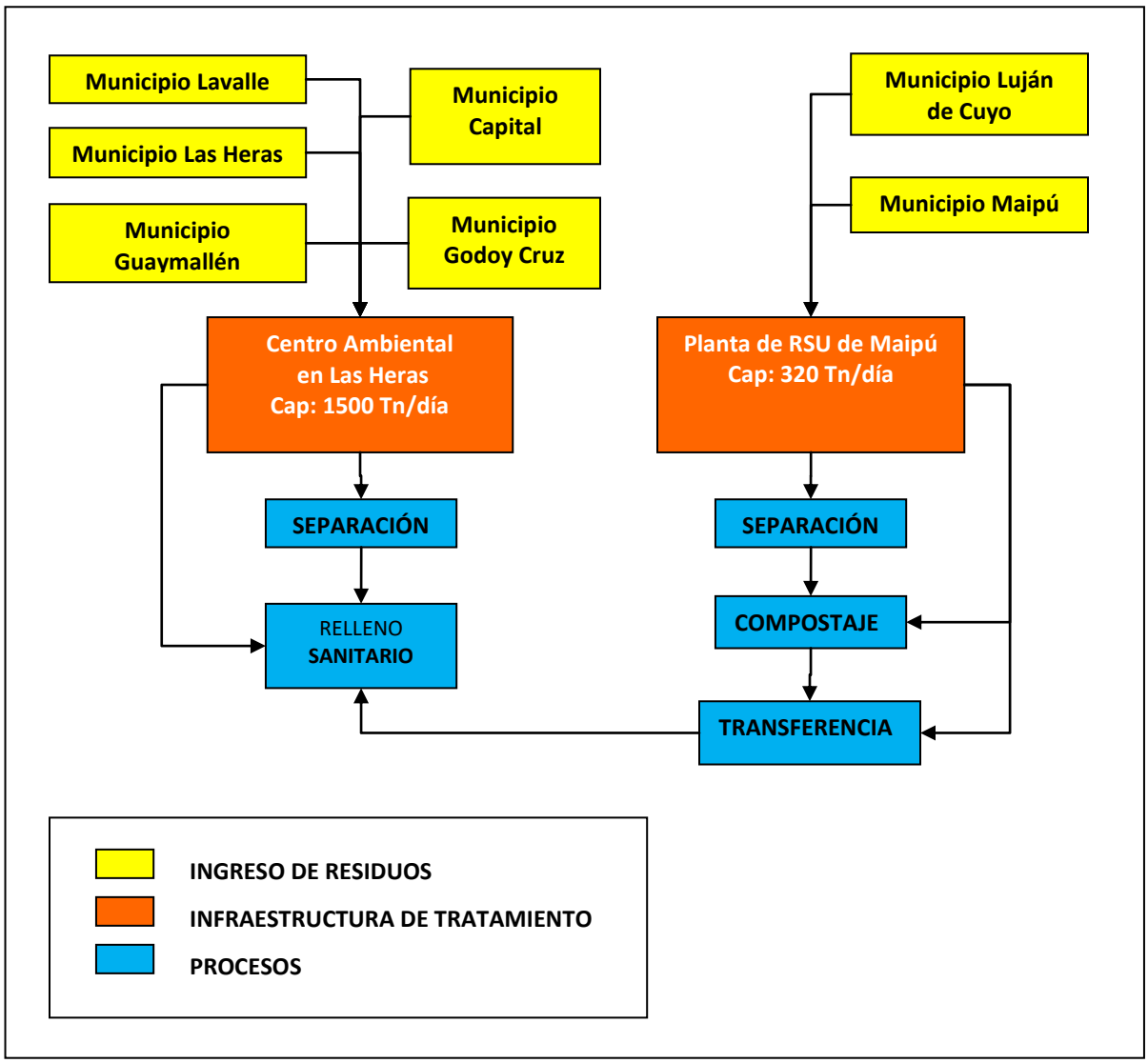


Figura 81: Esquema de funcionamiento de la Alternativa 2

La diferencia que presenta esta alternativa con relación a la alternativa 1, es que los residuos de Luján de Cuyo sean trasladados a la Planta de Maipú, en vez de ser trasladado directamente al Centro Ambiental de Las Heras, y luego de su procesamiento en planta, el rechazo sea trasladado a Las Heras para su disposición final en relleno sanitario.

3.2.3.Resumen de procesos involucrados – Alternativa 2

- Centro Ambiental en Las Heras: Planta de Separación y Relleno Sanitario
- Planta de Maipú: Sector de Transferencia y nuevo sector de compostaje.

3.3.Alternativa de Proyecto Nº3

3.3.1.Descripción

En esta alternativa se plantea la construcción de un Centro Ambiental de tratamiento y disposición final de residuos a localizarse en el Departamento de Las Heras, al cual llevarían sus residuos los Municipios de: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras y Lavalle. Esto se propone debido a que actualmente, los municipios de Capital, Las Heras, Lavalle y Godoy Cruz, disponen sus residuos en un Vertedero Controlado operado (a través de una Concesión) por la Municipalidad de Las Heras. Y en forma colindante a este vertedero existe de un predio de propiedad fiscal de aproximadamente 400 has, que se podría destinar para la construcción de la nueva infraestructura que se diseñe. De este modo, habría muy pocas modificaciones en el trasporte y logística de recolección de la mayoría de los Municipios.

Se plantea que esta infraestructura cuente con un proceso de separación de residuos inorgánicos, tratamiento de residuos orgánicos (compostaje) y celdas de relleno sanitario para la disposición final.

En esta alternativa, también se propone que los Departamentos de Maipú y Luján de Cuyo, trasladen sus residuos a la Planta de Maipú, mejorando la actual capacidad ociosa de esta Planta. Para esto será necesario que la Planta trabaje en doble turno.

Como ya se mencionó la Planta de Maipú cuenta con proceso de separación, compostaje de la materia orgánica separada de los residuos domiciliarios y disposición final en vertedero controlado cercano a la planta. A estos procesos se agregaría una ampliación del sector de compostaje que permita procesar los residuos de poda y limpieza de los Municipios de Maipú y Luján de Cuyo, y el cese de la disposición del rechazo en el actual vertedero controlado. Para esto último se plantea la construcción de un Sector de Transferencia de residuos dentro de la planta, para poder trasladar el rechazo resultante de los procesos de tratamiento a su disposición final en el relleno sanitario a construirse en Las Heras.

3.3.2.Esquema de operación Alternativa 3

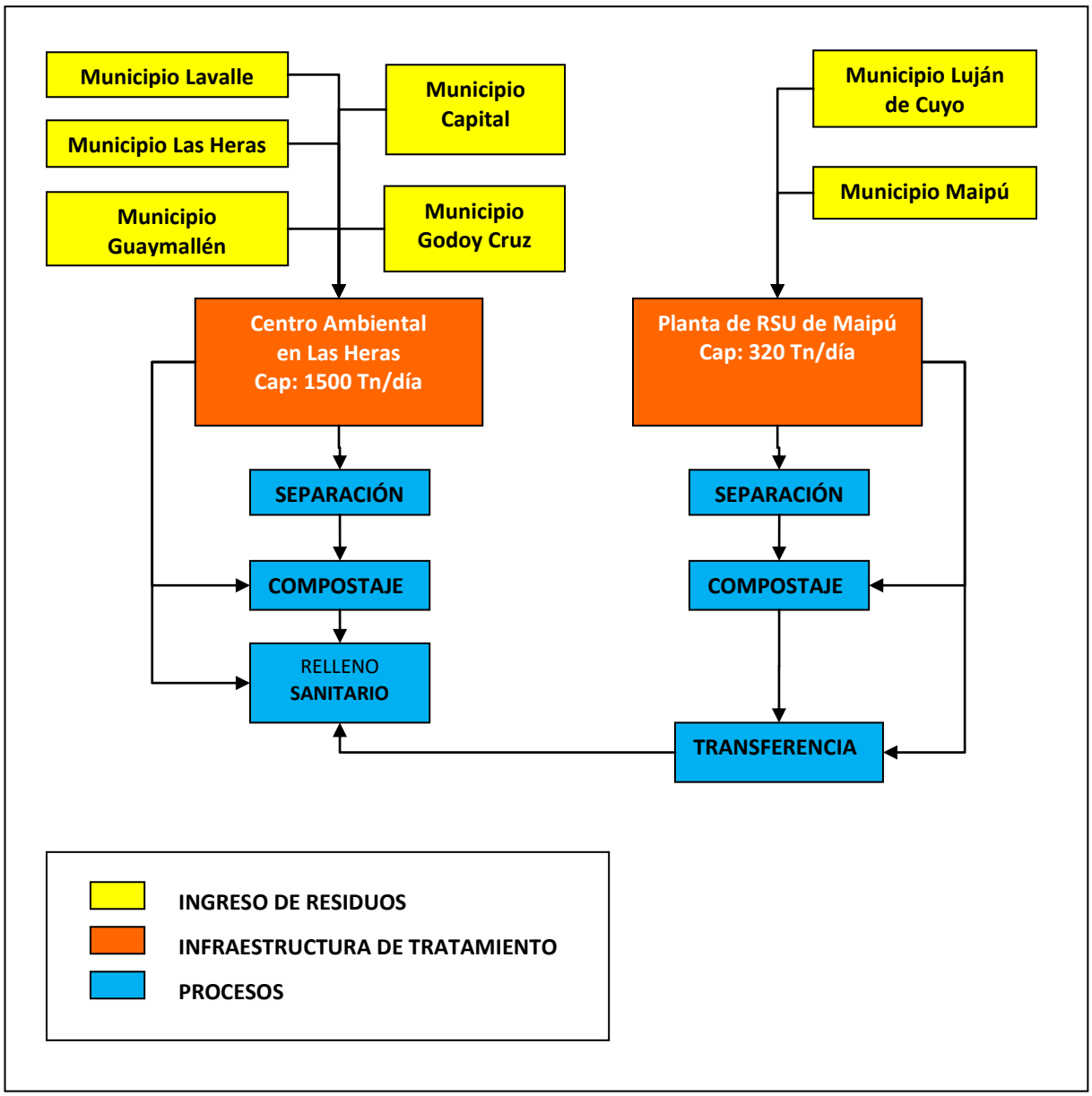


Figura 82: Esquema de funcionamiento de la Alternativa 3

La diferencia que presenta esta alternativa con relación a la alternativa 2, es que se incorpora al Centro Ambiental de Las Heras un proceso de tratamiento de materia orgánica (compostaje), que se sumará al compostaje propuesto en la Planta de Maipú, para de este modo reducir una mayor proporción de los residuos que se llevan a disposición final y aumentar de este modo la vida útil del módulo.

3.3.3.Resumen de procesos involucrados – Alternativa 2

- Centro Ambiental en Las Heras: Planta de Separación, Planta de Compostaje y Relleno Sanitario.
- Planta de Maipú: Sector de Transferencia y nuevo sector de compostaje.

4. MARCO DEL PROYECTO

4.1.Análisis y Descripción de Procesos

Como ya se indicó precedentemente las distintas alternativas de proyecto se han planteado en función de la gestión del flujo de residuos. Las mismas no poseen diferencias sustanciales en cuanto a la utilización de procesos y tecnologías.
En función del análisis desarrollado en el punto precedente y luego de evaluar las ventajas y desventajas de los distintos métodos de tratamiento y disposición final analizados, se realizó una selección de los sistemas más adecuados al presente proyecto, cuya justificación se agrega a continuación y será la misma para cada una de las alternativas.

4.1.1.Resumen tipo de gestión adoptada

4.1.1.1.Transferencia de RSU

La distancia desde la Planta de Maipú, hasta las instalaciones del Centro Ambiental El Borbollón (49 km), establece la necesidad de la implementación de una estación de transferencia en estas instalaciones. Esto permitirá la reducción de los kilómetros a recorrer por los camiones recolectores, evitando el deterioro de los mismos y al mismo tiempo disminuyendo la congestión de tránsito.

4.1.1.2.Recuperación de materiales

Se han planteado dos sitios de recuperación de materiales inorg, respondiendo al objetivo de reducción de la cantidad de residuos destinados a disposición final y a la optimización de recursos no renovables. Estos materiales recuperados, a su vez permitirán obtener un ingreso por la comercialización de las fracciones que se separen.

También se plantean opciones de recuperación de materia orgánica que se someterá a un tratamiento de compostaje, para la obtención de un producto mejorador de suelo, que pueda ser utilizado por los municipios de la región para el mantenimiento de sus espacios verdes.

4.1.1.3.Producción de energía

Con la construcción de un relleno sanitario de grandes dimensiones, se plantea la recuperación de biogás para generación de energía, para lo cual resultará necesario implementar un sistema de recirculación de los lixiviados que se generen, a los efectos de mantener la masa humidificada y controlar los parámetros operativos para favorecer la metanogénesis.

4.1.1.4. Forma de operación del relleno sanitario

Se adoptó la forma de gestión de un relleno sanitario tradicional, frente a la opción de un relleno seco, para favorecer la condiciones de generación de lixiviados y biogás, necesarias para la recuperación de energía. Y como esta alternativa tiene como una de sus desventajas la menor vida útil del mismo (por los niveles de compactación alcanzados), se propone la utilización de equipos de compactación con mayor potencia para alcanzar como mínimo un nivel de compactación de 1 Tn/m3.

Con respecto a la reducción de capacidad de carga del terreno en la etapa postclausura, que es otra de las desventajas del sistema tradicional, porque no permite futuras construcciones en el sitio, en este caso, no tiene mayor relevancia debido a los usos del suelo establecidos en el lugar, y al hecho de que el terreno de implantación poseerá al final de la vida útil de este proyecto, un remanente de superficie a utilizar de aproximadamente 300 has, que permitirán el crecimiento de las instalaciones para tratamiento de residuos por varios períodos más.

4.1.2.Sistema propuesto para la disposición final

Se propone la construcción de un relleno sanitario de operación tradicional, con una vida útil de 20 años, y con cuatro módulos de operación (5 años de vida útil por cada módulo). El planteo de una vida útil de los módulos de 5 años, en comparación con la utilización de módulos bianuales o trianuales, se funda en la minimización de los impactos generados por la obra y la reducción de los costos de inversión.

A los efectos de lograr una aislación eficiente de los residuos a disponer se propone un paquete de impermeabilización doble formado por un espesor de suelo impermeable o bentonítico (aproximadamente 20 cm) más una geomembrana. Esta doble protección, responde fundamentalmente al riesgo sísmico, catalogado por el IMPRES como alto en toda la zona de estudio, con suelos proclives a la licuefacción por su cercanía (alrededor de 4 km) a una falla sísmica activa.

Con relación a la gestión de los líquidos lixiviados, teniendo en cuenta la escasa humedad normal del ambiente, se propone la recirculación de los mismos en la masa de residuos, a los efectos de estimular la biodegradación, favoreciendo mayores asentamientos que

optimicen la vida útil de los módulos de disposición final. Esta gestión de los LL a su vez promoverá la generación de mayor cantidad de biogás, para lo cual se propone su captación y conducción para su posterior conversión en energía eléctrica que permita la provisión, como mínimo de las instalaciones del Centro Ambiental.

4.1.3.Sistema propuesto para la recuperación y valorización de los residuos

Entre las dos opciones de recuperación de inorgánicos en planta vs. valorización energética (incineración), se seleccionó la recuperación de residuos en planta. Esta decisión se fundamenta en los menores costos de inversión y operación, en la posibilidad de generar mayor cantidad de puesto de trabajo para personal no calificado y en la mayor aceptación a nivel social que tiene esta opción, con relación a la incineración.

La Planta de Separación de residuos inorgánicos a incorporarse al sistema, se plantea con una capacidad de tratamiento de aproximadamente el 15% del total de la masa de residuos a ingresar al Centro Ambiental, con la posibilidad de crecimiento gradual a lo largo de la vida útil, mediante la incorporación de otra línea de selección. Por este motivo, al realizar el diseño de la misma se deberá considerar su posibilidad de ampliación.

Además, y en función de la generación esperada se deberán ir agregando turnos de trabajo en función del crecimiento de la demanda, de los avances que se vayan logrando en las campañas de separación en origen, como así también en la mayor experiencia y capacitación del personal que operará estas infraestructuras.

En esta planta, se propone la utilización de una estructura de clasificación elevada, a los efectos de la optimización de las distintas actividades a realizar en la misma.

La planta se diseñará para operar inicialmente con material mezclado, el cual gradualmente se irá reemplazando por material separado en origen, en función del avance de las campañas de comunicación que deberán diseñarse en el marco del Plan de Comunicación Social a desarrollarse para este proyecto.

Los materiales a separar serán: papel, cartón, plásticos, vidrio y metales, para lo cual se deberá contar con: prensa vertical, prensa horizontal, molinos trituradores de plásticos, cintas de derivación, separadores magnéticos para metales, además de los contenedores con ruedas para la gestión del material separado, el/los depósitos de transporte para el traslado del rechazo y una minicargadora para el traslado del material procesado.

Para albergar este sistema, se deberá realizar la obra civil correspondiente, la que incluirá: galpón de procesamiento, superficie semicubierta de recepción de residuos y zona de rechazo, playa de maniobras, colocada frente al ingreso a la planta con las dimensiones necesarias para las maniobras que deban realizar los camiones recolectores. Además, se deberá prever una zona cubierta o semicubierta para el almacenamiento del material

separado, con su correspondiente playa de maniobras para los camiones que ingresen a retirar el material que se comercialice. Todo esto deberá diseñarse, como ya se mencionó, pensando en la posibilidad de ampliación de la zona de procesamiento, en el plazo de la vida útil del proyecto.

4.1.4.Sistema propuesto para la recuperación de residuos orgánicos

En este punto se adopta un sistema de compostaje abierto, con aireación mecánica, lo cuales implican una inversión inicial menor, teniendo en cuenta la baja posibilidad de comercialización del producto obtenido, además de tener un mayor requerimiento de mano de obra no calificada, en comparación con los sistemas cerrados.

El sistema abierto además, en un sitio con un clima de árido a semiárido, como es el correspondiente al sitio de implantación, resulta el más adecuado, ya que las precipitaciones son escasas (200 mm anuales), lo que permite trabajar al aire libre en una situación controlada, sin mayores inconvenientes.

Por otro lado, y teniendo en cuenta la gran cantidad de material de poda que se genera en Mendoza, debido a las características de sus ciudades (ciudad oasis), con un frondoso bosque urbano; se considera que lo más conveniente es realizar la elaboración del compost utilizando dicho material como elemento estructurante de la mezcla a compostar. Por otra parte, la gestión de los líquidos lixiviados excedentes de riego en la Cancha de Compostaje se conducirán por canales, hasta tanques de almacenamiento transitorio dispuestos en el sector y se reutilizarán para el riego de las pilas.

En la Cancha de Compostaje se deberá colocar una capa de suelo poco permeable, a los efectos de evitar la percolación de los excedentes de riego y la pérdida de humedad del material que se esté compostando.

Para eficientizar la operación del sector de compostaje resultará necesario contar con una chipeadora (reducción de volúmenes de ramas), un removedor de compost que permita acelerar el proceso de descomposición y garantizar el ingreso de oxígeno en forma homogénea, un tanque regador y una zaranda para el tamizado del producto final.

4.1.5.Sistema propuesto para la transferencia de residuos

Teniendo en cuenta que la infraestructura de transferencia a construir se ubicará dentro de una instalación existente (Planta de Maipú), se entendió como necesario, minimizar la cantidad de obra civil a realizar, a los efectos de no entorpecer el actual funcionamiento de la Planta y acelerar los tiempos de implementación de la misma.

Por este motivo se propone adoptar un sistema de transferencia con playa a nivel y cinta transportadora para la elevación de los residuos desde la unidad de descarga, hasta la tolva.

Aquí se debe aclarar que esta estación de transferencia trabajará en mayor proporción con el material de rechazo proveniente de la planta, el cual será transportado hacia el sector de transferencia mediante camiones volcadores. Pero además, se deberá diseñar la misma para la posibilidad de su utilización por camiones que ingresen directamente hacia la zona de transferencia sin pasar por la planta de separación (por motivos de capacidad de procesamiento o paro de planta).

Para esto último se deberán prever zonas de circulación independientes para el ingreso directo de estos camiones recolectores, y también para el egreso de los semi-trailers cargados con los residuos transferidos, con destino a la disposición final en el Centro Ambiental a construirse en Las Heras. Por otra parte, y a los efectos de optimizar los costos de transporte, se propone la utilización de trasvase por compactación.

En virtud de todo esto, será necesaria la obra civil correspondiente (platea de hormigón armado para el funcionamiento de la estación de transferencia, canaletas perimetrales de recolección de líquidos adecuadas para la captación de los mismos).

Además, requerirá la adquisición de una cinta transportadora, tolva de transferencia, compactador estacionario, bateas de transferencia cerradas, sistema de traslación de contenedores y tractores camión, cuya cantidad deberá ser calculada en función de las cantidades a transportar.

4.1.6.Resumen de procesos y tecnologías por alternativa

Se agrega un cuadro de resumen por caca Alternativa de Proyecto, indicando en cada caso los procesos implicados, con identificación de los procesos ya existentes, los que serán modificados o ampliados y los nuevos.

Tabla 38: Procesos y tecnologías por Alternativa

Alternativa	Planta de Maipú	Centro Ambiental en Las Heras
Alternativa I	Separación de inorgánicos	Separación de inorgánicos
	Tratamiento de orgánicos	Disposición Final
	Transferencia de rechazo	
Alternativa II	Separación de inorgánicos	Separación de inorgánicos

Tabla 38: Procesos y tecnologías por Alternativa		
Alternativa	**Planta de Maipú**	**Centro Ambiental en Las Heras**
	Tratamiento de orgánicos	Disposición Final
	Transferencia de rechazo	
Alternativa III	Separación de inorgánicos	Separación de inorgánicos
	Tratamiento de orgánicos	Tratamiento de orgánicos
	Transferencia de rechazo	Disposición Final

Existente

Modificación o ampliación

A construir

Tabla 38: Resumen procesos y tecnología por alternativa

4.2.Datos Básicos de Diseño

En este apartado se agregan los datos cuantitativos generales de toda la Zona Metropolitana sobre: población generadora, cantidad de material a tratar y sus proyecciones a 20 años que es la vida útil que tendrá el proyecto. Después en forma particular, se agregan los datos de generación total, residuos orgánicos e inorgánicos para cada alternativa propuesta con su proyección a 20 años.

En las siguientes tablas se muestran los datos desagregados de población, por cada Municipio integrante de la Zona Metropolitana para el año 2017, y a continuación los datos consolidados por año para la Zona Metropolitana.

En el **Anexo 7: Generación de RSU**, se encuentran los datos desagregados por Municipio, con su proyección a 20 años.

Tabla 39: Datos sobre Población – Detalle por Departamento (2017)								
Año	Municipio	Pob. Estable Total	% de Recolec.	Población Servida (Estable)	PPC (kg/hab /día)	Población Flotante		Población Servida total
						PPC (kg/hab /dia)	Pob. Serv. (Flotante)	
2017	Capital	117,940	100%	117,787	1.312	0.750	18,783	136,569
	Godoy Cruz	198,485	100%	197,870	1.242	0.750	1,708	199,577
	Guaymallén	309,430	100%	288,296	1.180	0.750	1,708	290,004
	Las Heras	219,776	100%	208,128	1.193	0.750	1,708	209,835
	Lavalle	40,415	85%	9,993	1.131	0.750	1,708	11,701
	Luján de Cuyo	132,308	96%	104,941	1.166	0.750	6,830	111,771
	Maipú	187,049	95%	132,828	1.233	0.750	1,708	134,536
	Metropolitana	**1,205,405**	**97%**	**1,059,843**	**1.211**	**0.750**	**34,150**	**1,093,994**

Tabla 39: Datos problación 2017

Tabla 40: Datos de Población – Totales Zona Metropolitana Proyección 2018-2038							
Año	Población Estable Total	% de Recolec.	Población Servida (Estable)	PPC (kg/hab /día)	Población Flotante		Población Servida total
					PPC (kg/hab/dia)	Pob. Serv. (Flotante)	
2018	1,205,405	97%	1,059,843	1.211	0.750	34,150	1,093,994
2019	1.228.843	97%	1.081.131	1,216	0,750	36.285	1.117.416
2020	1.240.562	97%	1.092.480	1,220	0,750	37.408	1.129.888
2021	1.252.281	98%	1.103.860	1,224	0,750	38.419	1.142.280
2022	1.264.000	98%	1.115.273	1,228	0,750	39.430	1.154.703
2023	1.275.719	98%	1.126.717	1,232	0,750	40.441	1.167.159
2024	1.287.438	99%	1.138.194	1,236	0,750	41.452	1.179.646
2025	1.299.158	99%	1.149.702	1,240	0,750	42.463	1.192.166
2026	1.310.877	99%	1.161.243	1,245	0,750	43.362	1.204.605
2027	1.322.596	100%	1.172.816	1,249	0,750	44.373	1.217.189
2028	1.334.315	100%	1.184.420	1,253	0,750	45.272	1.229.692
2029	1.346.034	100%	1.194.552	1,257	0,750	46.283	1.240.835

Tabla 40: Datos de Población – Totales Zona Metropolitana Proyección 2018-2038							
Año	Población Estable Total	% de Recolec.	Población Servida (Estable)	PPC (kg/hab /día)	Población Flotante		Población Servida total
					PPC (kg/hab/dia)	Pob. Serv. (Flotante)	
2030	1.357.753	100%	1.204.684	1,261	0,750	47.182	1.251.866
2031	1.369.472	100%	1.214.816	1,265	0,750	48.080	1.262.896
2032	1.381.191	100%	1.224.948	1,269	0,750	47.968	1.272.916
2033	1.392.910	100%	1.235.080	1,274	0,750	47.968	1.283.048
2034	1.404.629	100%	1.245.212	1,278	0,750	48.754	1.293.966
2035	1.416.349	100%	1.255.343	1,282	0,750	49.091	1.304.435
2036	1.428.068	100%	1.265.475	1,286	0,750	50.215	1.315.690
2037	1.439.787	100%	1.275.607	1,290	0,750	51.001	1.326.608
2038	1.451.506	100%	1.285.739	1,295	0,750	51.675	1.337.414

Tabla 40: Población Metropolitana (2018-2038)

En las tablas que siguen se consigan los datos de generación de RSU, en un resumen desagregado por Municipio para 2017, y luego los datos totales para la Zona Metropolitana en proyección a 20 años.

Tabla 41: Datos sobre Generación de RSU (2017)											
Año	Municipio	Total RSU (Tn/día)									
		RSD	RPB	ESC	VOL	IND	Total RSU	Inorgánicos		Orgánicos	
								Total	Potenc. Recicl.	Total	Potenc. Recicl.
2017	Capital	132	33	25	5	24	219	88	131	54	111
	Godoy Cruz	148	37	14	6	41	247	89	158	51	130
	Guaymallén	154	39	30	6	28	257	137	205	83	173
	Las Heras	114	28	23	5	20	341	101	149	62	126
	Lavalle	205	51	39	9	38	250	4	8	2	9
	Luján de Cuyo	150	37	30	6	26	13	42	86	23	82
	Maipú	8	5	0	0	3	127	58	107	33	88
	Metropolitana	**817**	**227**	**118**	**34**	**188**	**1.362**	**519**	**843**	**308**	**720**

Tabla 41: Datos generación de RSU (2017)

RSD = Residuos Sólidos Domiciliarios
RPB = Residuos de Poda y Barrido
ESC = Escombros
VOL = Residuos voluminosos
IND = Residuos Industriales asimilables a urbanos

Tabla 42: Datos Generación de RSU- Total Zona Metropolitana Proyección 2018-2038

Año	Total RSU (Tn/día)									
	RSD	RPB	ESC	VOL	IND	Total RSU	Inorgánicos		Orgánicos	
							Total	Potenc. Recicl.	Total	Potenc. Recicl.
2018	828	230	120	34	191	1.380	**526**	**854**	**312**	**729**
2019	839	233	121	35	193	1.399	**533**	**866**	**316**	**740**
2020	851	236	123	35	196	1.419	**541**	**878**	**321**	**750**
2021	863	240	125	36	199	1.438	**548**	**890**	**325**	**761**
2022	875	243	126	36	202	1.458	**555**	**902**	**329**	**771**
2023	886	247	128	37	205	1.477	**563**	**914**	**334**	**782**
2024	898	250	129	37	208	1.497	**570**	**927**	**338**	**792**
2025	910	254	131	38	210	1.517	**578**	**939**	**343**	**803**
2026	922	258	133	38	213	1.537	**586**	**952**	**347**	**814**
2027	935	261	134	39	216	1.558	**593**	**965**	**352**	**825**
2028	947	265	136	39	219	1.578	**601**	**977**	**356**	**836**
2029	958	268	137	40	222	1.597	**608**	**989**	**360**	**846**
2030	969	271	139	40	224	1.616	**615**	**1.000**	**365**	**856**
2031	981	275	141	41	227	1.634	**622**	**1.012**	**369**	**866**
2032	992	278	142	41	230	1.653	**629**	**1.023**	**373**	**876**
2033	1.003	281	144	42	232	1.671	**636**	**1.035**	**377**	**885**
2034	1.014	284	145	42	235	1.690	**643**	**1.047**	**381**	**896**
2035	1.025	287	147	43	238	1.709	**651**	**1.058**	**386**	**906**
2036	1.037	291	149	43	240	1.728	**658**	**1.070**	**390**	**916**
2037	1.049	294	150	44	243	1.748	**665**	**1.082**	**394**	**926**
2038	1.060	298	152	44	246	1.767	**673**	**1.094**	**399**	**937**

Tabla 42: Datos generación RSU Metropolitana (2018-2038)

4.2.1.Justificación de los cálculos realizados

4.2.1.1.Determinación de la población flotante por Departamento

El cálculo de la población flotante (turística), se encuentra desarrollado en el **Anexo 6: Caracterización de la Demanda,** de donde surgen los datos de población turística anual para la zona Metropolitana, que corresponde a un 60% del total determinado para la Provincia.

Para poder establecer lo más ajustadamente posible, la distribución de esta población entre los distintos Departamentos que integran la región, se obtuvieron datos estadísticos de plazas de alojamiento turístico (Publicaciones Municipales, Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas del Gobierno de la Provincia de Mendoza, DEIE).

Los datos indican que el Departamento de Capital posee el 55% del total, Luján de Cuyo un 20% y al resto de los Departamentos integrantes de la zona, les corresponde el 5% a cada uno.

4.2.2.Total de residuos generados en el Municipio de Capital

La cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados por Capital, se consideró con un 30% de exceso sobre el cálculo realizado en base a la población, debido a la concentración de actividades comerciales, educacionales, de recreación y de trabajo de oficina, que producen una generación “extra” de residuos que no son generados por los habitantes de Capital.

La adopción de este valor del 30% de residuos generados, se adoptó en base a algunos registros aportados por el Municipio de Capital, sobre disposición final en el Vertedero de Las Heras (ver Informe de Diagnóstico), para residuos sólidos domiciliarios, más residuos de poda y barrido (período 2013-2016), que indicarían una tendencia entre el 20 al 35% de incremento, por lo cual se adoptó un valor intermedio.

4.2.3.Fracciones de residuos contenidos en los RSU

Para los cálculos de generación de residuos se adoptaron los siguientes porcentajes en peso, de las fracciones generales de los RSU, con relación al total de la masa. (Ver justificación en **Anexo 7: Generación de RSU**)

- Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) = 60%
- Residuos de Poda y Barrido (RPB) = 15%
- Otros = 25%

En la fracción "Otros" se incluyeron: escombros, voluminosos y residuos industriales asimilables a urbanos, y se estimaron distintos porcentajes de estas sub-fracciones, para cada Municipio en función de las actividades principales desarrolladas en los mismos.

Estos cálculos se realizaron del siguiente modo:

- **Escombros:** los valores asignados a cada Municipio se estimaron tomando en cuenta los valores de Producto Bruto Geográfico Municipal para la categoría "Construcción", según publicaciones de la DEIE.

- **Voluminosos:** se adoptó un valor uniforme para todos los Municipios del 10%, que según la producción per cápita estimada representa un promedio de alrededor de 12 kg/mes, por vivienda.

- **Industriales:** los valores asignados a cada Municipio se estimaron tomando en cuenta los valores de Producto Bruto Geográfico Municipal para las categorías "Agropecuario" e "Industria Manufacturera" sumados, según publicaciones de la DEIE.

Los detalles de los cálculos realizados se encuentran en el **Anexo 7: Generación de RSU**, que forma parte del presente documento.

Tabla 43: Porcentaje de residuos industriales por Municipio de la Zona Metropolitana

Municipio	Escombros	Voluminosos	Industriales
Capital	46%	10%	44%
Godoy Cruz	23%	10%	67%
Guaymallén	46%	10%	44%
Las Heras	48%	10%	42%
Lavalle	8%	10%	82%
Luján de Cuyo	5%	10%	85%
Maipú	19%	10%	71%

Tabla 43: Residuos Industriales por Municipio

4.2.4.Porcentajes de Material orgánico e inorgánico

Para la determinación del material orgánico e inorgánico contenido en cada una de las fracciones de los RSU, se tomó como base la caracterización realizada sobre los RSD, y las estimaciones que se desarrollaron en el **Anexo 7: Generación de RSU.**

Tabla 44: Cantidades de residuos inorgánicos y orgánicos por fracción de RSU		
Fracciones	**Inorgánico (%)**	**Orgánico (%)**
Residuos Sólidos Domiciliarios	38%	62%
Residuos de Poda y Barrido	0%	100%
Otros		
Escombros	100%	0%
Voluminosos	100%	0%
Industriales asimilables a RSU	30%	70%

Tabla 44: Residuos orgánicos e inorgánicos por fracción de RSU

En función de estos valores generales, se establecieron los porcentajes de las cantidades de materiales "potencialmente" reciclables, los cuales se agregan en la tabla que sigue.

Tabla 45: Cantidades de residuos inorgánicos y orgánicos potencialmente reciclables		
Fracciones	**Inorgánico Pot. Reciclable**	**Orgánico Pot. Reciclable**
Residuos Sólidos Domiciliarios	26%	62%
Residuos de Poda y Barrido	0%	65%
Otros		
Escombros	70%	0%
Voluminosos	10%	0%
Industriales asimilables a RSU	5%	35%

Tabla 45: Residuos potencialmente reciclables

En este punto cabe aclarar que los valores consignados para los residuos industriales asimilables a urbanos son estimaciones aproximadas, ya que no existe un censo específico de las cantidades y tipos de residuos generados por las industrias de la región, en función de las características de las mismas, con una fuerte impronta agroindustrial, lo cual implica una cantidad muy superior de desechos orgánicos, con relación a los inorgánicos.

4.2.5.Cálculos de volúmenes a gestionar

Sobre la base del cálculo másico de los residuos a gestionar, se estimaron los volúmenes a generarse, conservando las mismas categorías analizadas en el cálculo de las toneladas diarias de generación de RSU.

Para este cálculo se adoptaron valores promedio de densidad de residuos, teniendo en cuenta los valores sugeridos por la Organización Panamericana de Salud (0PS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS), en sus publicaciones.

En la tabla que se acompaña, se muestran los valores de densidad utilizados para los cálculos.

Materiales	Densidad (tn/m3)
Residuos sueltos	0.4
Residuos compactados (en camión)	0.5
Escombros	1.4
Voluminosos	0.1

En las tablas que se agregan, se presentan los volúmenes desagregados por Departamento, para el año 2017, y posteriormente los valores consolidados para la Zona Metropolitana con proyección a 20 años.

Tabla 46: Datos sobre Generación de RSU (2017)

Año	Municipio	Total RSU (m3/día)									
		RSD	RPB	ESC	VOL	IND	Total RSU	Inorgánicos		Orgánicos	
								Total	Potenc. Recicl.	Total	Potenc. Recicl.
2017	Capital	263	82	18	55	48	466	187	89	279	169
	Godoy Cruz	296	93	10	62	83	544	209	94	334	200
	Guaymallén	410	128	28	85	75	726	292	138	435	263
	Las Heras	299	94	21	62	52	529	213	102	316	191
	Lavalle	15	13	0	3	5	36	11	5	26	13
	Luján de Cuyo	153	96	1	32	54	336	107	46	228	119
	Maipú	198	62	6	41	59	365	140	62	226	135
	Metropolitana	**1,635**	**567**	**85**	**341**	**376**	**3,003**	**1,159**	**537**	**1,844**	**1.091**

Tabla 46: Generación de orgánicos e inorgánicos (2017)

Tabla 47: Datos Generación de RSU- Total Zona Metropolitana Proyección 2018-2038										
Año	Total RSU (m3/día)									
	RSD	RPB	ESC	VOL	IND	Total RSU	Inorgánicos		Orgánicos	
							Total	Potenc. Recicl.	Total	Potenc. Recicl.
2018	1,656	574	86	345	381	3,042	1,174	**544**	1,868	**1.105**
2019	1,679	583	87	350	387	3,085	1,191	**552**	1,894	**1.121**
2020	1,702	591	88	355	392	3,128	1,207	**559**	1,921	**1.137**
2021	1,726	600	89	359	398	3,172	1,224	**567**	1,948	**1.152**
2022	1,749	609	90	364	404	3,216	1,240	**575**	1,976	**1.168**
2023	1,773	617	91	369	409	3,260	1,257	**582**	2,003	**1.185**
2024	1,797	626	92	374	415	3,305	1,274	**590**	2,031	**1.201**
2025	1,821	635	94	379	421	3,349	1,291	**598**	2,058	**1.217**
2026	1,845	644	95	384	427	3,394	1,308	**606**	2,086	**1.233**
2027	1,869	653	96	389	433	3,440	1,325	**614**	2,115	**1.249**
2028	1,894	662	97	395	438	3,486	1,343	**622**	2,143	**1.266**
2029	1,916	670	98	399	444	3,528	1,359	**629**	2,169	**1.281**
2030	1,939	678	99	404	449	3,569	1,375	**636**	2,195	**1.296**
2031	1,961	687	100	409	454	3,611	1,391	**644**	2,221	**1.311**
2032	1,983	694	102	413	459	3,651	1,406	**651**	2,245	**1.326**
2033	2,005	702	103	418	464	3,692	1,422	**658**	2,270	**1.341**
2034	2,028	710	104	422	470	3,735	1,438	**666**	2,297	**1.356**
2035	2,051	719	105	427	475	3,776	1,454	**673**	2,322	**1.371**
2036	2,074	727	106	432	481	3,820	1,471	**681**	2,349	**1.387**
2037	2,097	735	107	437	486	3,863	1,487	**688**	2,376	**1.403**
2038	2,121	744	109	442	491	3,906	1,504	**696**	2,403	**1.418**

Tabla 47: Generación orgánicos e inorgánicos – Metropolitana (2018-2038)

Con toda esta información de base, se evaluaron las propuestas para las distintas Alternativas de Proyecto planteadas, desde el punto de vista técnico, ambiental, social, económico-financiero, institucional y legal.

4.3.Justificación de la selección del predio de disposición final

Como ya se comentara en el Informe 1: Estudio de Diagnóstico, el presente proyecto se funda en dos Estudios realizados previamente para el diseño de un Sistema Integral de Residuos Sólidos Urbanos para la Zona Metropolitana de la Provincia de Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza (2004) y Consultora IATASA Ingeniería Ambiental (2009).

En el caso particular de la selección del sitio para la localización de la infraestructura destinada a la disposición final a construirse, esta evaluación fue realizada en 2004 por la UTN-FRM, y a continuación se agrega la información desarrollada en esa oportunidad.

4.3.1.Preselección de sitios posibles

A los efectos de selección la mejor localización para la implantación de un Centro de Tratamiento y Disposición Final de RSU para la Zona Metropolitana, se realiza la comparación, entre dos predios posibles, uno localizado en el Departamento de Las Heras y otro en el Departamento de Luján de Cuyo.

La preselección dos sitios para la disposición final de los residuos sólidos se efectuó en virtud de que de todos los Departamentos que componen la Zona Metropolitana, solamente los *Departamentos de Luján de Cuyo y Las Heras* poseen sitios aptos, que teniendo en cuenta los distintos factores analizados poseen características de elegibilidad.

Así por ejemplo, en el *Departamento de Guaymallén* no existen zonas con características adecuadas para la implantación de una infraestructura destinada al tratamiento y disposición final de RSU, dado que por un lado no hay terrenos disponibles con la superficie requerida, y prácticamente muy pocos son de propiedad fiscal. Por otra parte, en la mayoría de las zonas no urbanizadas, donde podría encararse un análisis de factores de localización, los sitios además de ser sumamente caros y de superficie insuficiente, tienen como característica física, el hecho de que la altura de las napas freáticas (a profundidades entre 2 y 3 metros), tornan imposible la ejecución de vertederos.

El *Departamento de Godoy Cruz*, solamente posee el sector del piedomente como superficie para analizar, pero de acuerdo a estudios hidrogeológicos subterráneos se demuestra la peligrosidad de dicha área, debido a que es zona de recarga de acuífero subterráneo y la vulnerabilidad del mismo en la zona del Gran Mendoza lo torna inviable. Además, a este factor, se suman las fuertísimas pendientes zonales que encarecerían en

demasía los movimientos de suelo y, a la gruesa granulometría de los suelos del lugar que otorga una muy alta permeabilidad de los mismos. Otro de los factores decisivos para no utilizar esa única zona posible del Departamento de Godoy Cruz, es el alto riesgo aluvional y el encarecimiento desproporcionado de las eventuales defensas que se deberían realizar.

En el *Departamento de Capital* no existen zonas aptas para la implantación de un CTDF dado que se halla fuertemente urbanizado sin dejar áreas disponibles.

El *Departamento Lavalle* se halla a una distancia (aproximadamente 30 km), que torna al transporte de los residuos desde los demás Departamentos, sumamente caro, además de carecer de infraestructura mínima de servicios para la implantación, tales como falta de vías de comunicación adecuadas en las zonas de secano donde podría disponerse la localización. Tampoco existen servicios tales como agua, electricidad o cloacas.

Después de todo este análisis surgen dos sitios posibles, uno localizado en el *Departamento de Las Heras*, en un sector de suelos improductivos destinado según los usos del suelo de ese Municipios a actividades de saneamiento, de hecho en las inmediaciones del sitio propuesto se localiza: el Parque Industrial de Las Heras, el Establecimiento depurador de efluentes cloacales del Gran Mendoza y el actual Vertedero Controlado de RSU de ese Municipio. Por todas estas actividades implantadas el sitio cuenta son servicios básicos y se trata de un terreno de propiedad fiscal.

La otra localización propuesta, se ubica en el *Departamento de Luján de Cuyo*, en una zona de secano con mínima incidencia aluvional, con acuífero subterráneo muy profundo y que no es zona de recarga. Además la zona elegida posee infraestructura básica de servicios. Actualmente este predio es de propiedad fiscal, ya que fue donado por particulares al Municipio de Luján de Cuyo.

En la siguiente figura se muestra la Zona Metropolitana de Mendoza, con indicación de la localización de los sitios a evaluar.

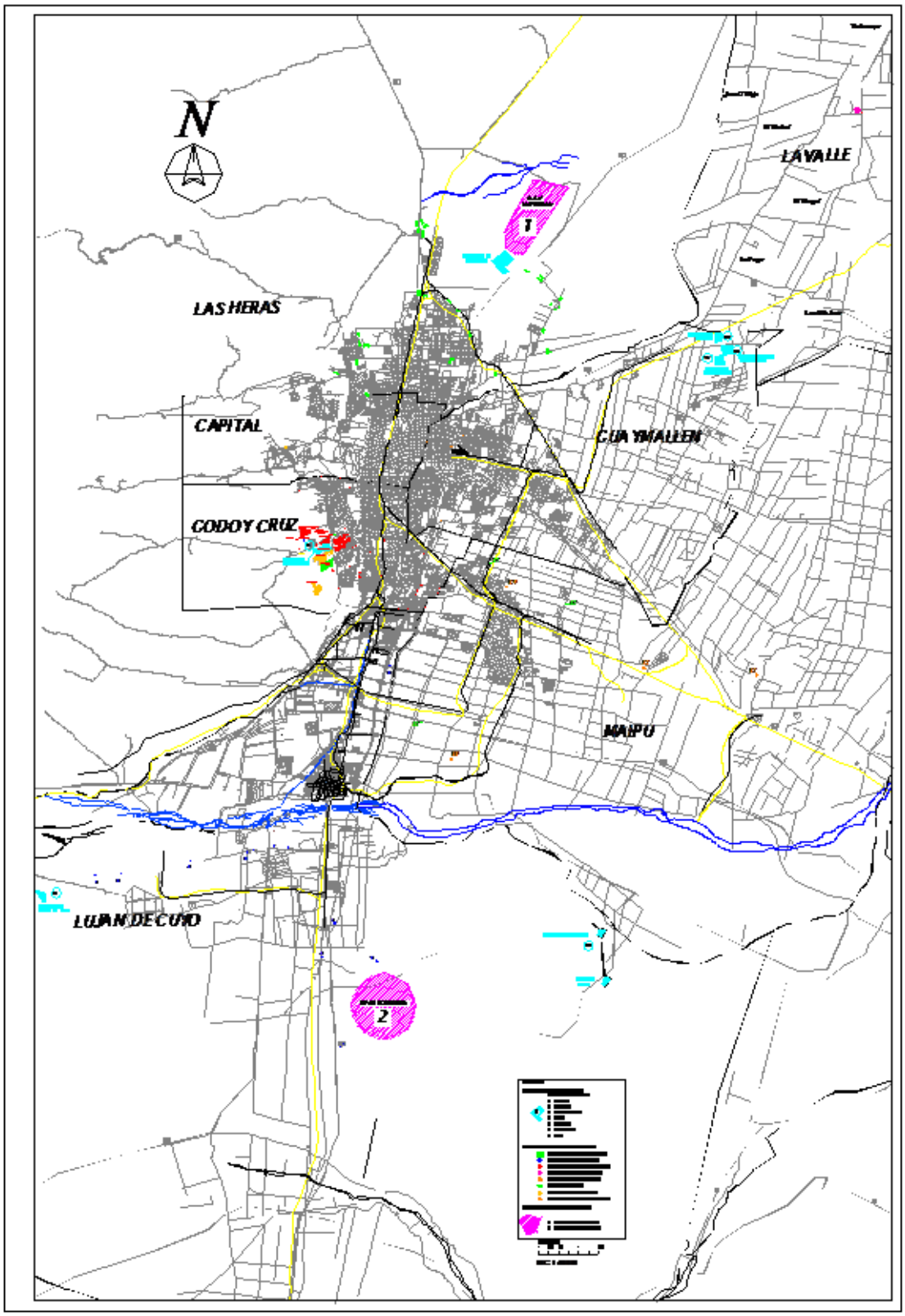


Figura 83: Sitios preseleccionados: 1) El Borbollón – Las Heras 2) Agrelo – Luján de Cuyo

En la figura precedente se observan los dos sitios propuestos y analizados: 1) Terreno en El Borbollón – Las Heras; 2) Terreno en Agrelo – Luján de Cuyo.

4.3.2.Localización geográfica y distancias

Actualmente la única infraestructura de tratamiento de RSU que se seguirá funcionando con la implementación del presente proyecto es la Planta de Separación de RSU de Maipú, con algunas modificaciones tendientes a optimizar su funcionamiento, que ya fueron indicadas en la propuesta de cada una de las alternativas.

El resto de los Municipios de la región disponen sus residuos en forma semi-controlada (vertedero controlado) e incontrolada (basurales a cielo abierto). En el primer caso, estos sitios serán cerrados y en el segundo remediados y clausurados.

Por lo tanto, las distancias que será importante evaluar, con relación a los sitios propuestos, es la relativa a las cabeceras municipales y a la Planta de Maipú, por las razones antes expuestas.

A los efectos del análisis, en primer lugar se tomaron las distancias en línea recta desde las cabeceras municipales hasta los sitios propuestos: 1) El Borbollón – Las Heras y 2) Agrelo – Luján de Cuyo, y posteriormente las mismas distancias por ruta. Obteniendo un promedio de distancias directas y distancias por ruta para ambos sitios.

Como la planta de Maipú seguirá funcionando, para el Municipio de Maipú se consideraron sólo los viajes de rechazo de la Planta hasta los dos sitios propuestos para la construcción de la infraestructura común de disposición final.

En la imagen que se acompaña se puede observar la ubicación relativa de los sitios en análisis y la ubicación de la Planta de Maipú. En la tabla siguiente se consignaron las distancias a los sitios propuestos, desde las distintas cabeceras municipales.

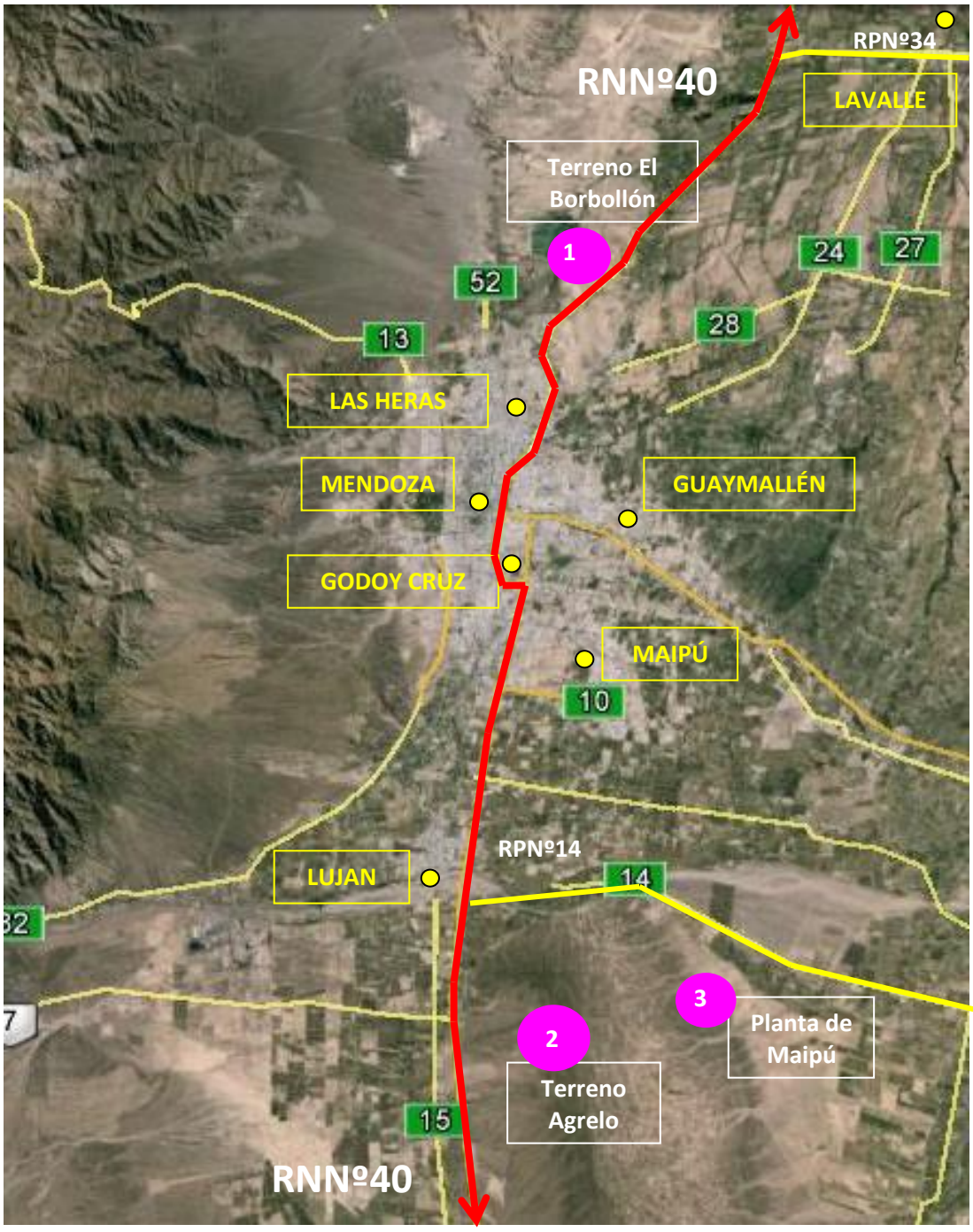

RPNº34
RNNº40
LAVALLE
Terreno El Borbollón
1
52
24
27
28
13
LAS HERAS
MENDOZA
GUAYMALLÉN
GODOY CRUZ
MAIPÚ
10
RPNº14
LUJAN
14
3
Planta de Maipú
2
Terreno Agrelo
15
RNNº40

Tabla 48: Distancias a los sitios de disposición									
DEPARTAMENTO	Distancias						Cantidad de Viajes	Recorrido	
	CTDF Las Heras		CTDF Luján		Planta Maipú			CDF Las Heras	CDF Luján
	L1 (km)	L2 (Km)	L3 (km)	L4 (Km)	L5 (km)	L6 (Km)	v/día	L2*v/día (km/día)	L4*v/día (km/día)
Capital	10,60	12,70	26,36	34,75			24	305	834
Guaymallén	10,10	17,23	23,45	33,30			43	741	1432
Godoy Cruz	14,00	16,17	23,45	27,53			37	598	1019
Las Heras	7,10	13,40	31,41	39,64			9	121	476
Lavalle	19,40	23,00	49,67	65,72			2	46	131
Luján	26,50	34,50	10,78	14,80	13,90	22,07	15	517	
Maipú	32,40	49,10	8,80	31,24	14,29	19,41	4	196	94
PROMEDIOS	**17,16**	**24,84**	**24,85**	**35,28**	**14,10**	**20,74**	**19**	**360**	**664**

Tabla 48: Distancias a sitios de disposición

L1: Distancia directa al CTDF de Las Heras
L2: Distancia por ruta al CTDF de Las Heras
L3: Distancia directa al CTDF de Luján
L4: Distancia por ruta al CTDF de Luján
L5: Distancia directa a la Planta de Maipú
L6: Distancia por ruta a la Planta de Maipú

Distancia de la Planta de Maipú a los CTDF para traslado del rechazo.

De la evaluación de los datos precedentes surge que la distancia promedio desde los distintos departamentos a la localización en Las Heras (Campo Espejo) es de **24,84 km**, en tanto la distancia a la localización de Luján (Agrelo) es de **35,28 km**; siendo la cantidad promedio total de Km a recorrer hasta Las Heras de **360 km/día**, en tanto a Luján sería de **664 km/día**.

Con relación a la accesibilidad a rutas, ambos terrenos propuestos se encuentran muy cercanos a la Ruta Nacional Nº40 (de 3 a 5 km de distancia de la misma).

El sitio preseleccionado de Las Heras se halla relativamente cerca del Aeropuerto de la Ciudad de Mendoza, pero la distancia mínima entre el CTDF y el mismo supera las reglamentaciones internacionales. Los detalles de esta situación, ya fueron desarrollados en el Informe 1: Estudio de Diagnóstico.

Conclusión localización y distancias

De lo analizado se puede concluir, que desde el punto de vista de la accesibilidad ambos sitios se encuentran muy cercanos a una la ruta nacional, que es el eje vertebral Norte-Sur de la Provincia de Mendoza, por lo cual este aspecto es óptimo en ambos casos. En cuanto a las restricciones de localización, también ambos terrenos se presentan sin restricciones. Pero desde el punto de vista del transporte de los residuos, resulta conveniente la localización del CTDF en el terreno ubicado en el Distrito El Borbollón del Departamento de Las Heras, ya que el promedio de kilómetros recorridos diariamente es aproximadamente la mitad del promedio para el terreno ubicado en Luján de Cuyo.

4.3.3.Caracterización física del sitio

En este punto se realiza un análisis compartivo de las características del medio físico y biológico de los dos sitios propuestos, considerando hidrología superficial y subterránea, geomorfología, tipo de suelos, cobertura vegetal y fauna.

4.3.3.1. Flora y Fauna

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

Este sitio, al poseer limos rosados con toscas en superficie, el bajo coeficiente de permeabilidad, ligado a una extracción de leña arbustiva y posterior sobrepastoreo, ha limitado la existencia de la **flora** a muy pocos ejemplares. Se encuentran en la zona: jarilla (*Larrea divaricata*), coirones (*stipa malalhuensis*), retortuño (*prosopis strombulifera*), atamisque (*atamisquea marginata*), garabato (*acacia furcatispina*), piquillín (*condalia microphila*), chilca (*bacharis sp*.) y retamo (*bulnesia retama*)

Estos ejemplares vegetales son la base de la pirámide alimentaria, que al ser escasa en cantidad de especies y poco significativo en número de individuos, deciden lo mismo para el escalón animal inmediato superior. Esta biomasa, es el sustrato para otras especies en condiciones naturales. El estudio de la vegetación en estos casos tiene un enfoque netamente ecológico.

Desde 1910 a 1930, existían bosques de diversas especies autóctonas, los que fueron talados para proveer de leña a la usina de gas, primariamente. Posteriormente la madera fue utilizada en forma masiva, principalmente para el ferrocarril, restando postes mayores y varillones que fueron utilizados en la viticultura, hasta la desaparición de esas importantes masas arbóreas.

Al haber sido suelos degradados y sobrepastoreados, la biomasa sólo es significativa comparada con la que se encuentra presente en otros suelos del desierto.

Cualitativamente la vegetación es achaparrada y de escasa composición florística pero con buena vitalidad. Al ser tan homogénea la vegetación hay poca diversidad de paisaje. El grado de conservación es bastante bajo. La dominancia está marcada por la jarilla (Larrea) a pesar de tener baja densidad de cobertura.

Con relación a la fauna del lugar, se puede mencionar la existencia de las siguientes especies: jote cabeza negra (*corapypus atratus*), hornero común (*fumarius rufus*), martineta común (*eudora elegans*), chingolo común (*zozotrichia capensis*), benteveo (*pitangus sulphuratus*), tordo renegrido (*moluthus bonaerensis*), morenita de collar (*poospiza torcuata*), torcaza (*zenaida auriculata*), churrinche (*pyrocephallus subinus*), pirincho (*guira guira*), lechucita vizcacha (*atheme curriculata*), aguilucho común (*buteo polysoma*), torcacita (*Columba picu picu*), gallito copetón (*rino cripta lanceolata*), gorrión (*paseser domesticus*), pititorra (*trogrodytes aedon*), carpintero real (*colaptes melanolainus*), chimango (*milvaga chimango*), tunduques, cuises.

También se encuentran insectos, representados en pocos individuos. Los potenciales vectores sanitarios están representados por moscasa y palomas domésticas.

- **Terreno Agrelo en Luján de Cuyo**

En general los suelos del predio están formados por sedimentos permeables con tobas que disminuyen la permeabilidad y determinan los consecuentes cambios de vegetación. En este sitio los suelos están muy degradados por acción antrópica y animal, con pérdida bastante significativa de la cobertura vegetal. En cuanto a la situación presente a principios del siglo XX, la situación difería sustancialmente en especies, por las condiciones agroecológicas, pero en cuanto al tonelaje, los volúmenes eran similares. Este predio sufrió las mismas consecuencias de la tala indiscriminada y sobrepastoreo posterior, lo que ocasionó el deterioro ambiental actual.

Al haber sido suelos degradados y sobrepastoreados, la biomasa es pobre. La dominancia también está marcada por la jarilla con poca densidad de cobertura, como en el terreno de Las Heras, pero cualitativamente la vegetación es distinta a la del otro terreno.

La variabilidad de especies dentro de la vegetación es poca, al igual que la diversidad del paisaje. La flora se expresa en pocos ejemplares de: jarilla (*Larrea divaricata*), coirones (*stipa malalhuensis*), garabato (*acacia furcatispina*), piquillín (*condalia microphila*), cebadilla (*bromus unioloides*), cola de zorro (*setaria verticillata*), chilca (*bacharis salicifloria*), chépica (*cynodon dactylon*), morenita (*kochia scoparia*), retamo (*bulnesia retama*).

Hay escasos ejemplares de cada especie, pero en mayor cantidad comparada con el sitio de Las Heras, por las condiciones climáticas más favorables. Este predio tiene mayor promedio de precipitación anual.

La masa verde, es el alimento y refugio para las especies animales en condiciones naturales, pero por la destrucción de la cobertura vegetal citada anteriormente, por extracción de forestales, explotación de recursos forrajeros generando degradación del estrato herbáceo, el suelo se encuentra descubierto.

Otra diferencia importante que presente este predio de Agrelo con relación al predio de El Borbollón es la intromisión en aumento de flora exótica.

Respecto a la presencia de fauna, en este predio se pueden mencionar las siguientes especies: hornero común (*fumarius rufus*), chingolo común (*zozotrichia capensis*), tordo renegrido (*moluthus bonaerensis*), torcaza (*zenaida auriculata*), picaflor común (*clorositibon aueroventris*), churrinche (*pyrocephallus rubinus*), lechucita vizcacha (*atheme cuniculata*), calandria real (*mimus triurus*), aguilucho común (*buteo polysoma*), torcacita (*columbia picu picu*), gorrión (*paseser domesticus*), paloma casera (*columba livia*), chimango (milvago chimango), golondrina barranquera (notichelidon cyranolenca), tunduques, cuises.

Los potenciales vectores sanitarios están representados por moscas, mosquitos y palomas domésticas.

Conclusión Flora y Fauna:

Hay condiciones meteorológicas que condicionan las características de flora y fauna de ambos predios. El terreno de Las Heras presenta temperaturas medias significativamente superiores al de Agrelo, además, este último sitio presenta niveles más altos de precipitaciones. Así, estas condiciones meteorológicas, sumadas a la diferencia de suelo, justifican la diferencia de vegetación y por consiguiente de fauna local.

Si bien ambos sitios se encuentran degradados por las razones expuestas precedentemente, el predio de Luján de Cuyo presenta mayor diversidad de flora y fauna, con mayores posibilidades de recuperación. Por este motivo es que se considera preferible el sitio de Las Heras para la implantación de las obras previstas, además de presentar un índice menor de precipitaciones, lo cual resulta más recomendable para la operación de un relleno sanitario.

4.3.3.2. Hidrogeología

Para la determinación de las características hidrogeológicas de los terrenos propuestos se utilizaron los estudios hidrogeológicos realizados por el Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) de la zona norte de la Provincia de Mendoza.

En el mapa que se agrega, se marcaron los sitios preseleccionados en relación a aspectos hidrogeológicos relevantes de la cuenca hidrogeológica Mendoza Norte o de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior. En dicho mapa se muestra la dirección de los flujos de agua subterránea desde las principales áreas de recarga, el borde hidrogeológico, la divisoria de acuíferos libres y confinados y el área de la cuenca donde los acuíferos confinados presentan surgencia natural.

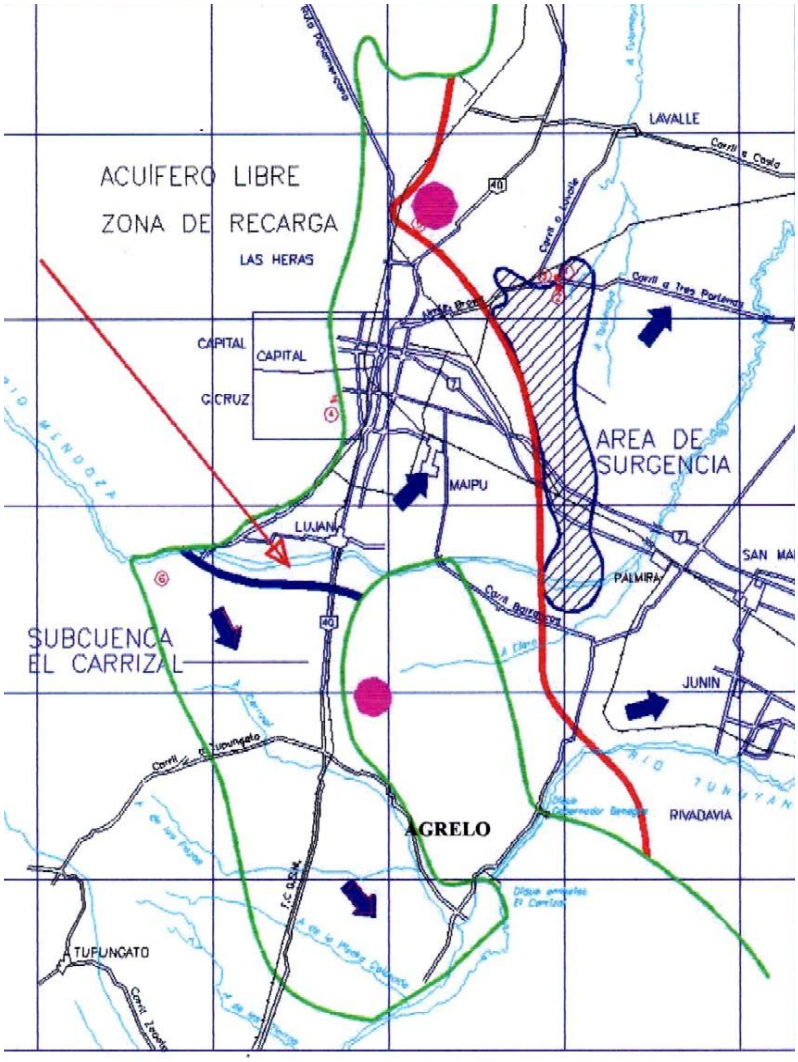


Figura 84: Aspectos hidrogeológicos relevantes en la zona de estudio

La profundidad de la superficie freática, la cantidad y calidad del agua, la ubicación de zonas de recarga, tipos de acuíferos y la dinámica del sistema hídrico ambiental son algunos de los factores hidrogeológicos más importantes que se consideran para obtener la máxima seguridad ecológica del prediseño de un relleno sanitario. Los residuos sólidos urbanos pueden constituirse en una verdadera amenaza para la calidad del agua subterránea. El lixiviado generado por la descomposición de los residuos orgánicos en basurales a cielo abierto o con enterramiento simple que se encuentran ubicados en zonas de suelos permeables, puede producir el arrastre de agentes contaminantes a las napas de agua subterránea.

Desde el punto de vista hidrogeológico en el presente proyecto, se procura asegurar que los residuos se dispongan en relleno sanitarios cuidadosamente diseñados y en las zonas de menor vulnerabilidad y riesgo, para evitar que estos sean un peligro potencial de contaminación de recursos hídrico local, centrado en sus efectos biológicos y químicos que puedan incidir en la salud pública. En realidad, lo que se busca desde el punto de vista de la protección del recurso hídrico, es determinar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación. Esto es para los acuíferos subyacentes o aquellos ubicados en zonas de incidencia o influencia directa.

No obstante atendiendo a la naturaleza de los sistemas hídricos locales que siempre presentan algún grado de interacción con el agua superficial y entre distintas formaciones acuíferas, es muy difícil encontrar un área totalmente libre de riesgos a la contaminación de acuíferos. Por esta razón es imprescindible minimizar los riesgos de acuerdo a las condiciones naturales, pero además tener en cuenta que en cualquier caso será necesario contar con una impermeabilización de fondo de relleno, que impidan la infiltración de lixiviados contaminantes.

Marco Hidrogeológico

Desde el punto de vista hidrogeológico en toda la cuenca se reconocen 3 unidades: basamento resistivo, cubierta sedimentaria impermeable o poco permeable y sedimentos permeables.

Los depósitos aluviales gruesos están formados por rodados redondeados, provenientes de la remoción del piedemonto, constituyendo abanicos y terrazas aluviales modernas. Los depósitos aluviales medianos, son arenas con gravilla que rellenan los cauces actuales. Ambos presentan alta permeabilidad y porosidad efectiva y junto con los niveles de piedemento, conforman los acuíferos y las vías de recarga más importantes de la región.

Los sitios de localización que se están evaluando se encuentran en la zona de influencia de la cuenca hidrogeológica de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior. Esta cuenca de agua subterránea pertenece a un sistema hídrico donde existe continuidad horizontal en los

acuíferos desde áreas de mayor recarga en zonas de acuíferos libres hacia zonas ubicadas al Sur-Sureste y Nor-Noreste de la misma.

Los acuíferos libres, están contenidos dentro de un gran cono aluvional integrado predominantemente por sedimentos gruesos en su desarrollo vertical y horizontal. En el área libre de la cuenca hidrogeológica, se produce la recarga natural del sistema y es allí donde ocurren las mayores fluctuaciones volumétricas.

Los acuíferos libres, subyacentes a áreas cultivadas, tienen una gran influencia a la percolación profunda de los excedentes de riego con aporte de lixiviados químicos y orgánicos que contribuyen a su elevada salinidad, transformándose en verdaderos sumideros de contaminación de todo tipo. En general estos acuíferos están muy interrelacionados a las condiciones locales, por ello las pérdidas por conducción en los canales de riego, la percolación en suelos irrigados y el mantenimiento de las redes de drenaje constituyen los factores determinantes de sus variaciones hidrológicas y químicas.

Tienen diferentes grados de asociación con los acuíferos profundos, aunque en caso de contaminación de la napa freática, por distintos mecanismos pueden contaminarse los acuíferos profundos.

La zona distal de los conos coincide con un quiebre topográfico del terreno que provoca una disminución de su pendiente. Allí se reduce la capacidad de transporte fluvial y la granulometría de los sedimentos, aunque se mantiene el predominio de arenas sobre los intervalos limo-arcillosos. Al sur del arroyo Carrizal comienzan a notarse intervalos limo-arcillosos que le confieren a los acuíferos características de semiconfinamiento y en algunos casos confinamientos lenticulares locales.

La recarga del acuífero se produce por infiltración en el lecho del río Mendoza, infiltración en canales, percolación profunda del riego y en menor medida por las precipitaciones meteóricas, mientras que la descarga ocurre por bombeo desde los acuíferos, descarga por drenaje superficial a través de arroyos que interceptan la freática en zonas medias y distales de la cuenca.

La infiltración en la cauce del río Mendoza se produce principalmente entre la salida del cañón de Cacheuta y el lugar denominado El Paraíso del Departamento de Maipú y para un año hidrológico medio, dicha infiltración asciende a unos 300 Hm3.

La red piezométrica de observación hidrológica de la Cuenca de Agua Subterránea del Oasis Norte de Mendoza ha sido medida en forma casi ininterrumpida desde 1969.

Las series de datos de niveles piezométricos obtenidos en el período invernal constituye la base de al información para la cual se analiza y cuantifica la variación del almacenamiento de agua subterránea frente a las distintas variables de recarga-descarga.

Las direcciones dominantes del flujo subterráneo, son hacia el sudeste, norte y noreste a partir del ápice hidráulico generado por la recarga en el lecho del río Mendoza, cuando éste ingresa en la cuenca. Las mayores cotas piezométricas superan 910 msnm en el extremo occidental del abanico aluvial.

Problemas generados por la acción antrópica

También es necesario evaluar la situación generada por otras actividades que pueden sumar un riesgo adicional de contaminación que en su momento generaría conflictos de asignación de responsabilidades.

Un ejemplo de ello sería la actividad petrolera extractiva en la localidad de Ugarteche ubicada al suroeste de la zona preseleccionada en Luján de Cuyo. Esta actividad ha provocado numerosas situaciones críticas por impactos negativos sobre aguas superficiales y subterráneas, producidos por vertidos incontrolados de hidrocarburos o aguas de producción. Ello predispone negativamente a los agricultores ante cualquier actividad ajena.

En general existen zonas críticas en la cuenca donde pueden ocurrir procesos contaminantes por percolación de líquidos proveniente de efluentes industriales.

También es importante el lixiviado de basurales que produce el arrastre de agentes contaminantes a las napas de agua subterránea. La mayoría de los basurales son a cielo abierto o con enterramiento simple y se encuentran ubicados en zonas de suelos permeables. Los agentes contaminantes de estas actividades son muy variados, encontrándose desde agentes biológicos (bacterias y virus), todo tipo de compuestos químicos y materia orgánica. Por ello, si las condiciones actuales de estos basurales resulta ser inconveniente, se deben definir nuevas localizaciones, estableciendo a su vez medidas correctivas y de mitigación de los impactos ambientales.

Se conoce que la profundidad de la superficie freática es de fundamental importancia para el desarrollo de cualquier actividad humana. Por ejemplo, en el caso de los rellenos sanitarios, es muy importante cuidar que su fondo no sea alcanzado en ningún momento por las oscilaciones naturales o inducidas del nivel freático, ya que de producirse fuga de lixiviados o contacto del agua freática con los residuos, podrán incorporarse rápidamente contaminantes a los acuíferos subterráneos.

Asimismo debe hacer un espesor de terreno no saturado entre el fondo de celda y la superficie freática, ya que el suelo determina un factor adicional de seguridad ante filtraciones accidentales de lixiviados. Un espesor considerable de suelo no saturado representa una zona de aireación y retención por adsorción, que permite la realización de procesos de degradación aeróbica por reacciones bacteriológicas enzimáticas. Sin

embargo los compuestos químicos presentes en los lixiviados y los restos de la biodegración pueden producir niveles de contaminación importantes en los acuíferos más superficiales.
Para decidir la ubicación de la zona mas propicia debe tenerse en cuenta especialmente, como ya se dijo, que los factores locales son los de mayor incidencia en la profundidad de los niveles freáticos y en su evolución temporal. A veces ganar unos metros de altitud en pequeñas zonas elevadas que puedan ser accesibles para la radicación del relleno sanitario constituye una solución a esta problemática.

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

El sitio preseleccionado se encuentra en el sector occidental de la cuenca norte contiguo al establecimiento depurador Campo Espejo donde se efectúa el tratamiento primario de los efluentes cloacales del Gran Mendoza. Las aguas residuales tratadas en Campo Espejo se aplican para regadío en zonas autorizadas para el reuso de esas aguas atendiendo a la escasez de este recurso vital.

Pertenece a una región situada al oeste del río Mendoza que comprende parte de la llanura pedemontana, y de los cordones precordilleranos más orientales. La mayor parte de esta llanura está cubierta por terrenos barreales y conos aluviales de los ríos secos que drenan el borde precordillerano.

En la zona contigua al borde oriental precordillerano, la cubierta sedimentaria cuaternaria está levemente plegada en estructuras alargadas de NNE-SSO constituyendo lomadas entre las que se encuentra el anticlinal de El Borbollón (665 msnm).

Debido al asenso de los cordones precordilleranos y la cerrillada pedemontana el abanico aluvial del río se extendió en dos áreas diferentes. Hacia la parte distal se presentan intercalaciones arcillosas cada vez más frecuentes. Lateralmetne estos terrenos se intercalan con depósitos pedemontanos sin que se observen diferencias litológicas entre ambos.

La zona de interés además de incluir un sector del anticlinal del Borbollón está asentada en depósitos de la planicie aluvial de transición del río Mendoza y pedemontanos recientes y actuales.

El relleno aluvial presenta marcados cambios litológicos laterales propios del ambiente deposicional de abanico y planicies aluviales, alcanzando unos 700 m de espesor al este de la zona. Se encuentra apoyado sobre una base impermeable integrada por terrenos clásticos continentales de edad terciaria y localmente, triásica.

El área que nos ocupa se encuentra ubicada al oeste del anticlinal sobre sedimentos peliticos finos provenientes de la precordillera que se depositaron allí como consecuencia

del endicamiento producido por el flanco oriental de aquel. En dicha área no existen cursos naturales de agua superficial de carácter permanente. Al oeste de la misma algunos cauces colectas escurrimientos pluviales locales y provenientes de sus cuencas superficiales ubicadas en la precordillera. Estos derrames eventuales son controlados por defensas aluvionales construidas al oeste de la zona.

Aquellas lluvias torrenciales que ocurren en el área drenan por la muy poco marcada red de escurrimiento natural y suelen escurrir por el mismo cauce que conduce las aguas residuales de la planta de tratamiento de Campo Espejo a los canales de la red de riego de la zona de reuso.

En la zona de estudio concurren distintos ambientes de depositación conformando un relleno cuaternario con marcados cambios de facies en lo referente a granometría y litología. Estos sedimentos cambian de facie en dirección norte-sur y oeste-este, con disminución notable de granometría y litología produciéndose condiciones de confinamiento-semiconfinamiento en los acuíferos del área.

Como se puede observar en la figura precedentes, al este del área se indica una extensa zona de surgencia para acuíferos con profundidades superiores a 40 m aproximadamente. Esta zona localizada en forma transversal al flujo regional del agua subterránea varía su extensión de acuerdo al almacenamiento de la cuenca hidrogeológica vinculada a la relación recarga-descarga de la misma.

Antes de la incorporación intensiva del uso del agua subterránea en la ecuación del riego para los oasis bajo riego de la provincia de Mendoza, dicha zona de surgencia se extendía hacia ambos extremos ubicados al noroeste y sureste. Vale decir que los acuíferos profundos en sedimentos de edad cuaternaria de al zona de interés aunque actualmente no presentan surgencia natural, están confinados y por ende protegidos de recargas provenientes de la percolación de líquidos que se infiltren en superficie.

Esto indica que existen sedimentos arcillosos que conforman una cubierta sedimentológica de escasa permeabilidad vertical que otorga a los acuíferos subyacentes un confinamiento y por ende una protección natural a la contaminación vertical.

- **Terreno Agrelo en Luján de Cuyo**

Este terreno ubicado en el Departamento de Luján de Cuyo corresponde al afloramiento del Conglomerado Mogotes. El sector está conformado por lomadas de considerable altura, con drenajes amplios y profundos hacia el sur, conformado predominantemente por clastos redondeados a subredondeados con diámetros de 0.10 metros o más. Tiene importantes cantidades de arenas que lo aglutinan fuertemente. En algunas partes se observa presencia de cemento calcáreo o de sulfatos. También se observan todas de colores amarillentos y grisáceos, que disminuyen localmente la permeabilidad.

Por encontrarse rodeado de lomadas correspondientes al Mogote, presumiblemente el sustrato se componga por materiales gruesos de la misma formación. En general son sedimentos permeables, capaces de permitir la percolación de fluidos aunque en partes se encuentra mucho más consolidado y con incipiente cementación, lo que constituye la permeabilidad.

Sobre el lateral Sur del vallecito se observa un cauce seco que indica que pueden existir escorrentías, el cual constituye un afluente del arroy que desagua en el flanco oriental del anticlinal donde se insume constituyendo un vector de recarga de la cuenca cuaternaria del Valle de Carrizal.

Este sector sería el más apropiado, por encontrarse en terrenos más compactados y por tener el drenaje visible y con desagüe hacia el sector central del anticlinal, donde afloran sedimentitas finas, de escasa permeabilidad correspondientes a Serie Amarilla (Terciario Fino).

No obstante se observaron particularmente las características de la cuenca de agua subterránea colindante hacia el sector occidental, teniendo especialmente en cuenta el valor estratégico del agua subterránea para la provincia de Mendoza. Específicamente esta cuenca, ubicada en la margen derecha del río Mendoza y conocida como la subcuenca del Valle del Carrizal, se encuentra seriamente comprometida desde el punto de vista hidrológico ya que durante varios años existió un déficit significativo desde el punto de vista de la relación recarga-descarga.

Como consecuencia de esto, el Departamento General de Irrigación del Gobierno de la provincia de Mendoza declaró la restricción de realización de nuevas perforaciones con la finalidad de evitar el incremento de la explotación del agua subterránea y el descenso de los niveles a valores de alto riesgo.

La subcuenca Carrizal se ubica al sur del río Mendoza sobre la margen derecha, tiene una superficie de 545 km2 y forma parte del área de acuífero libre de la cuenca hidrogeológica de Mendoza Norte.

Este terreno se encuentra en cuencas aluvionales de la vertiente occidental del anticlinal Lunlunta-Carrizal, con drenaje a la zona de llanura del oasis cultivado del Valle del Carrizal. Estas elevaciones constituyen el borde este de la cuenca de aguas subterráneas de la subcuenca y el contacto de los sedimentos cuaternarios que constituyen los acuíferos más importantes con los sedimentos terciarios que conforman la base resistiva de dichos acuíferos.

Las cuencas aluvionales están compuestas de cauces secos de relativamente corta extensión que solo conducen agua esporádicamnte al recibir aportes pluviales. La

corriente de agua que se origina se denomina “torrente”, su crecida es repentina, en general violenta y ocasiona erosiones llevando abundante material sólido en suspensión y por arrastre que deposita en su tramo inferior.

Las crecientes que se producen en estas cuencas son originadas por tormentas de verano, generalmente de corta duración y gran intensidad que traen como consecuencia la generación casi inmediata de un torrente que escurre por los cauces naturales de evacuación. La época de ocurrencia de estos fenómenos corresponde con el período estival que es aproximadamtne entre noviembre y marzo. La mayor parte del año las cuencas aluvionales se encuentran inactivas desde el punto de vista hidráulico, pero la ocurrencia de eventos torrenciales es abrupta y muy pocas veces previsibles en su desarrollo y magnitud. La escasez de precipitaciones y la naturaleza convectiva de estas hace que el sistema ecológico-ambiental de dichas cuencas sea muy vulnerable.

En general en estas cuencas la intervención del hombre ha original un proceso de eliminación de la cobertura vegetal natural. De esta forma se ha favorecido un proceso creciente de erosión de los suelos y de agravamiento de los fenómenos aluvionales. A esta acción deben sumarse los caminos y construcciones de ductos que interrumpen o modifican las líneas de escurrimiento, acentuando el efecto de los aluviones. Por ello las actividades del hombre en estas cuencas deben ser muy bien analizadas en función de los riesgos de aumentar el efecto destructor de los aluviones, modificando a veces su destino final a nuevas áreas de influencia.

Conclusiones hidrogeología

Si bien está previsto la realización del aislamiento de fondo del relleno sanitario a construir mediante membranas impermeables que impiden el percolado de los líquidos lixiviados generados pro la descomposición de los residuos, siempre existe la posibilida de roturas de dicha membrana, constituyendo en ese caso un potencial riesgo de contaminación del agua subterránea. Por estas razones, a pesar de las medidas de control y monitoreo de la efectividad de la impermeabilización de fondo, se deben aprovechar al máximo las protecciones naturales de los acuíferos subyacentes o de áreas proximales.

En este sentido encontramos situaciones diferenciadas en ambos sitios preseleccionados.

El sitio ubicado en el Departamento de Luján de Cuyo se encuentra fuera de la cuenca cuaternaria de aguas subterráneas, pero los sedimentos circundantes son capaces de conducir el agua infiltrada en dirección de los acuíferos del Valle del Carrizal, que en ese sector son libres. Es decir que los ingresos de agua provenientes del sitio preseleccionado, ya sea de origen pluvial o que ingresan por subálveo en los sedimentos aluviales de las cuencas superficiales del anticlinal se incorporan a la cuenca subterránea.

El sitio ubicado en el Departamento de Las Heras se encuentra en el área de interrelación de los conos aluviales del río Mendoza y de arroyos de bajadas pedemontanas en sus facies distales. En dicha zona existe una acumulación de materiales finos impermeables que confinan acuíferos cuaternarios profundos, de tal forma que en períodos hidrológicos ricos acumulan presión hidráulica produciendo niveles piezométricos positivos. Esta situación produce una doble protección natural de los acuíferos profundos: 1) el aislamiento hidráulico con las formaciones sedimentarias superficiales, ya que los sedimentos finos de baja permeabilidad forman una barrera a la percolación del agua, impidiendo la recarga vertical en ese sitio. 2) la presión hidráulica de los acuíferos confinados subyacentes producen componentes ascendentes de flujo subterráneo que impide el descenso gravifico de agua proveniente de sedimentos saturados de las formaciones superficiales.

De acuerdo a las consideraciones hidrogeológias, que deben tenerse en cuenta a fin de minimizar los riesgos de contaminación del recurso hídrico subterráneo por infiltración y percolación profunda de aguas contaminadas, y los riesgos emergentes de eventuales roturas en la membrana impermeable construida en la base del relleno, surge que el sitio más apropiado hidrogeológicamente, es el ubicado en el anticlinal del Borbollón en el Departamento de Las Heras.

4.3.3.3.Hidrología, suelos y topografía

Conceptos sobre el fenómeno aluvional

Torrente: es aquell corriente natural de agua cuyas crecidas son súbitas y violentas; sus pendientes fuertes e irregulares y que, por regla general, deposita en ciertas partes del cauce los material acarreados por las aguas, lo cual es causa de que divagen en el momento de las crecidas.

Avenidas: es un escurrimiento relativamente alto comparado con los valores medios normales de un cauce. Su medición puede efectuarse en forma relativa, determinando la altura del agua por medio de una escala, o en forma absoluta calculando el caudal de descarga. Cuando en un tramo determinado de un cauce se excede la capacidad de conducción del cauce y las aguas escurren fuera de los límites del mismo (overbank flow), se dice que la corriente ha alcanzado su nivel de avenida. El escurrimiento de avenidas es producto de una precipitación intensa, pero pueden ser ocasionadas por otros factores como la falla de una presa de embalse cuando su vaso de almacenamiento está lleno, o la apertura rápida de compuertas de un aprovechamiento hidroeléctrico al colmatarse la capacidad por la ocurrencia de precipitaciones intensas.

Característica de las avenidas en la Zona de Estudio

Las crecientes que se producen en las cuencas aluvionales son características de las zonas áridas y semiáridas. Son originadas por tormentas intensas de verano, producidas por convección térmica, generalmente de corta duración, y que traen como consecuencia la rápida generación de un volumen considerable de agua que escurre por los cauces evacuadores naturales.

La época en que se producen tales fenómenos, de acuerdo con el régimen climatológico de la región, es la que corresponde al período estival, aproximadamente desde mediados de noviembre a mediados de marzo, en el sector bajo estudio. En la mayoría de los casos, las crecientes aluvionales son conducidas y evacuadas por cauces aluvionales que permanecen sector durante todo el año, o sea que solmante conducen las aguas precipitadas durante la tormenta y a lo largo del tiempo de duración de la avenida.

En general estos cauces desembocan en los ríos principales o en canales colectores construidos para tal fin. En este caso el río se convierte en un evacuador de crecidas, debiendo prestar especial atención en este caso a las áreas de ribera. La relación entre el caudal de una avenida de origen aluvional y el de régimen permanente (caudal base) de un río puede ser hasta 40 veces superior a este último. Para arroyos efímeros puede ser hasta 200 a 400 veces mayor.

Características del escurrimiento superficial

Escorrentía: una vez producida la precipitación, el agua puede llegar a los cauces colectores siguiendo uno o varios caminos desde el punto en que cae sobre la superficie. Una parte del agua caída fluye sobre la superficie del suelo, constituyendo la denominada escorrentía superficial, mientras que otra parte se infiltra en el terreno natural, en mayor o menor grado según su naturaleza o es interceptada por el follaje de la vegetación para evaporarse posteriormente. La precipitación es el factor principal que determina el caudal. La secuencia de los fenómenos es tal que la escorrentía va retrasada en relación con la precipitación que produce, dependiendo este retraso de las características geomorfológicas de la cuenca.

Abstracción Inicial: la abstración incluye la intercepción de la precipitación por la vegetación del terreno, el almacenamiento en depresiones en la superficie del suelo a medida que el agua se acumula en llos, e infiltración de agua en el suelo. Las abstracciones por intecepción y almacenamiento en depresiones se estiman con base en la naturaleza de la vegetación y de la superficie del terreno o se suponen despreciables en una tormenta grande.

El Soil Conservation Service, desarrolló un método para calcular las abstraccciones de la precipitación de una tormenta. Pero en la tormenta como un todo, la profundidad del

exceso de precipitación (la porción de lluvia que realmente produce escorrentía) es siempre menor o igual a la profundidad de la precipitación. De igual modo, después que se inicia la escorrentía, la profundidad de agua retenida en la cuenca es menor o igual a la retención potencial máxima.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica que está relacionada con la superficie del terreno. Para estandariza estas curvas se definió un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y de agua CN=100; para superficies naturales con CN <100. Este método es utilizado para calcular el hietograma de precipitación efectiva, es decir, el que produce realmente escorrentía directa.

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

Suelo y Topografía

Los suelos de este predio corresponden a arenas finas, no plásticas, con presencia de carbonatos y sales, y limos no plásticos.

El paisaje corresponde a una zona deprimida suavemente ondulada, con pequeños bajos circunscriptos de tipo erosivo. Se trata de una zona de sedimentación, el factor erosivo predominante es el eólico con procesos de meteorización física y acompañado de erosión hídrica en menor escala.

Las capas aflorantes conforman una seire, suavemente alabeada en dos anticlinales paralelos, constituida por limos rosados, ricos en material tobáceo y algunas costras calcareas de facies lacustres. Los niveles limoarcillosos constituyen la parte inferior y ampliamente dominante de toda la secuencia (perfil) y corresponderían principalmente a la meteorización y redeposición de cenizas y lapillis (trocitos) volcánicos.

El paisaje superficial resultante de la erosión presenta un aspecto de “hayquerías” (bad lands) cuyo desarrollo está limitado por la escasa diferencia de altitud de las “cerrilladas” con respecto a las zonas adyacentes, de tal manera que la vegetación autóctona juega un papel importante en el control de la erosión.

Red de drenaje general

El cauce más importante del entorno del terreno es el Colector Las Heras, cuya traza tiene sentido O-E y discurre contiguo al límite Norte del Establecimiento Depurador de aguas cloacales Campo Espejo. La cuenca de aporte de dicho cauce está en el orden de los 130 km2.

El segundo cauce en importancia es el denominado Canal Moyano, cuya dirección está casi alineada con la N-S. Este canal, además de ser un colector pluvial cumple la función de transportar hacia el ACRE (Áreas de Cultivos Restringidos Especiales) Campo Espejo, los líquidos cloacales tratados del Gran Mendoza, lo cuales son utilizados en reuso agrícola. La superficie bajo riego está en el orden de las 2700 ha. Tiene un caudal base medio anual de 1,5 m3/s, el cual se incrementa ante la ocurrencia de precipitaciones.

Ambos cauces se unen en el vértice N-E del Establecimiento mencionado, tomando hacia el Norte, en este punto el Colector Las Heras gira y toma dirección Norte.

Aguas debajo de la convergencia de estos cauces se encuentra un terraplén de cierre que conforma un embalse de retención denominado Vaso Campo Espejo. Este embalse cumple la función de regular el caudal de salida de la cuenca ante la ocurrencia de precipitaciones. Evidentemente, el sector crítico del sistema de drenaje se encuentra en la confluencia de los cauces mencionados. En dicho lugar es notable la existencia de abundante vegetación autóctona, la cual contribuye a estabilizar las márgenes de ambos colectores. Dicha vegetación tiene en cualquier época el aporte de humedad asegurado para la subsistencia, en razón que el Colector Moyano transporta efluentes tratados durante los 365 días del año.

La existencia del Establecimiento Depurador Campo Espejo hacia el Oeste del predio en análisis, representa una barrera contra los fenómenos aluvionales. En la figura que se agrega a continuación se puede observar el sistema descripto.

Figura 85: Esquema de colectores de drenaje

Vaso Campo Espejo

Este vaso tiene los siguientes límites:

- Norte: terraplén compactado, con dirección NE-SO, actúa como divisoria y hace las veces de obra de cierre de la cuenca.
- Sur: Establecimiento Depurador Campo Espejo.
- Este: elevaciones naturales del terreno que constituyen la margen derecha del colector de afluentes tratados correspondientes al establecimiento mencionado. Dicho colector vierte los líquidos al Vaso Campo Espejo, para posteriormente seguir hacia el ACRE homónimo.

El vaso se compone de dos cuencos y dispone de dos obras de toma (torres) por donde el escurrimiento continúa hacia aguas abajo del terraplén de cierre. El canal evacuador es conocido en la zona como el Colector Moyano. Este vaso tiene una capacidad aproximada de 1,82 hm3.

Sobre el límite NE del cuenco se encuentra un aliviadero construido en tierra, con una cota menor que la del coronamiento del cierre. Su función es la de proteger al terraplén en el caso de grandes crecidas.

Red de Drenaje particular

Es importante destacar que la actividad aluvional más intensa se encuentra hacia el Oeste del predio, donde como ya se indicó existe la barrera de protección de los terraplenes correspondientes a las piletas de tratamiento de efluentes cloacales del Establecimiento Depurador Campo Espejo.

El terreno en análisis está influenciado por microcuencas de superficie relativamente pequeña, ya que la divisoria de aguas se ubica entre la traza del Colector Moyano y la Ruta Nacional Nº 40. La mencionada divisoria se dirige en forma sesgada hacia la línea NO hasta llegar a interceptar casi la traza del Colector Moyano, con lo cual, hacia el N las micro cuencas se van haciendo cada vez más pequeñas en superficie.

El escurrimiento general de todo el predio es de E a O. Existe un importante desarrollo de vegetación en los valles, lo cual contribuye a controlar los procesos erosivos en caso de tormentas importantes. En la recorrida del terreno no se observan cauces de mayor importancia, como tampoco signos importantes de erosión.

- **Terreno Agrelo en Luján de Cuyo**

Suelo, Topografía y red drenaje

Este terreno se emplaza en un relieve de cuchillas y cauces paralelos que conforman las denominadas Cuchillas del Carrizal. El suelo presente en la cuenca está compuesto por arenas finas, limos y gravas medianas y gruesas con poca cohesión.

Este sitio presenta características típicas de la geografía pedemontana mendocina caracterizada por suelos de origen aluvial y existencia de vegetación xerófila de hasta 2 metros de altura, con signos de moderada actividad aluvional.

El pedemonte mendocina en general, se encuentra afectado pro intensos procesos morfodinámicos donde prevalece la erosión hídrica. La cuenca de incidencia sobre el terreno tiene dirección de escurrimiento E-O, con una pendiente media del orden del 1,5%. Limita al Norte con las Cerrilladas de Lunlunta y al Este con las Cuchillas del Carrizal.

La configuración de la red de drenaje hace pensar, en primera instancia, que la actividad aluvional es fuertemente controlada por la vegetación existente y por la capacidad de infiltración del suelo.

Considerando la topografía del sector en conjunto con densidad de cauces de drenaje, permitiría ubicar los módulos del relleno sanitario sobre la misma cuenca en sectores protegidos o menos expuestos a la erosión hídrica, minimizando riesgos e inversiones en obras de defensa.

Conclusiones hidrología, suelos y topografía

Si bien en el terreno de Luján de Cuyo existen signos de mayor actividad erosiva localizada en los cauces de descarga, ello no resulta un condicionante de peso al momento de comparar desde el punto de vista hidrológico ambos terrenos. Pero en general, el terreno de Las Heras presenta signos de menor actividad aluvional y erosiva, además de contar con la barrera de protección aluvional del terraplen de Campo Espejo mencionado.

Desde el punto de vista del tipo de suelos, el terreno de Luján está conformado por arenas finas y gravas con poca cohesión, en tanto el terreno de Las Heras se caracteriza por un suelo con arenas finas, presencia de carbonatos y sales con limos no plásticos, los que resultan suelos con mayores características de impermeabilidad. Por otra parte, este último terreno presenta en su conformación la existencia a profundidades variables de una capa de tosca, la cual actuaría como barrera natural vertical para el caso de eventuales infiltraciones.

4.3.3.4. Características socioculturales de los sitios propuestos

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

En el entorno de este predio existen dos poblaciones que se encontrarían directamente vinculadas al proyecto, y que físicamente están separadas por la Ruta Nacional Nº40. Estas poblaciones presentan características diferenciadas entre sí.

Población al oeste de la RNNº40

Esta población se divide en dos grupos, uno ubicado en El Refugio, El Borbollón Norte y Polvorosa. Se trata de una población muy dispersa y de características rurales. La otra población se ubica en ambas márgenes laterales de la calle San Ramón, aproximadamente 800 metros al oeste de la Ruta Nacional Nº40, y también se trata de una población rural.

En ambos grupos, y con relación a las características de las viviendas se observan diversos tipos de construcción. Algunas de corte antiguo, de adobe y también construcciones sismo resistentes. En su mayoría son propietarios y otros casos se trata de viviendas cedidas por sus titulareas a cambio de tareas rurales.

Es importante señalar que las familias emplazadas el norte de al calle San Ramón cuentan con agua de riego, motivo por el cual se advierten predio cultivados. Mientras que en la lateral su, utilizan agua de pozo, por lo que se distingue la zona por sus condiciones de aridez. Algunas familias poseen huertas familiares y corrales, recibiendo el apoyo y asesoramiento del INTA.

Se trata de una población joven, con muchos adolescentes y pocos ancianos. En su mayoría conforman familias tipo que no superan los 5 miembros. Es de destacar que la figura paterna se encuentra ausente en un porcentaje muy importante. Esto se debe a la búsqueda de otras fuentes de trabajo que lleva al hombre de la casa a dejar solos a mujeres y niños. En este sentido, es importante resaltar que esta población no está vincualda al trabajo con residuos sólidos domiciliariso, no acuden al vertedero municipal de Las Heras, a pesar de su proximidad física a este.

En cuanto a la salud, las afecciones más frecuentes son las de origen respiratorio y las causales de muerte registradas en el Centro de Salud de la zona, son el resultado de accidentes.

El equipamiento existente en la zona consiste en la Escuela Francisco Moyano de nivel primario, que funciona en dos turnos, el Centro de Salud Nº 21 que depende el Ministerio de Salud del Gobierno de la Provincia y la Delegación Municipal El Borbollón que funciona en la sede de la Unión Vecinal.

Los medios de transporte público de pasajeros no satisfacen las necesidades de la población: tienen una frecuencia de 4 veces por día.

La actividad comercial y productiva está representada por un tambo, un aserradero y pequeños negocios de venta de comestibles.

Población al este de la RNNº40

Esta población está integrada por los barrios Buenos Vecinos y Loteo Romera, a los que se ingresa por la calle Coronel Recuero. También en este sector se ubican los barrios Santo Tomás de Aquino, Capitan Gutierrez y Don Bosco.

El 80% de esta población desarrolla actividades vinculadas a la clasificación y reciclado de residuos. Dicha actividad es desarrollada por los jefes de familia desde hace por lo menos seis décadas, como fuente de sustento. Como ya se comentó, existe una organización denominada “Cooperativa El Borbollón”, a las que pertenecen quienes trabajan en el Vertedero. Esta institución es la encargada de organizar los turnos de trabajo.

Las familias provenientes del Bº Capital Gutierrez trabajan en actividades agrícolas y en establecimientos industriales próximos a la zona. Alrededor del 60% de las familias son beneficiarios de planes sociales.

En cuanto a la tenencia de las viviendas, el Bº Capitan Gutiérrez y Bº Santo Tomás de Aquino, sus terrenos están hipotecados a favor del Instituto Provincial de la Vivienda, las construcciones presentan características heterogéneas. En el primero de ellos las construcciones son variadas y en el segundo son sismorresistentes.

En los barrios Don Bosco y Buenos Vecinos la población es ocupante de hecho de los terrenos y las viviendas presentan características variadas. En el caso del Loteo Romera, también la población es ocupante de hecho, pero se gestiona título supletorio. Al igual que en los casos anteriores las viviendas presentan características variadas.

Los barrios mencionados cuentan con red de agua potable y suministro de energía eléctrica. Se trata de una zona con escasa actividad agrícola. Se emplazan aquí algunas industrias, fábrica de pintura, fábrica de talco, agroquímicos, fábrica de cerámica y frigorífico Regional Andino. También hay una expendedora de combustibles.

En general se trata de una población joven, con muchos adolescentes y poca población de la tercera edad. En su mayoría son grupos familiares de cinco miembros.

Los problemas de salud más frecuentes son la desnutrición y mal nutrición infantil, adicciones, alcoholismo, embarazos precoces, afecciones de piel.

En cuanto al equipamiento existente en estos barrios, encontramos dos escuelas de nivel primario y otra de nivel medio que funciona en uno de los edificios de las primeras. En el Barrio Santo Tomás de Aquino, existe una Posta Sanitaria Municipal que no cubre las necesidades de la zona, por lo que los habitantes deben trasladarse al Centro de Salud Nº21 de Capdevila, o en aquellos casos de mayor complejidad hasta el Hospital Gilhac (del Distrito El Algarrobal) para recibir atención. También cuentan con un comedor infantil y Comunitario y una Guardería.

En el Loteo Romera funciona una Guardería Infantil. El Barrio Don Bosco cuenta con una Biblioteca Pública. En la zona descripta se emplaza un Destacamente Policial. La comunicad de estos barrios está organizada a través de Uniones Vecinales. Se advierten en todos los barrios la presencia de comercios minoristas. El único medio de transporte público es una línea de colectivos urbanos, que realiza el recorrido Luján de Cuyo-Las Heras.

En toda la zona de El Borbollón se observan acopios de residuos domiciliarios dispersos en lotes baldíos y en predios contiguos a viviendas particulares.

- **Terreno Agrelo de Luján de Cuyo**

La actividad económica más importante de la zona es la agricultura. El cultivo de la vid ocupa el primer lugar. En los últimos años se ha incrementado la superficie de cultivos de ajo y tomate destinados a la exportación.

En lo referente a las industrias del lugar, se destaca la elaboración de vino con importantes bodegas, algunas de ellas cuentan con reconocimiento y prestigio internacional. Se trata de una zona óptima para el cultivo de la uva malbec de cuya elaboración se extraen vinos que compiten en el mercado mundial.

El sitio preseleccionado se emplaza en una zona de cerrilladas pedemontanas donde no existe hasta el momento ningún asentamiento poblacional. Hacia el oeste del mismo, a poca distancia, cruzando la Ruta Nacional Nº40, se encuentran viñedos y el ingreso a la bodega de una prestigiosa firma internacional.

El conglomerado urbano más cercano se ubica de 2 km aproximadamente del lugar, es el centro cívico del distrito. En este punto se encuentra una población de 3000 habitantes distribuidas en las laterales este y oeste de la Avenida San Martín o Ruta Provincial Nº15. Esta constituye una importante vía de circulación entre la Ciudad Capital de la Provincia y el Departamento de Luján de Cuyo.

La actividad económica de esta población está vinculada a las actividades agrícolas. En este sentido, en épocas de cosecha, se instala en la zona población golondrina que se asienta en las mismas fincas. Esta población, tradicionalmente viene del norte del país y del vecino país de Bolivia.

Por otra parte, la población de Agrelo, especializada en tareas agrícolas, es demandada en fincas de departamentos vecinos para desarrollar tareas puntuales, por lo que se traslada en forma transitoria y vuelve a su lugar de origen.

Hay una franja de población beneficiaria de algunos programas sociales.

En cuanto a las características de las familias, podemos decir que son ampliadas (además de la familia nuclear, se van incorporando nuevos miembros como parejas de hijos, nietos, etc.), en general de no más de cinco miembros por cada familia. Se advierten muchas mujeres solas, con ausencia de figura paterna. De éstas, algunas pocas se trasladan hasta el centro de Luján donde se desempeñan en tareas domésticas, y el resto desarrolla actividades agrícolas. Algo característico es que hay muy poca migración de estas familias a centros urbanos, ya que cuentan con fuentes de trabajo e infraestructura suficiente que les garantiza su supervivencia.

El tipo de vivienda es muy variada, pero se observa el predominio de las construcciones sismorresistentes. En este sentido, podemos mencionar algunos barrios del IPV (Valle de Agrelo I, Valle de Agrelo II y Barrio San Luis). También existen viviendas de construcción tradicional que no han sido edificadas en el marco de Planes Sociales. Cuentan con red de agua y energía eléctrica.

En cuanto al equipamiento de la zona existen tres Centros de Salud (Centro de Salud Nº35, ubicado en calle San Martín 8899, del centro de Agrelo; el Nº33, más distante, en la calle Cobos s/n, Colonia Agrelo y el Nº39, en la ruta 40, en el km 37, ya en el distrito vecino de Ugarteche). La población que más demanda atención en Centros de Salud son las mujeres, niños y ancianos. Las consultas, en su mayoría, son realizadas por enfermedades estacionales, diabetes e hipertensión en los casos de las personas de la tercera edad. Al llegar a la adolescencia, se pierde el acompañamiento de las personas. Los adolescentes están vinculados a conductas adictivas y no existen espacios destinados a su contención en esta edad crítica. El único espacio destinado a actividades creativas en la zon es el Club de Agrelo, al que asisten mayoritariamente personas de la tercera edad.

En relación con la oferta educativa de la zona, se encuentra una escuela de nivel primario – Esc. Nº158 Gral. Espejo, sito en calle San Martín y Barranca, una escuela de nivel medio – Esc. Nº4-172, con orientación Ambientalista, Ciencias Naturales y Salud y una escuela para adultos que funciona en este último edificio en turno noche. En Colonia Agrelo se encuentra una escuela nocturna que ofrece capacitación para adultos. También se encuentra la Esc. Azopardo, de nivel primario, ubicada en el interior de la Finca Norton. La Esc. Gral. Espejo ofrece Comedor Escolar. En el Barrio Valle de Agrelo funciona un Comedor Comunitario al que concurren niños y ancianos.

Cabe destacar que la oferta educativa de nivel primario de la zona no alcanza a cubrir las necesidades de la población, por lo que algunos niños de Agrelo se dirigen diariamente a las escuelas Baldini y la Picada, ubicadas en el Distrito de Ugarteche, por la Ruta Nº 15, distantes 10 km de su lugar de residencia.

La actividad comercial está centralizada a lo largo de la calle San Martín, arteria sobre la cual se ubican negocios de muy variados rubros, que conforman un centro comercial con capacidad para satisfacer las necesidades de al comunidad. Las industrias de la zona se reducen a algunos establecimientos metalúrgicos y galpones de empaques de frutas.

Sobre la Ruta Nacional Nº40, a pocos kilómetros hacia el norte del sitio propuesto se encuentra una estación expendedora de combustibles.

Una importante fuente de recursos económicos para el Departamento de Luján de Cuyo es el turismo. En tal sentido en Agrelo se encuentra un importante circuito turístico denominado “Ruta del Vino” que involucra la visita guiada de turistas a cultivos y bodegas de gran relevancia.

Conclusiones del entorno sociocultural

A partir del análisis de lo expuesto precedentemente surge que por su situación geográfica y posición estratégica, el sitio emplazado en Agrelo cuenta con un potencial de desarrollo económico, por una parte por la actividad vitivinícola, ya que las condiciones climáticas colocan al sector en una posición de privilegio para la producción de malbec y por otra por el desarrollo turístico que está teniendo la región.

A diferencia de esto, en el terreno ubicado en El Borbollón-Las Heras, no se encuentra en los alrededores un desarrollo pujante de actividades que se pueda ver alterado con la presencia de una infraestructura para el tratamiento y disposición final de RSU. En esto se incluye cualquier tipo de actividad agrícola cuya producción pueda ser cuestionada en términos de contaminación o actividad turística que se vea amenazada por las condiciones del paisaje. Si bien pasan por aquí vías importantes como son la Ruta Nacional Nº40 camino a San Juan y la ruta provincial que conduce al circuito turístico de Villavicencia, las condiciones naturales de la zona, permiten que el establecimiento que vaya a ubicarse en el lugar, no genere contaminación de tipo visual.
En cuanto a las actividades laborales de la población, en Agrelo están instaladas actividades agrícolas como principales fuentes de trabajo y de sustento para familias de la zona. El instalar una infraestructura de tratamiento de RSU implicaría generar un posible sitio apto para la instalación de poblaciones informales atraídas por las posibilidades de contar con acceso a algunos servicios sin costo alguno y recurrir a un nuevo medio de sustento.En cambio, en Las Heras la población que es bastante numerosa, se encuentra hasta culturalmente vinculada a la actividad del actual vertedero. En este sentido, si se trasladara el sitio de disposición final de residuos a otros parajes, se debería trabajar en la formación, capacitación y acompañamiento de muchas familias para que encuentren otro medio de vida.

Otro aspecto muy significativo a tener en cuenta, es el equipamiento y la infraestructura que ofrecen las diferentes alternativas de localización. En el caso de Agrelo, la oferta de servicios en materia de salud, educación, seguridad y urbanización parecieran estar medianamente satisfechas. En cambio en El Borbollón aparecen muchas deficiencias en este sentido. Requieren mayores y mejores prestaciones en materia de salud, instituciones educativas, seguridad, transporte y urbanización (pavimento, alumbrado público, gas natural y cloacas). La instalación del Centro de Tratamiento de Residuos para la Zona Metropolitana, puede ser la oportunidad para elever el nivel de vida de este sector tan excluído que presenta características más de tipo urbano marginal.
Por todo esto se considera que desde el aspecto sociocultural, el sitio más adecuado para la locación de la infraestructura de tratamiento y disposición final de RSU es el terreno de Las Heras.

4.3.3.5. Características de uso del territorio de los sitios

Ordenamiento territorial y medio ambiente se encuentran estrechamente integrados en una visión del territorio que comprende el espacio y la sociedad que lo habita en todas sus dimensiones, entre ellas la ambiental.

El análisis que se presenta sobre las distintas posibilidades de localización del centro ambiental para el tratamiento y la disposición final de los RSU de la Zona Metropolitana se efectúa bajo esta conceptualización. La localización más apta desde el punto de vista del ordenamiento territorial, sociológico e hidrológico será, entonces, también la más adecuada desde aquellos puntos de vista ambientales aplicables al estudio del territorio.

La ubicación de la infraestructura propuesta implica no solo el mejoramiento de la calidad ambiental de sus habitantes, en lo referente a la preservación y/o mejoramiento de las condiciones sanitarias de la población tanto rural, como urbana, sino que también promoverá mejores condiciones para el desarrollo productivo de estos territorios en el marco de una economía cada vez más globalizada y, por lo tanto, más competitiva.

La presencia hegemónica de un modelo productivo agroindustrial vitifinícola, petroquímico y extractivo en la extensión de esta zona provincial, obliga a la elaboración y coordinación de políticas públicas orientadas a crear condiciones ambientales que contribuyan, directa o indirectamente, a aumentar la cantidad y alcanzar mayor calidad en sus producciones.

Desde el punto de vista ambiental es innegable que la ubicación geográfica de los sitios de disposición final de RSU de acuerdo a procedimientos adecuados y en sitios dispuestos específicamente a tal fin, representa una ventaja significativa. Evitará la degradación y mejorará la calidad de vida en una amplia zona que hoy presenta una multiplicidad de sitios de disposición incontrolada de residuos, repartidos de manera no planificada en un territorio que los recibe como elementos generadores de impactos ambientales negativos.

Un Centro Ambiental integrado para al Zona Metropolitana, liberaría a varias áreas de los distintos departamentes de estos efectos indeseados. No se trata simplemente de evitar los basurales a cielo abierto dispersos y centralizar la disposición de los RSU en un “gran basural” sino de tratarlos de manera adecuada, con lo que los efectos ambientales y territoriales negativos se verán minimizados, aún tratando volúmenes importantes de residuos.

La decisión de encarar un emprendimiento de este tipo tiene, sin embargo, sus costos: se trata de “costos económicos” derivados de la construcción del centro ambiental así como de su operación en condiciones satisfactorias y de los “costos sociales” derivados de la aceptación de las comunidades locales de un emprendimiento de este tipo. Pero estos costos no sólo se justifican por la mejora ambiental, sino que aún desde la lógica del

mercado, el mejoramiento ambiental de un área aporta a la rentabilidad de un territorio, si no en el cortísimo plazo, seguramente en el mediano y largo plazo. Un territorio libre de efectos ambientales negativos es un territorio atrayente para la producción, la inversión y los nuevos emprendimientos. Los productos de un territorio "limpio" son factibles de ser ubicados en los mercados exigentes. Finalmente el costo del deterioro, la degradación y la contaminación terminan por trasladarse, de una u otra manera, a los habitantes de un área, a las empresas que en ella se localizan y por último a los productos generados.

La importante actividad agrícola, industrial y comercial en los departamentos que componen la región, con la consiguiente valoración de los suelos con potencialidad productiva, es una hipótesis considerada en el análisis de la posible localización, sumados a los proyectos de inversión que se espera lleguen al sector.

Finalmente la percepción de los vecinos y los habitantes de la zona en la que se instalará el Centro Ambiental, es un factor de la mayor importancia en la decisión de localización. No sólo es necesario que el emprendimiento genere efectos positivos sino que, además, esto debe ser percibido por quienes verán modificado su hábitat con la localización del vertedero. El medio ambiente percibido "incluye aquellas variables que son percibidas o inferidas por el sistema antrópico en los planos del individuo, del grupo, de la sociedad o de la especie" (Gallopin). Así, la valoración personal o social que se haga del emprendimiento dependerá de una serie de factores subjetivos y particulares: la situación actual y las expectativas del grupo social involucrado, el tipo y calidad de información sobre el emprendimiento que llega a los habitantes locales, la sensibilización de los mismos frente a situaciones similares vividas con anterioridad, etc.

En este caso, los dos terrenos estudios no presentan problemas de aceptabilidad social, por cuanto por su ubicación no existen asentamientos poblacionales cercanos, centrándose fundamentalmente la problemáticas en factores económicos, de accesibilidad y ambientales. De acuerdo al estudio sociológico efectuado, el sitio de Las Heras es el que mejores condiciones de aceptabilidad social presenta.

Las poblaciones involucradas (en cuanto sujetos sociales colectivos) generan y generarán demanda de bienes y servicios, como así también (según hábitos de consumo determinados por distintos niveles socio-culturales de los sectores sociales urbanos y rurales) producirán residuos de diversa índole, los cuales, de no mediar un correcto sistema de control y prevención, comprometerían las condiciones necesarias de preservación para el desenvolvimiento de adecuados niveles de calidad de vida en el conjunto de la población.

Dinámica poblacional en los Departamentos de Las Heras y Luján de Cuyo

La creciente concentración de la población en áreas urbanas responde a prolongadas situaciones de crisis en los sectores rurales de los departamentos que integran la Zona

Metropolitana, pero al mismo tiempo, son parte de situaciones mayores de orden provincial y nacional.

Toda población genera demandas de bienes y servicios, como así también produce elementos residuales de diversa índole, según niveles socio-culturales de los distintos estratos sociales que la componen. Lo sustentado guarda una directa relación con el aumento de poblaciones en situaciones de transición hacia formas urbanas.

Otra dimensión del estudio esta dada, por aquellas otras aglomeraciones urbanas, que en estos contextos departamentales particulares registran un elevado grado de urbanizaición y, por lo tanto, constituyen áreas de producción de bienes y prestación de servicios con diversos niveles de complejidad. Consecuentemente, provocan (de manera análoga a las otras formaciones urbanas menores) residuos de diversas magnitudes según el número de su poblaciones y las actividades heterogéneas que en ellas se desarrollan.

Estas consideraciones inducen a sustentar el criterio que el diseño territorial de los equipamientos (entre los que se hallan los de recolección y disposición final de los RSU) depende de las formas de distribución territorial de la población. Esto último condiciona y predetermina el trazado de las vías de circulación y transporte en función no sólo de los costos que implican, sino también de la preservación de las condiciones ambientales que aseguren la calidad de vida de las poblaciones rurales y urbanas.

Conclusiones características del territorio

Como se mencionó, en primer lugar, se debe identificar la importancia de contar con un sistema de disposición final controlado de los residuos, desde el punto de vista de territorial, ya que como se expuso precedentemente la disposición incontrolada de residuos y la consecuente contaminación afectan sin lugar a dudas al desarrollo territorial del entorno.

Dicho esto, y con relación a los dos sitios propuestos, ninguno de los dos presentaría inconvenientes desde el punto de vista territorial, ya que no existe población asentada en el sitio, y ambos se caracterizan por un entorno sin asentamientos poblacionales cercanos.

Pero el sitio de Las Heras presenta mejores condiciones que el de Luján, ya que se emplaza en un sitio destinado a actividades industriales y con poblaciones directamente relacionadas con el actual vertedero controlado de RSU que opera actualmente en el sitio.

En tanto en el terreno de Luján no se realizan actividades actualmente, por lo cual la implantación de esta infraestructura implicaría un impacto nuevo, además del hecho que la actividad predominante en este sector es la agrícola, por lo cual no presentaría el mismo nivel de compatiblidad con la nueva actividad que el terreno de Las Heras.

4.3.3.6.Metodología para la selección de alternativas de localización

La instalación de un Centro de Tratamiento de RSU bien planificado es un elemento sumamente positivo en el ordenamiento territorial de la Zona Metropolitana. Contribuye a una mejor implementación de sus infraestructuras y áreas de servicios básicos, y por lo tanto, aporta a una mejor estructuración espacial/ambiental y con ello al incremento y desarrollo de las condiciones actuales y potenciales del territorio en cuestión.

En este análisis de localización se pretende lograr la posibilidad de alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico, la calidad de vida de la población y la conservación del ambiente. En consecuencia, se han tenido en cuenta un conjunto de variables que, directa o indirectamente, contribuirán a una localización adecuada del emprendimiento proyectado según posibilidades territoriales, ambientales y poblacionales.

Las variables consideradas en el presente estudio para la selección de la localización de un centro de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos son las siguientes:

1) Factores Territoriales

    a) Usos del suelo.
    b) Ordenamiento territorial previsto: planes municipales, fortalecimiento y articulación de centros urbanos, densificación del oasis de riego, extensión de la frontera agrícola, reconversión productiva, planes de inversiones.
    c) Factores económicos: precio de la tierra, impacto en el mercado de tierras, estructura económica del área, fuerza de trabajo, tasa de ocupación/salarios, infraestructura existente.
    d) Factores socioculturales: salud, expectativas de los habitantes del entorno, aspectos paisajísticos, aspectos histórico-culturales.

2) Factores Hidrogeológicos

    a) Profundidad de los niveles freáticos.
    b) Riesgo aluvional.
    c) Riesgo potencial de rotura de la impermeabilización de fondo de celda.

3) Factores de transporte

    a) Distancias de transporte/costos.
    b) Infraestructura vial de acceso.

Para cada uno de los sitios propuestos para la localización del emprendimiento se ha considerado la conveniencia de su ubicación relativa. Asimismo, se evalúan los impactos positivos o negativos que se producirán en caso de ser localizado el relleno sanitario.

Esta clasificación parte de las diferencias en percepción y de la realidad interrelacional, calificándose en *positivos, neutros o negativos*.

A continuación se detallan los factores considerados para el análisis, los criterios de valoración aplicados y la evaluación de cada uno de ellos para los sitios propuestos.

4.3.3.7.Análisis de los factores territoriales

- **Usos del Suelo**

Descripción: Compatibilidad/incompatibilidad con los usos del suelo actuales o futuros de acuerdo con los patrones tendenciales o los derivados del ordenamiento territorial previsto.

Criterios de valoración: Se valoran positivamente los sitios en los que los usos de los terrenos linderos no son incompatibles con la instalación de la infraestructura para tratamiento y disposición final de RSU. Por ejemplo, predios destinados a usos residenciales y/o equipamientos comunitarios, por los posibles efectos sobre una cierta masa de población, cercanía a áreas cultivadas, vulnerabilidad de los acuíferos, etc.

Evaluación: *Se le otorgó al sitio en Agrela valoración negativa por hallarse relativamente cerca de la zona de extracción petrolera y en cercanía a cultivos de vides de especies de alta calidad y asimismo de bodegas altamente especializadas y por encontrarse el predio en el circuito turístico de las rutas del vino. La localización de El Borbollón fue calificada positivamente por ser menos vulnerable a la incompatibilidad en los usos del suelo, ya que se encuentra en una zona de industrias nocivas y no nocivas, y por tener menores incidencias ambientales negativas.*

- **Ordenamiento territorial previsto**

- **<u>Planes de Ordenamiento</u>**

Descripción: Se refiere a la incompatibilidad de la localización del emprendimiento con los planes de ordenamiento territorial que surgen de la Ley Nº8051 de Ordenamiento territorial y usos del suelo de la provincia, de las normativas de ordenamiento y usos del suelo municipales y de los desarrollos previstos para optimiar el desarrollo de la micro reción y/o el Oasis Norte de Mendoza. Se han considerado las más significativas.

Criterio de valoración: Se valora positivamente aquella localización en la que la implantación del centro ambiental es compatible con los usos del suelo previstos por el Municipio.

Evaluación: *Se considera que el Municipio de Las Heras tiene las máximas previsiones de localización ya que el sector propuesto para la implantación de las obras se denomina en su ordenanza de usos del suelo como "zona industrial no nocivas y nocivas", y por ello se lo valoró positivamente, en tanto el sector propuesto en Agrelo no tiene denominación de usos permitidos, sin darle prioridad como en el caso de Las Heras, por esto se lo valoró en forma neutra.*

- **Fortalecimientos y articulación de centros urbanos**

Descripción: El fortalecimiento de las jerarquías de los centros urbanos de los Departamentos de Las Heras y Luján de Cuyo intenta favorecer la retención de su población, y atraer emprendimientos productivos para generar una alternativa a la concentración del Gran Mendoza con el objeto de mitigar los desequilibrios territoriales de la provincia. Por ello se promueve la existencia y el mejoramiento de las condiciones de las infraestructurs, los servicios y la accesibilidad de estos centros, así como la articulación entre ellos y el fortalecimiento de pequeños centros de servicios rurales.

Criterios de valoración: Se valoran positivamente aquellas localizaciones que permitan que la mayor cantidad de núcleos urbanos y de servicios rurales se beneficien con el proyecto.

Evaluación: *Se consideró la localización del Borbollón como positiva, y el terreno de Agrelo como negativa, ya que en esta última podría darse una consolidación de la zona rural, y la actividad que implica la instalación y operación de un relleno sanitario influiría negativamente sobre esta actividad.*

- **Densificación del oasis de riego**

Descripción: Se tiende a densificar el oasis de riego favoreciendo la actividad agrícola en los espacios no cultivados o abandonados con infraestructura para la actividad agrícola (red de riego, electrificación, pozos de agua, etc.). Estos se localizan, generalmente, dentro de los límites exteriores del oasis.

Criterios de valoración: Se prefiere evitar localizar el centro ambientel en predios interiores a los límites exteriores del oasis, aunque se trate de tierras incultas, preservándolas para futuros usos agrícolas que aprovechen la infraestructura instalada.

Evaluación: *Se clasificaron negativamente los dos sitios, ya que se encuentran en la zona agrícola bajo riego. En este caso fue calificado positivamente el sitio de Agrelo y negativamente el sitio de El Borbollón, Las Heras.*

- **Inversiones privadas**

Descripción: Se prevén futuras inversiones que dinamizarían los sitios de ambos Departamentos: inversiones en la zona industrial, jerarquización de la red vial y obras de infraestructura de transporte previstas, infraestructura de servicios públicos, etc.

Criterios de valoración: Se valoran positivamente localizaciones que no interfieran con estos proyectos y que además demanden menores inversiones y presenten mayores servicios al entorno de los sitios.

Evaluación: *Con el criterio descripto se evaluó positivamente el terreno del Borbollón y negativamente el de Agrelo.*

- **Factores económicos**

- **Propiedad y precio de las tierras a afectar**

Descripción: Situación de propiedad/tenencia de las tierras que serán afectadas al emprendimiento, precios de mercado, costos de expropiación (propiedad completa/parte de la propiedad, un propietario/varios propietarios).

Criterios de valoración: Se prefieren terrenos fiscales a los privados, o que tengan tramites de titularización inconclusos, y dentro de éstos, los de menor precio de mercado con vistas a la expropiación.

Evaluación: *El terreno de Las Heras se evaluó positivamente por ser un terreno de propiedad fiscal que era del Gobierno de la Provincia y fue cedido a la Municipalidad de Las Heras, en tanto el terreno de Agrelo se calificó como neutro ya que era un terreno privado que fue donado a favor del Municipio, pero aún no se ha terminado el trámite de titulación definitiva.*

- **Impacto en los valores de la tierra**

Descripción: Depreciación/plusvalía generada por el centro ambiental así como las mejoras en la infraestructura y los servicios asociados a su implantación en las tierras aledañas el sitio de localización.

Criterios de valoración: *En asociación con los usos del suelo del área, se considera que un sitio para el tratamiento de los RSU generará una depreciación de los predios vecinos en el caso en que éstos estén dedicados a la agricultura muy intensiva, a usos residenciales, a equipamientos colectivos u otros usos intensivos.*

Evaluación: *Dado que el área del Borbollón ya posee una vertedero controlado para disponer actualmente los residuos de los Departamentos de Las Heras, Lavalle, Capital, Godoy Cruz y parte de Guaymallén, y la nueva infraestructura que se proyecta para toda la Zona Metropolitana se ubica en un predio aledaño al mismo, se considera positiva, además de la plusvalía generada. En el terreno de Agrelo, se considera negativo, dado que existe una gran subdivisión de los predios vecinos, los cuales se verían depreciados en sus valores de venta.*

- **Estructura de la economía básica del área**

Descripción: Modificaciones o impactos en las actividades económicas características del área.

Criterios de valoración: Dentro de los objetivos del ordenamiento territorial, comprender y favorecer la más equitativa distribución de la población y de las actividades económicas sobre el espacio se desprende como esencial para el desarrollo ambiental sustentable y socialmente equitativo, por lo que se busca potenciar las áreas en que actualmente se haya desarrollado un emprendimiento como el centro ambiental a implantar.

Evaluación: *Se valora positivamente la zona de El Borbollón por la consolidación económica que se dará en el área, dadas las condiciones actuales ya descriptas, y se calificó como neutra la zona de Agrelo debido a que por sus condiciones económicas, sociales y ambientales no se producirá ninguna alteración significativa en este rubro.*

- **Fuerza de trabajo**

Descripción: Disponibilidad de mano de obra adecuada para la operación del centro ambiental.

Criterios de valoración: Terrenos muy alejados de las áreas pobladas dificultarían la accesibilidad para las personas empleadas en la operación cotidiana de la infraestructura a implantarse.

Evaluación: *El terreno de Las Heras será impactado favorablemente en relación a este factor, mientras que la zona de Agrelo lo será negativamente.*

- **Tasas de ocupación y salarios**

Descripción: Modificaciones e impactos en las tasas de ocupación del área a partir de una posible ampliación de las oportunidades de empleo en el área. Comparación de los niveles salariales/niveles de ingreso con las actividades preexistentes en el área.

Criterios de valoración: Los volúmenes de empleo generados así como sus niveles salariales, son significativos de acuerdo a las condiciones preexistentes en El Borbollón.

Evaluación: *Este ítem tiene incidencia en las localizaciones previstas preconizando la futura oferta laboral, incrementando la oferta existente en El Borbollón, y modificando la tasa de ocupación en Agrelo, con el inconveniente de las distancias a recorrer en este último caso para trabajar en el área, por lo cual este último se valoró neutralmente.*

- **Existencia de infraestructura de energía y otros servicios**

Descripción: Existencia o proximidad de red eléctrica, redes de gas, agua potable y riego e infraestructura vial.

Criterio de valoración: Se valoran positivamente los sitios en los que existe o se encuentran próximas las redes de servicios y vías de comunicación.

Evaluación: *El sitio del Borbollón ha sido evaluado positivamente debido a que cuenta con prácticamente todos los servicios, mientra que Agrelo lo fue negativamente ya que no cuenta con servicios esenciales en su área de influencia y las líneas de conducción de energía eléctrica se encuentran bastate alejadas.*

- **Factores socio-culturales**

- **Salud**

Descripción: Se percibe como problema "ambiental" lo que afecta directamente al hombre, sobre todo lo que se refiere a los aspectos sanitarios. Por lo que la distancia guardada respecto de las zonas residenciales en orden a evitar molestias y riesgos para la salud pública serán los mejores calificados.

Criterio de valoración: Se evalúan positivamente las mayores distancias a los núcleos urbanos.

Evaluación: *Se evalúa neutralmente el terreno de Agrelo por su distancia a los centros urbanos y en forma positiva El Borbollón debido a su distancia a centros urbanos y a que la práctica de años en esa actividad en la zona ha demostrado que no se han producido problemas sanitarios.*

- **Expectativas de los habitanes del área**

Descripción: En el marco de este estudio es de suma importancia relevar y analizar la percepción que tienen los diferentes sectores de la sociedad. A partir de ello es posible definir los conflictos resultantes entre usos potencialmente degradantes y los damnificados por ellos. Se trata de las expectativas, inquietudes y resistencias de los pobladores del área de influencia de cada localización posible, con relación a la ubicación de un emprendimiento de estas características. Esta información es imprescindible para la calificación y sobre todo para la posterior gestión del proyecto. El medio ambiente percibido "incluye aquellas variables que son percibidas o inferidas por el sistema antrópico en los planos del individuo, del grupo, de la sociedad o de la especie" (Gallopin).

Criterio de valoración: Se valoran positivamente las localizaciones en las que se encontrarán menores resistencias tanto de los vecinos como por parte de la comunidad local.

Evaluación: *Se calificó positivamente la alternativa del terreno de Las Heras por las características de la población del entorno, teniendo en cuenta que muchos de esos pobladores vecinos, tienen su fuente de trabajo en el vertedero actual, y en forma negativa a Agrelo por la gran distancia del lugar respecto de las poblaciones cercanas, sumado a la actividad agrícola que caracteriza la zona y que se podría ver afectada por la instalación de una infraestructura para tratamiento de los RSU.*

- **Aspectos Paisajísticos**

Descripción: "El medio ambiente valorizado, incluye aquellas variables a las que el hombre otorga valor económico, social, estético o ético". Se trata de evitar la modificación de vistas características del sitio que le dan identidad a la zona y/o vistas valiosas desde el punto de vista paisajístico, tanto en relación al paisaje natural como al construido.

Criterio de valoración: Se prefieren localizaciones en las que el paisaje no sea un valor significativo y, en estos casos, se prefiere una disposición en el terreno que no se encuentre muy expuesta a las vistas, especialmente desde las vías de circulación, por lo que se prefieren ubicaciones en lugares ocultos visualmente desde las rutas y que dispongan en las cercanías de suficiente material inerte para la cobertura de los residuos. Los paisajes panorámicos de composición predominantemente horizontal y sin límites marcados, sufren menos impactos y son menos vulnerables.

Evaluación: *Se calificaron positivamente los dos sitios debido a que ambos tienen similares características paisajísticas y no son visualizados desde las rutas aledañas.*

- **Recursos históricos y culturales**

Descripción: Impactos sobre el área o sitios con valores a conservar o preservar.

Criterio de valoración: Nos se observan sitios culturales o históricos cercanos o en el entorno de ambos sitios analizados.

Evaluación: *Se les otorgan calificaciones positivas a los dos sitios, tanto al del Borbollón como al de Agrelo, debido a que no hay afectación al patrimonio cultural o histórico, según lo indicado.*

4.3.3.8. Sintesis la evaluación de los Factores Territoriales

En este apartado se presenta una tabla de resumen de la evaluación de los Factores Territoriales. A continuación se evaluarán los Factores Hidrogeológicos y de Transporte para finalmente realizar la ponderación final que permitirá sustentar la selección del predio más adecuado para la localización de la infraestructura proyectada.

Tabla 49: Evaluación de Factores Territoriales

Factores evaluados	1 El Borbollón Las Heras	2 Agrelo Luján de Cuyo
Uso del Suelo	Positivo	Negativo
Ordenamiento Territorial		
Planes de ordenamiento	Positivo	Neutro
Articulación de centros urbanos	Positivo	Negativo
Densificación oasis de riego	Negativo	Positivo
Inversiones	Positivo	Negativo
Factores Económicos		
Precio de la tierra	Positivo	Negativo
Impactos en mercado de tierra	Positivo	Negativo
Estructura económica del área	Positivo	Neutro
Fuerza de trabajo	Positivo	Negativo
Tasa de ocupación/salario	Positivo	Neutro
Existencia de infraestructura	Positivo	Negativo

Tabla 49: Evaluación de Factores Territoriales		
Factores evaluados	**1 El Borbollón Las Heras**	**2 Agrelo Luján de Cuyo**
Factores Socioculturales		
Salud	Positivo	Neutro
Expectativas habitantes del entorno	Positivo	Negativo
Aspectos paisajísticos	Positivo	Positivo
Recursos históricos/culturales	Positivo	Positivo

Tabla 49: Evaluación Factores Territoriales

4.3.3.9. Resumen de Factores hidrogeológicos

Precedentemente se realizó una descripción y análisis de la situación del contexto físico de cada uno de los predios, fundamentalmente en lo que se refiere a los factores hidrogeológicos, que permita tomar decisiones sobre el lugar más propicio para la ubicación definitiva del centro ambiental para el tratamiento y disposición final de los RSU.

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

Constituye depósitos del plioceno con afloramientos de mogotes, constituidos por limos rosados en su superficie con presencia de toscas calcáreas. Los perfiles de suelo presentan una generalidad limo-arcillosa de distintos espesores, con depósitos de material volcánico.

Las napas freáticas en el sector de emplazamiento de las celdas se ubica a aproximadamente 15 m de profundidad, según los estudios geoeléctricos efectuados. En términos generales se puede observar una baja permeabilidad de los suelos del lugar con coeficientes de permeabilidad del orden de 6×10^{-5} cm/seg, valores que disminuirán, o sea se mejorará la impermeabilidad, cuando se compacte el suelo.

- **Terreno Agrelo en Luján de Cuyo**

Corresponde a afloramientos del Conglomerado Mogotes, en el sector se conforma por lomadas de considerable altura, con drenajes amplios y profundos hacia el sur. En general son sedimentos permeables, capaces de permitir el paso de fluidos, a menos que se tomen precauciones para evitar la percolación.

Conformado predominantemente por clastos redondeados a subredondeados con diámetros de 0,10 m o más. Tiene importantes cantidades de arenas que lo aglutinan fuertemente. En algunas partes se observa presencia de cemento calcáreo o de sulfatos.

También se obsern tobas de colores amarillentos y grisáceos, que disminuyen localmente la permeabilidad.

4.3.3.10. Resumen de Factores de transporte

Precedentemente se realizó una descripción y análisis de las distancias de transporte a recorrer hasta cada uno de los sitios propuestos y teniendo en cuenta la existencia de la Planta de Maipú.

De este análisis surgió que la cantidad total de kilómetros a recorrer hasta el terreno de Las Heras, era de aproximadamente la mitad de las distancias a recorrer hasta el terreno de Luján de Cuyo.

4.3.4. Selección del sitio

La elección del sitio se efectúa en base a la consideración integral de todos los factores considerados. Dado que cada uno de ellos pesa diferencialmente en la decisión, se adoptó una regla de ponderación por grupo de factores. Así, en la selección de la localización, los factores vinculados a la hidrogeología cosntituyen un 40% de la calificación total del sitio; los factores socio-culturales constituyen un 30%, mientras que los relativos al uso del suelo/ordenamiento territorial, los económicos y los vinculados al transporte aportan un 10% de la calificación total de cada uno. Esta modalidad de ponderación de factores de evaluación se expresa en el siguiente polinomio. (Calificación máxima = 10)

$$Calificación\ total = 0{,}4 \times H + 0{,}3 \times SC + 0{,}1 \times OT + 0{,}10 \times E + 0{,}10 \times T$$

En donde:

H = Factores hidrogeológicos
SC = Factores socio-culturales
OT = Factores relativos al uso del suelo/ordenamiento territorial
E = Factores Económicos
T = Factores vinculados al transporte

Dado que la consideración de las expectativas de la comunidad es una variable de localización importante, pero que se maneja con criterios y modalidades de gestión distintas de las de los factores “técnicos”, se efectuó una “calificación técnica” que incluye todos los factores menos aquella. De este modo, se puede evaluar separadamente el peso de esta “variable independiente” en la aptitud de los distintos sitios. En este caso, el polinomio es el que sigue. (Calificación máxima = 7)

$$Calificación\ técnica = 0{,}4 \times H + 0{,}1 \times OT + 0{,}10 \times E + 0{,}10 \times T$$

Tabla 50: Polinomio de calificación comparativa			
Grupo de factores	**Ponderación (%)**	**1 El Borbollón Las Heras**	**2 Agrelo Luján de Cuyo**
Costo del transporte	10	9	5
Uso del suelo	10	9	6
Actividad económica	10	8	6
Hidrogeológicos	40	7	6
Socio Culturales	30	8	5
	100		
Calificación Técnica máxima	7	5,4	4
Calificación Total máxima	**10**	**7,8**	**5,5**

Tabla 50: Polinomio de calificación comparativa

La ponderación indica el peso relativo otorgado a cada uno de los grupos de factores en la construcción de la calificación.

El sitio que aparece con mayore calificación para la localización (en ambas calificaciones) es el de El Borbollón en el Departamento de Las Heras y en segundo lugar el de Agrelo en el Departamento de Luján de Cuyo. Sin embargo, se pueden hacer algunas diferenciaciones:

- **Terreno El Borbollón en Las Heras**

Ventajas:

- Menor distancia media de transporte.
- Menor visualización desde la ruta.
- Mayor aceptabilidad social e incorporación cultural del entorno.
- Terreno de propiedad fiscal.
- Baja permeabilidad natural del terreno.
- Mayor disponibilidad de servicios.

Desventajas:

- Menor distancia de poblaciones cercanas.
- Efecto devaluatorio sobre terrenos cercanos.
- Interferencia con la densificación de los oasis de riego.

- **Terreno Agrelo en Luján de Cuyo**

Ventajas:

- Mayor distancia a poblaciones cercanas.
- Sin interferencia en la densificación de los oasis de riego.

Desventajas:

- Mayores costos de transporte.
- Mayor vulnerabilidad del acuífero subterráneo.
- Menor disponibilidad de servicios.

4.3.5.Conclusión General

Por todo lo analizado y desarrollado precedentemente, se concluye que el sitio más apropiado desde los puntos de vista técnico, económico, ambiental y social para la localización del Centro Ambiental es el ubicado en El Borbollón, Departamento de Las Heras.